

25 Años

FACULTAD DE CIENCIAS
NATURALES E INGENIERÍA

25
Años

DE FORMACIÓN,
INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
EN INGENIERÍA PARA LAS REGIONES

ISBN:

978 - 958 - 52677-3 - 2



18 de octubre de 1991

VIGILADA MINEDUCACIÓN

DIRECTIVOS

Franklin Figueroa Caballero
Rector

Marcela Ordóñez Rodríguez
Vicerrectora Académica

José Manuel Serrano Jaimés
Vicerrector Administrativo y Financiero

William Guerrero Salazar
Decano Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería

Yohana Patricia Medina Vargas
Directora Institucional Departamento de Extensión

Wilson Gamboa Contreras
Director Institucional Departamento de Investigación

Maryi Juliana Pérez Gutiérrez
Directora sede Yopal

Camilo Andrés Ruiz Bernal
Subdirector Académico sede Yopal

Otilia Mongua Arias
Subdirectora Administrativa y Financiera sede Yopal

Yolanda Yasmith García Gaitán
Directora (e) sede Chiquinquirá

COMITÉ ACADÉMICO

Sede San Gil

<i>Sandra Johana Benítez Muñoz</i>	Coordinadora de Investigación de la Facultad CIF
<i>Edgar Rodríguez Díaz</i>	Coordinador de Extensión de la Facultad CEF Director del Programa de Especialización en Gestión Integrada del Recurso Hídrico
<i>Diana Patricia Torres Solano</i>	Directora de los Programas de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Agrícola
<i>Eliana María Remolina Torres</i>	Directora de los Programas de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Electrónica
<i>Ana Rocío Córdoba Malaver</i>	Directora del Programa de Ingeniería de Mantenimiento
<i>Yaneyda Zulay Longas Flórez</i>	Directora Departamento de Ciencias Básicas
<i>Henry Javier Barón González</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería de Sistemas
<i>Luz Yamile Caicedo Chacón</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería de Sistemas
<i>Julián Andrés Ramírez Bautista</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería de Mantenimiento
<i>Sergio Andrés Peña Perea</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería Ambiental
<i>Rafael Antonio Estupiñán Pinto</i>	Docente del Programa de Ingeniería Ambiental Coordinador del Laboratorio de Aguas

Sede Yopal

<i>Héctor Fernando Parrado Contreras</i>	Coordinador de Investigación de la Facultad CIF
<i>Lina Paola Orduz Amaya</i>	Directora del Programa de Ingeniería Ambiental
<i>Wilson Arturo Gómez Becerra</i>	Director del Programa de Ingeniería Electrónica
<i>Ángela Bibiana Ortégón Fuentes</i>	Directora del Programa de Ingeniería de Sistemas
<i>Camilo Ocampo Marulanda</i>	Director (e) del Programa de Ingeniería Agrícola
<i>Fredy Yesid Nocua Mesa</i>	Coordinador de Ciencias Básicas
<i>Sahra Nathalie Rincón Rincón</i>	Coordinadora Especialización en Gestión Integrada del Recurso Hídrico
<i>Johan Santiago Torres Corredor</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería Ambiental
<i>Víctor Augusto Lizcano Sandoval</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería Ambiental
<i>Daniel Humberto Albarracín Sepúlveda</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería Electrónica
<i>David Fabián Barreto Sánchez</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería Electrónica
<i>Abdias Gómez Duarte</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería de Sistemas
<i>Alexis Olvany Torres Chapeta</i>	Docente Investigador del Programa de Ingeniería de Sistemas

Sede Chiquinquirá

<i>Nelson Augusto Santos Tovar</i>	Director del Programa de Ingeniería de Sistemas
<i>Edisson Rafael Caicedo Rojas</i>	Coordinador de Investigación de la Facultad CIF, Coordinador del Programa en Tecnología en Sistemas de Información

COMITÉ CIENTÍFICO

Julián Andrés Ramírez Bautista
Doctor en tecnología avanzada
Magíster en tecnología avanzada
Ingeniero electrónico

Víctor Augusto Lizcano Sandoval
Doctor en ingeniería
Maestría en ingeniería
Ingeniero ambiental

Ángela Bibiana Ortigón Fuentes
Magíster en tecnologías de la información
Especialista en telemática y negocios por internet
Ingeniera de sistemas

Luz Yamile Caicedo Chacón
Máster en *Business Intelligence*
Especialista en pedagogía de la virtualidad
Ingeniera de sistemas

Henry Javier Barón González
Maestrante en gestión aplicación y desarrollo de *software*
Especialista en telecomunicaciones
Ingeniero de sistemas

Abdías Gómez Duarte
Magíster en dirección estratégica en tecnologías de la información
Especialización en aplicación de las TIC para la enseñanza
Ingeniero de sistemas

Alexis Olvany Torres Chapeta
Magíster en gestión de proyectos informáticos
Especialización en gestión de proyectos informáticos
Administrador comercial y de sistemas

Edisson Rafael Caicedo Rojas
Magíster en ingeniería del *software* y sistemas informáticos
Ingeniero de sistemas

Edgar Rodríguez Díaz
Magíster en desarrollo sostenible y medio ambiente
Especialista en ordenamiento y gestión integral de cuencas hidrográficas
Ingeniero agrónomo

Diana Patricia Torres Solano
Magíster en medio ambiente y desarrollo sostenible
Especialista en química ambiental
Ingeniera ambiental

Sahra Nathalie Rincón Rincón
Magíster en ingeniería ambiental
Ingeniera ambiental

Johan Santiago Torres Corredor
Magíster en geociencias
Ingeniero geólogo

Laura Victoria Anzoátegui González
Magíster en ingeniería ambiental
Ingeniera agronómica

Ana Rocío Córdoba Malaver
Magíster en tecnología avanzada
Ingeniera de mantenimiento

Daniel Humberto Albarracín Sepúlveda
Estudiante de maestría en ingeniería con énfasis en ingeniería electrónica
Especialista en automatización industrial
Ingeniero electrónico

Fabián David Barreto Sánchez
Ingeniero electrónico
Estudiante de maestría en ciencias de la información y las comunicaciones

Yaneyda Zulay Longas Flórez
Magíster en gerencia de las organizaciones
Especialista en metodología de la investigación social y educativa
Ingeniera de sistemas

Fredy Yesid Nocua Mesa
Ingeniero electrónico

Rafael Antonio Estupiñán Pinto
Ingeniero químico

COMPILADORES

Sandra Johana Benítez Muñoz
Coordinadora de Investigación Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, UNISANGIL
Sede San Gil

Héctor Fernando Parrado Contreras
Coordinador de Investigación Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, UNISANGIL
Sede Yopal

COORDINACIÓN EDITORIAL

Departamento de Investigación UNISANGIL

REVISOR LINGÜÍSTICO

Luis Fernando García Núñez

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Departamento de Mercadeo y Comunicaciones, UNISANGIL

TRADUCCIÓN

Instituto de Idiomas UNISANGIL

ISBN: 978-958-52677-3-2
Título: 25 años de formación, investigación e innovación en ingeniería para las regiones
Formato: Digital, 110 páginas
Autores: Varios
Tema: Ingeniería (generalidades)
Editorial: Unisangil Editora
País: Colombia
Idioma: Español
Fecha edición: Noviembre de 2021
Fecha publicación: Enero 14 de 2022

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
www.unisangil.edu.co

Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
fingenieria@unisangil.edu.co
ies@unisangil.edu.co

San Gil, Santander
Km 2 vía San Gil - Charalá,
Teléfonos: (607) 7245757 - 7246565

Yopal, Casanare
Km 2 vía Matepantano
Teléfonos: 310 628 1503 - 322 810 6500 - 312 781 2305

Chiquinquirá, Boyacá
Calle 18 # 12-18
Teléfonos: (608) 7266058 Ext. 101

Editorial
unisangileditora@unisangil.edu.co

Esta obra es propiedad intelectual de sus autores y los derechos de publicación han sido legalmente transferidos a la editorial. Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no comprometen a la Fundación Universitaria de San Gil, UNISANGIL, como tampoco a las demás entidades que apoyaron su elaboración.

Licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International
(CC BY-NC-ND 4.0)
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



CONTENIDO

PRESENTACIÓN	9
CIENCIA DE DATOS	10
Capítulo 1. Plataforma para la adquisición de datos meteorológicos de estaciones remotas	11
Fabián David Barreto Sánchez, Neider Fabián Walteros Pinto	
Capítulo 2. Teleconexión entre la sequía meteorológica y la climatología global en el departamento de Nariño.....	16
Camilo Ocampo Marulanda, Yesid Carvajal Escobar, Teresita Canchala Nastar, Wilmar L. Cerón, Cristhian E. Fernández Álvarez, Wilfredo Alfonso Morales	
Capítulo 3. El poder del Machine Learning en la prevención de los accidentes de tránsito "caso de éxito TRAR"	21
Ángela Bibiana Ortégón Fuentes, Juan David Castellom Rodríguez, Gerson Castillo Hernández, Sebastián Salcedo, Jorge Luis Tinjacá Burgos, Steban Camilo Garzón García	
Capítulo 4. Interpretación del lenguaje de señas empleando Python y redes neuronales artificiales.....	26
Diego Alejandro Varela Grajales, Raúl Alexander Blanco Solano, Wilton Ferney Casallas Rodríguez, Héctor Felipe Cortés Rojas	
Capítulo 5. Aplicación móvil para cálculo de requisitos generales en la siembra de maíz.....	31
Carlos Andrés Garzón Buitrago, Jeida Faisuly Ramírez Buitrago, Nelson Augusto Santos Tovar	
Capítulo 6. Herramienta tecnológica como recurso para la creación de contenidos de aprendizaje, dirigida a UNISANGIL, sede universitaria de Muzo, Boyacá.....	35
Edisson Caicedo Rojas, Jeida Ramírez Buitrago, Jeison Castillo Benítez	
Capítulo 7. Aplicación Web para admisiones y generación de informes de deserción y ausencia intersemestral.....	40
Juan José González Dulcey, Luz Yamile Caicedo Chacón	
Capítulo 8. Aplicativo Web para análisis de resultados Pruebas Saber 11 y Pro en UNISANGIL	43
Juan José Barrera Suárez, Derly Samira Morales González, Omar Andrés Quecho Zambrano, Luz Yamile Caicedo Chacón	
Capítulo 9. Importancia de la minería de datos para generar conocimiento en las organizaciones	47
Luz Yamile Caicedo Chacón	
CIENCIA AMBIENTALES Y DE LA TIERRA	52
Capítulo 10. Impacto de transformaciones urbanas sobre la exposición a contaminantes del aire en la ciudad de Bogotá: Cable Aéreo TransMicable y renovación de la flota vehicular de Transmilenio	53
Daniela Méndez Molano	
Capítulo 11. Mapas de ruido acústico de comuna centro de Bucaramanga medidos con dispositivo electrónico de bajo costo con tecnología Arduino	58
Walter Pardavé Livia	
Capítulo 12. Prototipo de alerta ante posibles saturaciones hídricas en los terrenos colindantes a la red vial Chiquinquirá - Pauna en el occidente del departamento de Boyacá.....	62
Edisson Caicedo Rojas, Andrea Marisol Salinas Chacón	

Capítulo 13. Evaluación del instrumento de planificación hídrica de la Cuenca del río Pauto, Colombia.....	66
Yury Vargas Corredor, Mauricio Ruiz Ochoa, Lina Paola Orduz, Johan Santiago Torres	
Capítulo 14. Remediación de hidrocarburos a través de humedales construidos de flujo vertical	70
Miguel Casallas Ojeda, Nelsi Johanna Gutiérrez, John Jairo Sandoval Cobo, Victoria Eugenia Vallejo	
Capítulo 15. Uso de herramientas bibliométricas y multicriterio (AHP) para la toma de decisiones. Caso de estudio - selección de co-sustrato para compost de residuos orgánicos-.....	74
Víctor Augusto Lizcano Sandoval, Johan Santiago Torres Corredor, Sahra Nathalíe Rincón Rincón, Kimberly Patricia Montañez Medina	
Capítulo 16. Distribución espacial densidad aparente del suelo en la microcuenca río Tocaría Nunchía (Casanare) ..	78
Laura Victoria Anzoátegui González, Johan Santiago Torres Corredor, Doris Carmiña Ruiz Ramírez	
Capítulo 17. Potencial erosivo de las precipitaciones en el municipio de Nunchía, Casanare en la década 2009-2019	82
Johan Santiago Torres Corredor, Laura Victoria Anzoátegui	
Capítulo 18. El compostaje y el lombricultivo como alternativa de aprovechamiento de residuos en el departamento de Casanare	86
Juan Carlos Lozano Sierra	
Capítulo 19. Evaluación de enmiendas orgánicas obtenidas a partir del procesamiento de estiércol de ganado en la subasta ganadera de Casanare	90
Juan Carlos Lozano Sierra	
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA	94
Capítulo 20. Herramienta tecnológica que promueva la separación de residuos sólidos en la fuente y permita la administración de los datos resultantes de la recolección en el municipio de Chiquinquirá - Boyacá.....	95
Edisson Caicedo Rojas, Heidy Vanessa Sánchez Pulido, Lizeth Camila Ruiz Roldán, Paola Andrea Rojas Vargas	
Capítulo 21. Deshidratación de café y cacao por radiación infrarroja controlada	99
Camilo Andrés Arenas Vera, Manuel Fernando Lozano Rodríguez, Juan David Ortiz Viviescas, Sebastián Alexander Torres, William Guerrero Salazar, Yudid Andrea Ojeda	
Capítulo 22. Sistema de adquisición de datos para registro de magnitudes asociadas a la calidad del agua	103
Juan Guillermo Naveros Jiménez, Milton Javier Muñoz Neira	
Capítulo 23. Optimización del diseño mecánico de una turbina eólica portátil de eje horizontal tipo hawt mediante el uso de tecnologías CAD-CAE.....	107
Carlos Alberto Castillo Suárez, Freddy Alexander Jara Mora	

PRESENTACIÓN

A lo largo de 25 años, y desde su creación, la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de UNISANGIL ha consolidado y fortalecido, a través de estrategias la integración de los conocimientos científicos generados por docentes investigadores, a los diversos sectores de la sociedad. Esto ha permitido que desde las diferentes áreas de la ingeniería la Facultad aporte a la generación de nuevo conocimiento, a la transferencia del mismo y a la divulgación para favorecer la solución de las necesidades siempre nuevas y que requieren de procesos, habilidades o técnicas cada vez más innovadoras para su solución.

El libro *25 años de formación, investigación e innovación en ingeniería para las regiones*, presenta en tres secciones, capítulos de libros de divulgación que obedecen a la orientación de tres ejes temáticos principales: 1) Ciencia de datos, 2) Ciencias ambientales y de la tierra y 3) Ingeniería y tecnología para la industria, ejes temáticos que están relacionados con las tendencias actuales de la ingeniería.

Agradecemos a los autores que realizaron su aporte, a los integrantes del Comité Académico y del Comité Científico que orientaron los trabajos de investigación para conformar el libro y poder compartirlo con la academia, la industria de la región y la sociedad en general.

Tenemos la certeza de que los capítulos aquí presentados podrán ser de gran utilidad para complementar el ejercicio de investigación, transferencia de conocimiento y que enriquecerá los procesos de formación académica.

Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
UNISANGIL

CIENCIA DE DATOS

Capítulo 1. Plataforma para la adquisición de datos meteorológicos de estaciones remotas

Platform for the acquisition of meteorological data from remote stations

Fabián David Barreto Sánchez, Neider Fabián Walteros Pinto

Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL
Yopal, Colombia

fbarreto@unisangil.ed.co
neiderwalteros4@unisangil.edu.co

Palabras clave: Estaciones meteorológicas, plataforma de adquisición, servicio web, variables agro-climatológicas.

alimentaba tan solo una pequeña familia, en otras palabras, un aumento en el rendimiento [3].

RESUMEN

El proyecto se enfoca en aportar una herramienta tecnológica en el sector agrícola de la región, brindando un *software* a los agricultores o población interesada, que les permita determinar el estado del clima en tiempo real. Se llevó a cabo mediante la implementación de una estación meteorológica Vantage PRO2. Estos datos se transmitieron y registraron creando una red de monitoreo, la cual cuenta con un histórico de datos y permite al usuario descargar los datos en formato CSV para su interpretación.

Uno de los grandes inconvenientes que afecta el rendimiento de un cultivo es la dificultad que afronta el agricultor para realizar un correcto seguimiento a las variables agrícolas, de forma precisa y en diferentes puntos del cultivo. Si se tienen en cuenta los cultivos extensos, donde no es homogéneo el riego ni la preparación de los suelos, es indispensable conocer el estado de las principales variables agrícolas en diferentes puntos del cultivo, de forma rápida y con registro de los cambios presentados en el tiempo. Esto permite la toma de decisiones de forma eficiente, beneficiando el rendimiento de los cultivos [5].

I. INTRODUCCIÓN

La sobrepoblación, la reducción en las tierras cultivables y el uso irracional del agua ha traído consigo la necesidad de ser más eficiente con el empleo del suelo y el agua en la producción agrícola. En todo el mundo, y por diversos factores, la reducción en las tierras cultivables (hectáreas por persona) es significativa [1]. Según El Banco Mundial (2021) la reducción de hectáreas cultivables por persona pasó de 0.36 en 1960 a 0.19 en 2016. Lo que traduce, que para alimentar a una persona hoy en día solo se tiene disponible la mitad de la tierra que se requería hace 60 años [2].

La plataforma busca el cierre de brechas tecnológicas en el sector agrícola, en particular en el departamento de Casanare, brindando una herramienta a los agricultores del sector, la cual les permite determinar el estado climatológico para sus cultivos en tiempo real. Se lleva a cabo mediante la implementación de una plataforma web conectada a una estación de medición de variables agrícolas, con las que se podrán determinar las condiciones de los cultivos en tiempo real. Esta plataforma cuenta con diferentes módulos para observar las variables a diferentes escalas de tiempo y la descarga de datos meteorológicos en formato CSV para que los usuarios puedan dar uso e implementar estos datos en nuevos proyectos de investigación. De esta manera se entregará al agricultor una plataforma en tiempo real de las necesidades del cultivo para alcanzar una producción óptima y un rendimiento competitivo [5].

En países desarrollados se ha cubierto esta necesidad invirtiendo en planes para la tecnificación de los cultivos. La agricultura de precisión ha permitido aumentar la densidad de los cultivos, reducir el gasto de agua y economizar nutrientes. Hoy en día, en países con más inversión tecnológica en los procesos agrícolas, un agricultor puede producir alimentos para más de cien personas con las mismas tierras que en épocas pasadas

II. JUSTIFICACIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, el mundo tendrá que

producir un 70% más de alimentos en 2050 de los que produjo en 2006 para alimentar a la creciente población mundial. Los agronegocios están recurriendo a Internet de las cosas (IoT) para análisis y buscar mayores capacidades de producción a medida que aumentan las demandas de producción y operación. Los agricultores y ganaderos ya no pueden confiar en señales visuales u otros indicadores pasivos e históricos para la gestión de sus negocios. En su lugar, deben crear operaciones más eficientes o que les permitan recopilar información regularmente en el campo, sintetizar rápidamente los datos y tomar decisiones inteligentes para cosechar los beneficios de la agricultura de precisión [6].

Unisangil constantemente realiza transferencia de tecnología a diferentes sectores productivos de la región, mediante sus grupos de investigación. Dos de los grupos de investigación de la Facultad de Ingenierías, Comunitic y Terranare, coinciden en que la agricultura de precisión es una de las líneas de investigación con mayor trascendencia en la región. Estos dos grupos de investigación ya han trabajado, en conjunto, en proyectos de calidad del recurso hídrico y agricultura de precisión, con excelentes resultados.

III. METODOLOGÍA

La apropiación de las herramientas de adquisición de datos meteorológicos es indispensable para el desarrollo de la plataforma que favorece la conectividad entre la herramienta y el ordenador (usuario). En esta medida, es necesario analizar el dispositivo involucrado en la transmisión de datos. Dicha conexión se realiza haciendo uso de tecnología de radiofrecuencia, esta herramienta es la Vantage PRO2 de Davis Instruments, la cual cuenta con las siguientes características:

- Sensor de humedad y temperatura
- Sensor de radiación solar.
- Sensor de velocidad y dirección de viento.
- Sensor pluviómetro de doble cubeta basculante.
- Panel solar y batería.
- Transmisor de radio.
- Receptor de radio y *data logger*.

Una vez identificado las características de la herramienta de captura, se plantea el diagrama general de la plataforma, ver Fig. 1.



Fig. 1 Diagrama general de la plataforma diseñada

Con el propósito de generar una descripción de la arquitectura del sistema con los aspectos más importantes que la rodean, se desarrolla un diagrama de casos de usos, seguida de una tabla de requisitos funcionales.

A. Diagrama de casos de uso

En el diagrama de casos de uso que se muestra en la Fig. 2, se realiza una descripción gráfica de las acciones de la plataforma desde el punto de vista del usuario. A través de esta descripción se facilita el modelado de la funcionalidad del sistema usando al usuario como actor y los casos de uso que representan las funciones provistas por la plataforma.

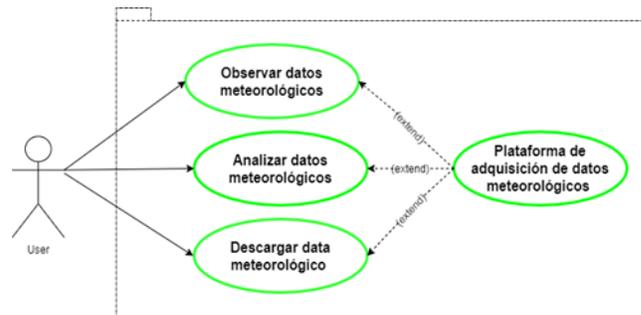


Fig. 2 Diagrama casos de uso de la plataforma diseñada

B. Tabla de requerimientos

En la tabla 1, se presentan los requisitos funcionales divididos en requisitos funcionales y no funcionales. Los funcionales especifican los servicios que provee la plataforma por medio de una descripción concreta. Estos se clasifican en tres niveles de prioridad: alta, media y baja, ordenados de mayor a menor.

TABLA 1. REQUISITOS FUNCIONALES DE LA PLATAFORMA

ID	Descripción	Prioridad
Req000	La plataforma debe permitir conectar con el dispositivo de adquisición de datos meteorológicos.	Alta
Req001	La plataforma debe permitir visualizar los datos capturados por el dispositivo.	Alta
Req002	La plataforma debe permitir descargar los datos capturados por el dispositivo.	Alta
Req003	La plataforma debe permitir cambiar la escala de tiempo de la visualización de los datos.	Media
Req004	La plataforma debe tener sistema de login para la identificación de usuarios.	Media
Req005	La plataforma debe permitir interactuar con la gráficas presentadas.	Media
Req006	El <i>software</i> debe mostrar las gráficas en cualquier navegador web por librería utilizada con el lenguaje de programación.	Baja

A continuación, se especifica la lista de requisitos no funcionales, correspondientes a los requisitos necesarios para el desarrollo de la plataforma:

- Versión del sistema operativo: Windows 10 y Linux Ubuntu V18
- Lenguaje de Programación: Python 3
- Entorno de Programación: Visual Studio Code (Back End y Front End)
- Modelado de Problemas: Draw.io

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan las capturas obtenidas dentro de la plataforma desarrollada y se expone el funcionamiento mediante diagramas de bloques de cada módulo que integra los Frame. En la Fig. 3 se presenta la ventana principal al ejecutarse. Se observan en tiempo real los datos meteorológicos del dispositivo, esta ventana contiene todos los módulos que interactúan con el usuario.



Fig. 3 Captura de la pantalla principal de la plataforma.

El frame principal de la plataforma también cuenta con gráficas con el histórico de los datos capturados con el

dispositivo, la Fig. 4 expone el resultado antes mencionado.



Fig. 4 Captura de la pantalla del histórico de datos.

También se expone el archivo CSV generado por la plataforma con la compilación de las variables meteorológicas capturadas en el rango de tiempo seleccionado por el usuario, ver Fig. 5.

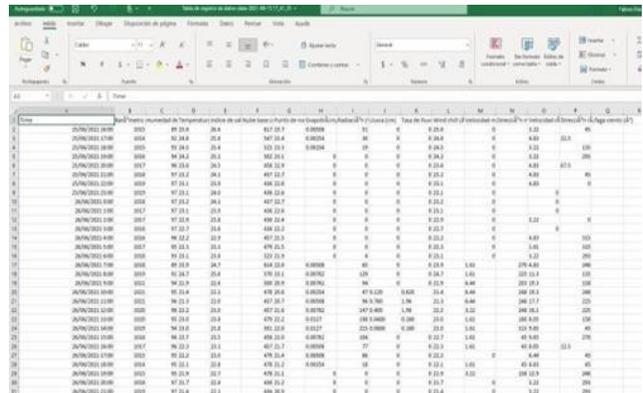


Fig. 5 Captura de la pantalla del archivo CSV generado por la plataforma.

En cuanto a los algoritmos implementados para la construcción de la plataforma se establecieron cinco flujos de trabajo (o servicios) que permiten el correcto funcionamiento de la plataforma, estos son:

- Servicio de puesta en marcha (Servicio de arranque del sistema, tecnología Ubuntu)
- Servicio de base de datos (Servicio de almacenamiento de datos, tecnología MariaDB)
- Servicio WeewX (Servicio de captura de datos del dispositivo, tecnología WeewX)
- Servicio Grafana (Servicio gráfico, tecnología Grafana)
- Tarea periódica (Servicio de actualización periódica, tecnologías bash, ngrok y git)

Se inicia con el servicio encargado de iniciar toda la arquitectura y demás servicios necesarios para la operación

de la plataforma, la Fig. 6 expone el diagrama de flujo del servicio de puesta en marcha.

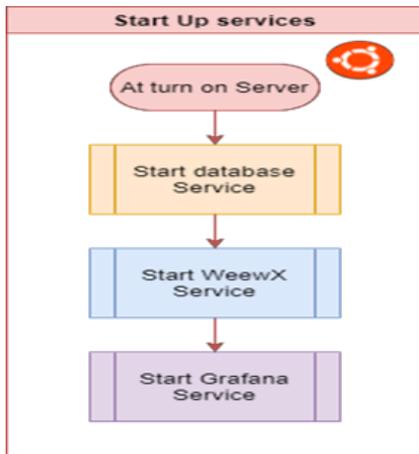


Fig. 6 Diagrama de flujo del servicio de puesta en marcha de la plataforma.

Continuando con la exposición de los servicios implementados, se define el servicio de base de datos (ver Fig. 7), el cual se estableció para el inicio del servicio de almacenamiento de datos capturados en la plataforma.

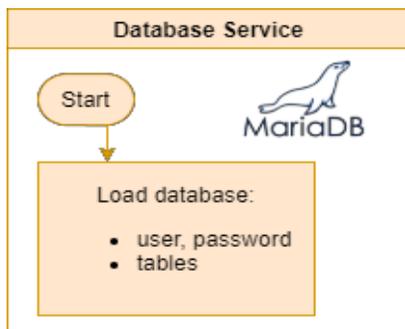


Fig. 7. Diagrama de flujo del servicio de base de datos de la plataforma.

Una vez inicializado el servicio de almacenamiento de datos, se implementó el servicio WeewX, el cual tiene como finalidad sincronizar los datos del *datalogger* (dispositivo de captura) y el servicio de almacenamiento de datos, la Fig. 8 expone el diagrama de flujo del servicio WeewX.

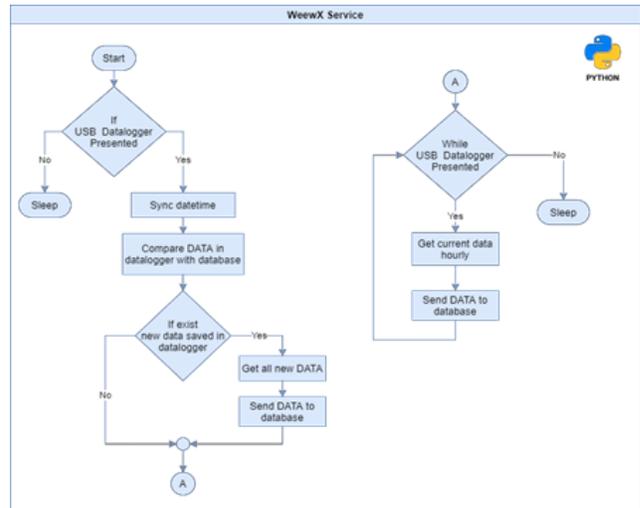


Fig. 8. Diagrama de flujo del servicio WeewX de la plataforma.

Después de sincronizar el *datalogger* con nuestro servicio, la plataforma utiliza el servicio de grafana, el servicio esta resumido en la Fig. 9.

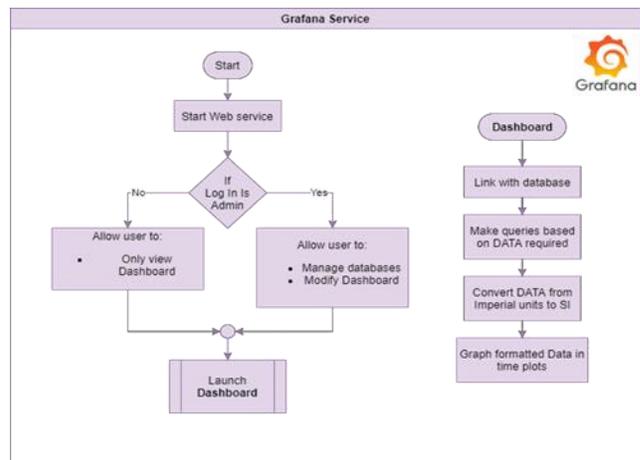


Fig. 9 Diagrama de flujo del servicio grafana de la plataforma.

Este servicio implementa una vista para login, la cual permite al usuario o ingresar como invitado (visualización de información) y administrador de la plataforma, en particular la vista de invitado, la plataforma permite al usuario realizar una exploración de los datos meteorológicos almacenados en la plataforma con diferentes rangos de tiempo (días, semanas y meses), la plataforma también le permite al usuario interactuar con los datos al poder descargar los datos de la plataforma en el formato en que desee realizarlo. Finalmente, se implementó el servicio para las tareas periódicas. Este servicio tiene como tarea fundamental realizar, de forma autónoma, la ejecución de actividades periódicas como la inspección de la Ip dinámica del servidor donde se encuentran alojados los servicios, además de esto también

realiza un *BackUp* diario de los datos capturados en la plataforma por medio de la herramienta de repositorios remotos GitHub, la Fig. 10 expone el resumen del servicio de las tareas periódicas.

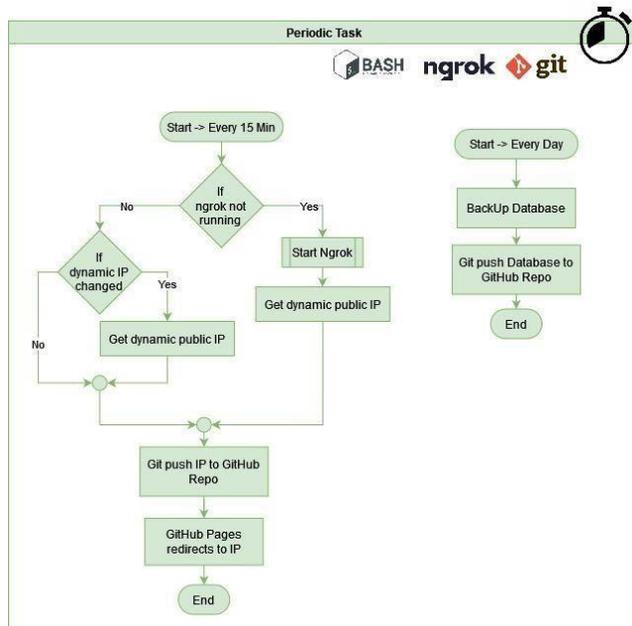


Fig. 10 Diagrama de flujo del servicio de tareas periódicas en la plataforma

La documentación del código fuente de la plataforma se encuentra en un repositorio público de los laboratorios del proyecto académico de Ingeniería Electrónica de la Fundación Universitaria de San Gil, en la siguiente dirección:

<https://github.com/ElectronicaYopal/WeatherStationsUnisanGil>

V. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de nuestro proyecto de investigación se aporta en el desarrollo de nuestra región casanareña al suministrar datos, en tiempo real, de variables meteorológicas para la toma de decisiones en la agricultura, pues en la actualidad los sistemas con los que cuentan los agricultores de la región, generalmente estas plataformas, no están en su totalidad actualizados o tienen muchos datos faltantes.

También es importante evidenciar la necesidad de desarrollar plataformas de *software* que permitan centralizar los datos, pues en la actualidad existen diferentes nodos de información, tanto privados como públicos, que no brindan un panorama claro ni general,

sobre todo para el tema tratado en el trabajo presentado, la información del estado real del clima en zonas como nuestro departamento, donde se encuentra limitada. Con esta plataforma se pretende empezar a cerrar la brecha que existe en la actualidad.

Con el apoyo de la tecnología a distintas áreas de interés se puede crear herramientas que impulsen el desarrollo de nuestra nación. Estas herramientas son utilizadas como asistencia en la toma de las mejores decisiones posibles, puntualmente en el análisis del clima. Conocer el comportamiento de estos datos aportará a la solución del problema del cambio climático y el aprovechamiento de los recursos.

REFERENCIAS

- [1] La transición hacia el desarrollo sustentable: perspectivas de América Latina y el Caribe. Instituto Nacional de Ecología, 2002.
- [2] Alonso, J.A. Sagardoy. La seguridad alimentaria mundial futura y el desarrollo del riego. *Riegos y drenajes XXI*, 2001, No. 121, pp. 48-57.
- [3] Orozco, Óscar Arley; Ramírez, Gonzalo Llano. Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 2016, vol. 15, No. 28, pp. 103-124.
- [4] Doorenbos, Jy; Kassam, Amir H. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1980.
- [5] Castro C., Nesly Diana; Chamorro F., Luis Eduardo; Viteri M., Carlos Andrés. Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 2016, vol. 33, No. 2, pp. 106-116.
- [6] CatSensors. 2019. “Soluciones LoRa para agricultura inteligente.” IAgua. Retrieved February 28, 2021. [Online]. Available: <https://www.catsensors.com/es/catsensors/catnews/soluciones-lora-para-agricultura-inteligente>

Capítulo 2. Teleconexión entre la sequía meteorológica y la climatología global en el departamento de Nariño

Teleconnection between weather drought and global climatology in the department of Nariño

Camilo Ocampo Marulanda^{1,2}, Yesid Carvajal Escobar², Teresita Canchala Nastar², Wilmar L. Cerón²,
Cristhian E. Fernández-Álvarez², Wilfredo Alfonso-Morales²

¹Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL, Yopal, Colombia

²Universidad del Valle - UNIVALLE, Cali, Colombia

cocampo1@unisangil.edu.co

Palabras clave: Sequía, SPI, teleconexiones, variables macroclimáticas.

comportamiento contrario a lo registrado en las costas de Ecuador.

RESUMEN

La sequía se caracteriza por un déficit de precipitación respecto a sus condiciones normales históricas, que se constituye en una amenaza con un impacto espacial amplio que afecta principalmente al sector agrícola. Esta afectación es común en el departamento de Nariño considerando que su economía se fundamenta en las actividades agrícolas. En este sentido, como insumo para prever eventos de sequía en el departamento y reducir la vulnerabilidad a la sequía, se evaluaron sus teleconexiones con variables macroclimáticas (VM). Para ello, se utilizó información de precipitación de la base de datos satelital de CHIRPS, para monitorear la sequía se estimó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), el cual fue regionalizado mediante el método de K-medias. Posteriormente se correlacionaron los Componentes Principales No Lineales (CPNL) de cada región con las VM. Como resultado, se definieron dos regiones: Este y Oeste; se encontró una influencia marcada del ENOS sobre el principal modo de variabilidad de la sequía en la región Este y una influencia de fenómenos macroclimáticos de baja frecuencia sobre el segundo modo de variabilidad. Por otro lado, el primer modo de variabilidad de la sequía está relacionado con las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) del Pacífico occidental en la región Oeste; y el segundo modo de variabilidad de la sequía con las anomalías de TSM del Atlántico. Al comparar las correlaciones con estudios previos en Colombia y Ecuador, se evidencia que la sequía en la región Este tiene un comportamiento similar a la región Andina en Colombia y Ecuador, sin embargo, la región Oeste tiene un

I. INTRODUCCIÓN

Las sequías meteorológicas son percibidas como sucesos prolongados y regionalmente extensos de disponibilidad de precipitación por debajo de la media [1] [4]. La sequía tiene fuertes impactos en la agricultura de secano, donde la única fuente de agua para los cultivos es la lluvia. Este tipo de agricultura es implementada ampliamente en el departamento de Nariño, Colombia, donde su economía se fundamenta en actividades agrícolas [5]. Los efectos de la sequía meteorológica impactan negativamente el sector agropecuario del departamento, en especial a los pequeños productores, siendo las comunidades pobres las más afectadas.

Por fortuna, algunas investigaciones han demostrado la influencia que las variables macroclimáticas (VM) poseen sobre la precipitación del continente [6] [8], con un efecto rezagado que permite conocer, con anticipación, la ocurrencia de eventos de sequía meteorológica. En este sentido, esta investigación busca identificar las teleconexiones que tiene la sequía en Nariño con las VM a escala planetaria, tal que se conviertan en un insumo que brinde un entendimiento de la climatología local y que proporcione información respecto a futuros pronósticos de eventos extremos de precipitación.

II. METODOLOGÍA

A. Zona de estudio y datos

La zona de estudio es el departamento de Nariño, ubicado en el suroccidente de Colombia [9]. Nariño registra una extensión total de 33,268 km² [10], equivalente al 2.9% de

la superficie del país [9]. El departamento se divide en tres grandes biomas: Pacífico, Andina y Amazónica [10], tal como se detalla en la Fig. 1.

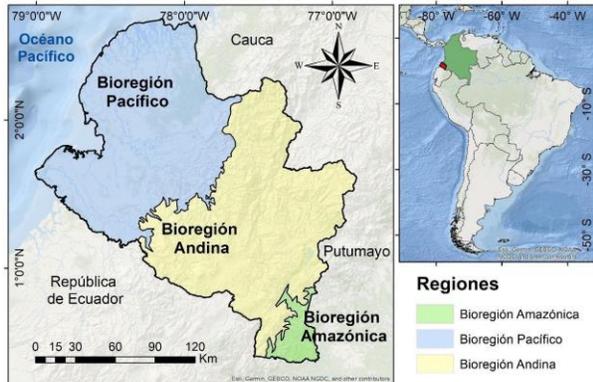


Fig. 1 Ubicación geográfica del departamento de Nariño y sus bioregiones.

Para esta investigación se utilizaron dos fuentes de datos: (i) Datos de precipitación de Grupo de Riesgos Climáticos Precipitación infrarroja con datos de estaciones (CHIRPS) con resolución mensual; esta base de datos se utiliza principalmente para estudiar la sequía [11]. El conjunto de datos CHIRPS está disponible a escala diaria en <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps/>. (ii) Series de tiempo de VM construidas a partir de anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM), de la presión atmosférica a nivel del mar, velocidad del viento, entre otras variables. Estas VM son monitoreadas y suministradas por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA).

B. Correlación de la sequía con VM

Los datos de precipitación se transformaron al Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), ampliamente usado para monitorear la sequía. Las series temporales de SPI se construyeron mediante una suma móvil ajustada a la distribución de probabilidad Gamma, tal como se recomienda en [12]. Los valores SPI se agruparon en la escala semestral (SPI6) para abarcar variabilidades intranuales e interanuales.

Con el propósito de reducir la variabilidad entre los diferentes datos de SPI, se regionalizaron áreas homogéneas en cuanto al comportamiento de la sequía. Para ello, se hace uso del Análisis de Componentes Principales no Lineales (ACPNL) utilizando redes neuronales artificiales [13] y luego, se agrupó la información mediante el método de K-medias. La métrica de silueta se utilizó como medida para definir el número óptimo de grupos (K).

Posteriormente, se estimaron las Componentes Principales no Lineales (CPNL) del SPI6 agrupados para cada una de las regiones identificadas previamente. Se realizó la correlación de Pearson cruzadas sincrónicas y rezagadas con las VM.

La selección de VM se realizó basado en estudios previos realizados sobre Colombia y Ecuador [6] [8], [14] [18], donde se seleccionaron los siguientes VM: Índice Multivariado del ENOS (MEI), Oscilación del Atlántico Norte (NAO), TSM en la región Niño 3 (T-Niño3), región Niño1+2 (T-Niño1+2), región Niño4 (T-Niño4), región Niño3.4 (T-Niño3.4), Índice del Niño Oceánico (ONI), Índice de Oscilación del Sur (SOI), Índice del Niño Trans (TNI), Índice del Atlántico Norte Tropical (TNA), Índice de precipitación del ENOS (Fenomeno de El Niño Oscilación del Sur / ENSO índice del Fenomeno de El Niño Oscilación del Sur), Índice de la TSM del Atlántico Norte Tropical (NTA), Índice del Caribe (CAR), Índice del Pacífico Occidental (WP), Oscilación Quasibienal (QBO), Índice de Oscilación del Atlántico Norte (AMO), Patrón del Pacífico Norte (NP), Modo Meridional del Atlántico (AMM), Índice del Atlántico Sur Tropical (TSA), Serie de tiempo bivariada del ENSO (BEST), Índice Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) e Índice del Niño Modoki (EMI).

III. RESULTADOS

Del proceso de regionalización con K-medias del SPI6, se encontró que con $K=2$ se obtiene la mejor segregación de los datos con un valor de silueta de 0.68. Se definieron la región Este que representa el 70% del departamento y la región Oeste que representa el 30% (ver Fig. 2). Mayor información del proceso de regionalización puede consultarse en [19].



Fig. 2 Regionalización del SPI6 con el método de Kmedias.

Se determinaron las CPNL de la región Este (región Oeste) con una varianza explicada de 70% para la CPNL1 y 19% para la CPNL2 (82% CPNL1 y 11% CPNL2). Cada CPNL se correlacionó con las VM y se muestran en la Fig. 3 para la región Este y en la Fig. 4 para la región Oeste.

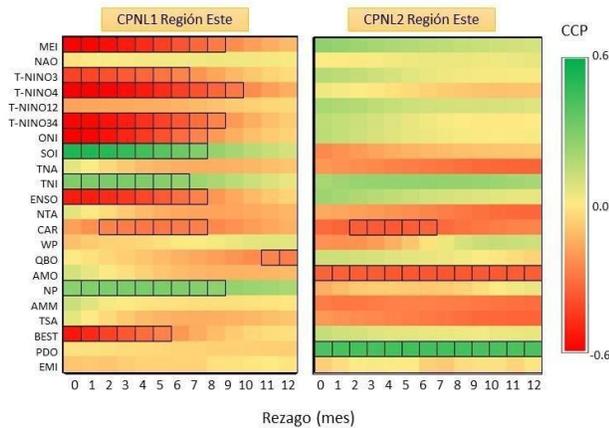


Fig. 3. Correlación entre las CPNL de la región Este y las VM, las correlaciones significativas están marcadas con un recuadro.

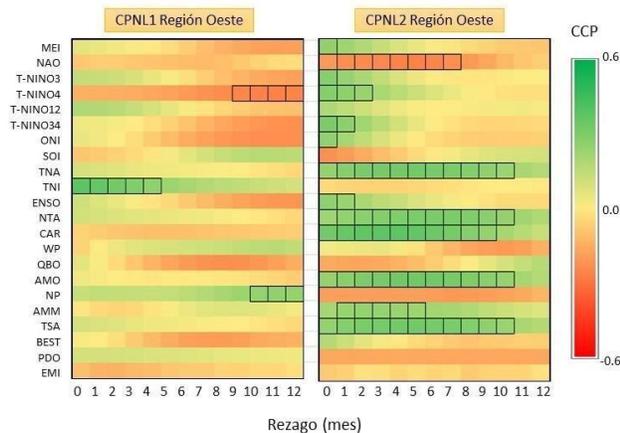


Fig. 4. Correlación entre las CPNL de la región Oeste y las VM.

Para la región Este, se muestra significancia estadística de la primera (segunda) CPNL con las VM MEI, T-Niño3, T-Niño4, T-Niño3.4, ONI, SOI, TNI, ENSO, CAR, QBO y BEST (CAR, AMO y PDO).

Las correlaciones encontradas para la CPNL1 de la región Este ponen en evidencia el alto grado de influencia de las anomalías en la cuenca del Pacífico sobre la variabilidad explicada por esta componente. Adicionalmente, las VM asociadas al Atlántico presentan el mayor rezago, lo que indica que la macrocuenca del Atlántico tiene influencia sobre el SPI6 en Nariño, pero la respuesta al cambio de la TSM en el Atlántico se refleja hasta un año después.

Este amplio rezago de NTA y TSA con la CPNL1 de la región Este se explica por la distancia física entre el Atlántico y esta región. La vertiente este de los Andes, es fuertemente influenciada por la humedad proveniente del Amazonas, esta humedad proviene, en esencia, del proceso

de evaporación del océano Atlántico. Teóricamente, este proceso tarda varios meses dado que la selva amazónica tiene un proceso cíclico de evapotranspiración-precipitación de hasta 6 veces [20], esto explica el amplio rezago entre la anomalía de la TSM en el océano (NTA y TSA) y las variaciones del SPI6 en la región Este de Nariño.

Al comparar las correlaciones encontradas con estudios anteriores, existe una relación de la región Este del SPI6 con la región Andina colombiana y ecuatoriana. Por ejemplo, se reporta una fuerte relación inversa (directa) entre la precipitación de los Andes ecuatorianos y T-Niño 3.4 (SOI) [17]; también se reporta una relación entre la sequía en los Andes ecuatorianos con T-Niño3.4 [21], similar a lo reportado en esta investigación. En Colombia, se encontró una correlación positiva con el SOI y negativa con el ENSO de la región andina nariñense [8], coherente con las correlaciones encontradas para el SPI6 de la región Este.

La CPNL2 de la región Este presenta una correlación significativa con las VM: AMO y PDO. Ambas VM están asociadas a la explicación de fenómenos macroclimáticos de baja frecuencia de oscilación del Atlántico norte y oscilación decadal del Pacífico. Esto indica que el segundo modo de variabilidad de mayor influencia en la región Este, está asociado con la variabilidad interdecadal.

La Fig. 4 muestra las correlaciones de la región Oeste, la CPNL1 de esta región presenta una alta correlación significativa y directa con la VM TNI. Por otro lado, muestra una correlación significativa positiva (negativa) para rezagos superior a 10 meses (9 meses) con la VM NP (T-Niño4).

Se reportan correlaciones positivas de la región Pacífico nariñense con T-Niño1+2 y T-Niño3, y correlación negativa con la T-Niño 3.4 [8]; congruente con lo mostrado en esta investigación. En Ecuador, se relaciona la sequía del Pacífico ecuatoriano con la T-Niño1+2 [21], y se relacionan las anomalías de T-Niño1+2 con la precipitación [22] y caudales [16] de la costa ecuatoriana, similar a lo reportado en esta investigación de correlaciones con la región Oeste.

La relación directa entre el TNI y la CPNL1 de la región Oeste indica que mientras la TSM en la región del Niño 1+2 sea mayor que la TSM en la región del Niño 4 se tendrán valores negativos del SPI6 en la región Oeste. Recientemente se encontró una correlación inversa (directa) significativa de la segunda componente de caudales de Ecuador con el TNI (EMI) [16], contrario a las correlaciones con SPI6 de Nariño. Estos resultados

contrarios entre lo reportado por [16] y esta investigación ponen en evidencia los efectos diferenciados del ENOS sobre las precipitaciones en el Pacífico nariñense y Pacífico ecuatoriano; esto teniendo en cuenta que tanto el TNI como el EMI están relacionados con los gradientes longitudinales de TSM del Pacífico tropical.

La CPNL2 de la región Oeste presenta una correlación significativa y directa con las VM AMO, CAR, NTA, TSA, TNA, AMM. Estas relaciones directas indican que en la medida que el océano Atlántico se calienta, la región Oeste tiende a presentar valores negativos del SPI6. El efecto que presenta el calentamiento del Atlántico sobre el departamento es contrario entre las dos regiones, un calentamiento anómalo del Atlántico conlleva a un incremento del SPI6 en la región Este, mientras que provoca valores negativos de SPI6 en la región Oeste.

IV. CONCLUSIONES

Se reportan las correlaciones entre las VM y las dos CPNL de la región Este y la región Oeste del departamento de Nariño, obtenidas de un proceso de agrupamiento basado en la simplificación a través de CPNL y K-medias. Las correlaciones encontradas muestran similitud con lo reportado por estudios previos realizados en Colombia con teleconexiones de precipitación y caudal. Además, se constató que la región Este de SPI6 es equivalente a las teleconexiones de la región Andina en Colombia y Ecuador. Por otro lado, la región Oeste equivalente a la región Pacífico, muestra resultados contrarios a estudios previos en la costa ecuatoriana, por ejemplo: en esta investigación se reportó una correlación directa entre TNI y SPI, mientras que [16] muestra una correlación inversa entre el TNI y los caudales.

La correlación negativa entre la CPNL1 de la región Este y las TSM del Pacífico ecuatorial oriental y central indica que los eventos La Niña (El Niño) están asociados a un exceso (déficit) de lluvias en esta región. Por el contrario, se presentan correlaciones positivas de la CPNL1 de la región Oeste con la TSM de la región del Niño 1+2 y Niño 3, y correlación negativa con la región del Niño 4; esto indica que algunos eventos de La Niña (El Niño) están asociados a déficit (exceso) de lluvias en esta región. Esta descripción no es una generalidad para la región Oeste, dado que cada evento ENOS presenta una región de anomalías de TSM diferenciado.

Las correlaciones positivas observadas en el Atlántico tropical sugieren que el calentamiento (enfriamiento) anómalo del Atlántico tropical aumenta (disminuye) las precipitaciones en el suroeste de Colombia. Los hallazgos reportan que el calentamiento del Atlántico tropical debilita

el chorro de bajo nivel del Caribe [23] [25] y permite la configuración del chorro de bajo nivel del Chocó en el Pacífico tropical oriental [26]. En este sentido, las anomalías negativas de la TSM en el Pacífico oriental tropical y las positivas en el Atlántico norte tropical o el mar Caribe intensifican el gradiente de la TSM de Oeste a Este. Esto promueve un chorro del Chocó más intenso en el Pacífico oriental, y un chorro del Caribe más débil en la región del mar Caribe, resultando en una mayor precipitación sobre el territorio colombiano.

REFERENCIAS

- [1] L. A. Espinosa, M. M. Portela, J. D. Pontes Filho, T. M. de C. Studart, J. F. Santos and R. Rodrigues, “Jointly modeling drought characteristics with smoothed regionalized SPI series for a small island”, *Water (Switzerland)*, vol. 11, No. 12, pp. 1–27, 2019, doi: 10.3390/w11122489.
- [2] J. F. Santos, M. M. Portela and I. Pulido-Calvo, “Regional Frequency Analysis of Droughts in Portugal”, *Water Resour. Manag.*, vol. 25, No. 14, pp. 3537–3558, 2011, doi: 10.1007/s11269-011-9869-z.
- [3] L. M. Tallaksen and H. A. Van Lanen, *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*, 48th ed. Elsevier, 2004.
- [4] S. M. Vicente-Serrano, J. C. González-Hidalgo, M. de Luis and J. Raventos, “Drought patterns in the Mediterranean area: The Valencia region (eastern Spain)”, *Clim. Res.*, vol. 26, No. 1, pp. 5–15, 2004, doi: 10.3354/cr026005.
- [5] L. E. Arteaga N. and J. E. Burbano N., “Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo”, vol. 35, No. 2, pp. 79–91, 2018.
- [6] S. Córdoba-Machado, R. Palomino-Lemus, S. R. Gámiz-Fortis, Y. Castro-Díez and M. J. Esteban-Parra, “Influence of tropical Pacific SST on seasonal precipitation in Colombia: prediction using El Niño and El Niño Modoki”, *Clim. Dyn.*, vol. 44, No. 5–6, pp. 1293–1310, 2015, doi: 10.1007/s00382-014-2232-3.
- [7] G. Poveda, D. M. Álvarez and Ó. A. Rueda, “Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: A review of climatic processes and their impact on one of the Earth’s most important biodiversity hotspots”, *Clim. Dyn.*, vol. 36, No. 11–12, pp. 2233–2249, 2011, doi: 10.1007/s00382-010-0931-y.
- [8] T. Canchala, W. Alfonso-Morales, W. L. Cerón, Y. Carvajal-Escobar and E. Caicedo-Bravo, “Teleconnections between monthly rainfall variability and large-scale climate indices in Southwestern Colombia”, *Water*, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/w12071863.
- [9] IGAC, “Estudio general de suelos y zoonificación de tierras. Departamento de Nariño”. 2004.
- [10] Gobernación de Nariño, “Plan participativo de Desarrollo Departamental - Nariño Corazón del Mundo”. Pasto, Nariño, p. 255, 2016, [Online]. Available: <http://xn--nario-rt.a.gov.co/inicio/index.php/gobernacion/plan-de-desarrollo/354-plan-de-desarrollo-departamental-narino-corazon-del-mundo-2016-2019>.
- [11] C. C. Funk *et al.*, “A Quasi-Global Precipitation Time Series for Drought Monitoring”, *U.S. Geol. Surv. Data Ser.*, vol. 832, No. 4, pp. 1–12, 2014, doi: <http://dx.doi.org/110.3133/ds832>.
- [12] M. Dehghani, B. Saghafian, F. Nasiri Saleh, A. Farokhnia and R. Noori, “Uncertainty analysis of streamflow drought forecast using artificial neural networks and Monte-Carlo simulation”, *Int. J. Climatol.*, vol. 34, No. 4, pp. 1169–1180, 2014, doi: 10.1002/joc.3754.
- [13] N. T. Canchala, Y. Carvajal-Escobar, W. Alfonso-Morales, L. W. Cerón and E. Caicedo, “Estimation of missing data of monthly rainfall in southwestern Colombia using artificial neural networks”, *Data Br.*, vol. 26, pp. 2352–3409, 2019, doi: 10.1016/j.dib.2019.104517.

- [14] L. W. Cerón, Y. Carvajal-Escobar, R. V. A. De Souza, M. T. Kayano and N. González, “Spatio-temporal analysis of the droughts in Cali, Colombia and their primary relationships with the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) between 1971 and 2011”, *Atmósfera*, vol. 33, No. 1, pp. 51–69, 2020, doi: 10.20937/ATM.52639.
- [15] T. Canchala *et al.*, “Streamflow Variability in Colombian Pacific Basins and Their Teleconnections with Climate Indices”, 2020.
- [16] C. Quishpe-Vásquez, S. R. Gámiz-Fortis, M. García-Valdecasas-Ojeda, Y. Castro-Díez and M. J. Esteban-Parra, “Tropical Pacific sea surface temperature influence on seasonal streamflow variability in Ecuador”, *Int. J. Climatol.*, vol. 39, No. 10, pp. 3895–3914, 2019, doi: 10.1002/joc.6047.
- [17] E. Morán-Tejada *et al.*, “Climate trends and variability in Ecuador (1966-2011)”, *Int. J. Climatol.*, vol. 36, pp. 3839–3855, 2016, doi: 10.1002/joc.4597.
- [18] Á. J. Ávila, Y. Carvajal-Escobar and S. E. Gutiérrez, “Análisis de la influencia de El Niño y La Niña en la oferta hídrica mensual de la cuenca del río Cali”, *Rev. Tecnura*, vol. 18, No. 41, p. 120, 2014, doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.3.a09.
- [19] C. Fernández-Álvarez and W. Alfonso-Morales, “Clustering of extreme events through Standardized Precipitation Index (SPI) in Colombian Southwester”, 2021.
- [20] G. Poveda, “El papel de la Amazonia en el clima global continental: Impactos del cambio climático y la deforestación”, Esc. Geosci. y Medio Ambient. Univ. Nac. Colomb., 2011.
- [21] S. M. Vicente-Serrano *et al.*, “The complex influence of ENSO on droughts in Ecuador”, *Clim. Dyn.*, vol. 48, No. 1, pp. 405–427, 2017, doi: 10.1007/s00382-016-3082-y.
- [22] R. Ávila and D. Ballari, *A Bayesian Network Approach to Identity Climate Teleconnections Within Homogeneous Precipitation Regions in Ecuador*, vol. 1099. Springer International Publishing, 2020.
- [23] C. Wang, “Variability of the Caribbean Low-Level Jet and its relations to climate”, *Clim. Dyn.*, vol. 29, No. 4, pp. 411–422, 2007, doi: 10.1007/s00382-007-0243-z.
- [24] C. Wang and S. K. Lee, “Atlantic warm pool, Caribbean low-level jet, and their potential impact on Atlantic hurricanes”, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 34, No. 2, pp. 1–5, 2007, doi: 10.1029/2006GL028579.
- [25] C. Wang, S. K. Lee and D. B. Enfield, “Impact of the Atlantic warm pool on the summer climate of the Western Hemisphere”, *J. Clim.*, vol. 20, No. 20, pp. 5021–5040, 2007, doi: 10.1175/JCLI4304.1.
- [26] W. L. Cerón, M. T. Kayano, R. V. Andreoli, T. Canchala, Y. Carvajal-Escobar and W. Alfonso-Morales, “Rainfall variability in Southwestern Colombia: Changes in ENSO – related features”, *Pure Appl. Geophys.*, pp. 1–17, 2021, doi: 10.1007/s00024-021-02673-7.

Capítulo 3. El poder del *Machine Learning* en la prevención de los accidentes de tránsito "caso de éxito TRAR"

Machine Learning power in the prevention of traffic accidents "case TRAR success"

Ángela Bibiana Ortegón Fuentes, Juan David Castellom Rodríguez, Gerson Castillo Hernández, Sebastián Salcedo, Jorge Luis Tinjacá Burgos, Steban Camilo Garzón García

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Yopal, Colombia

abortegon@unisangil.edu.co, jcastellom@unisangil.edu.co, gcastilloh@unisangil.edu.co, jhonsalcedo@unisangil.edu.co, jorgetinjacá@unisangil.edu.co, camilogarzon@unisangil.edu.co

Palabras clave: Accidentes de tránsito, minería de datos, modelo correlacional, regresión lineal, StartUp.

mundial. Estos patrones de comportamiento y accidentes viales pueden ser útiles para desarrollar políticas de control de seguridad vial.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la seguridad vial es una de las principales prioridades en los gobiernos, la Agenda 2030 para desarrollo sostenible, creada por Asamblea General de las Naciones Unidas, y adoptada en septiembre de 2015, en su primer decenio de acción para la seguridad vial, plantea en uno de sus objetivos: “reducir a la mitad, para el 2020, el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tránsito en todo el mundo”; de lo contrario, se prevé que para 2030 los accidentes de tránsito serán la séptima causa de defunción a nivel mundial [1] meta que no ha sido abordada a la fecha pese a que varios países están realizando pasos para aumentar la seguridad vial, como fue propuesto de nuevo en el 2021 en su segundo decenio de acción para la seguridad vial 2021-2030.

Según estudios realizados por la OMS, cada año los accidentes viales causan la muerte de aproximadamente 1,3 millones de personas, costando más del 3% del PIB de los países, más de la mitad de defunciones afectan peatones, ciclistas y motociclistas. Por otro lado, pese a que los países bajos y medianos tienen el 60% de los vehículos, causan el 93% de las defunciones ocasionadas por accidentes de tránsito. Los traumatismos por causa de los mismos, en el mundo, son la principal causa de mortalidad entre niños y jóvenes de cinco a veintinueve años. Todo lo mencionado también trae grandes consecuencias económicas para las personas, familias y países.

Considerando la importancia del tema, la identificación de los patrones asociados a los accidentes de tránsito se ha convertido en uno de los objetivos para reducir el índice de mortalidad causado por los accidentes de tránsito a nivel

Dado lo anterior, el presente proyecto investiga la aplicación del algoritmo supervisado, implementando regresión lineal múltiple y empleando el lenguaje de programación Python, para construir modelos que permitan identificar las correlaciones significativas entre las variables asociadas a los accidentes de tránsito, aplicado con base en el histórico de accidentes ocurridos en Yopal durante los años 2017 a 2020, y el reporte meteorológico de Yopal, posteriormente se replica a nivel mundial creando el caso de éxito de la Startup “TRAR”.

II. IMPORTANCIA DEL PROYECTO

Cada año, a nivel mundial, se pierden aproximadamente 1,35 millones de vidas como consecuencia de los accidentes de tránsito. Entre 20 millones y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales, y muchos de esos traumatismos provocan una discapacidad [2], por ello los gobiernos invierten importantes recursos en prevenir estos accidentes. Sin embargo, el número de muertos en accidentes de tráfico sigue aumentando y se debe invertir en acciones que permitan disminuir considerablemente estas cifras.

El departamento del Casanare, y según el reporte del ASV, refleja un incremento de más del 50% de accidentes de tránsito ocurridos. A junio de 2019 su capital Yopal presentó alrededor del 51,67% de siniestros por accidentes de tránsito, en los cuales se vieron involucrados motociclistas.

Con un modelo que permita realizar el análisis detallado de las variables y definir las posibles relaciones entre las

mismas proporciona una herramienta tecnológica que facilita a las autoridades competentes identificar los factores de riesgo para la ciudadanía. Así la toma de decisiones permite promover soluciones para mitigar el impacto causado por los accidentes de tránsito.

III. DISEÑO METODOLÓGICO

Para esta investigación se emplea el método científico, a través de un diseño de investigación experimental con enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, el cual consiste en la caracterización de los accidentes de tránsito y su posible correlación, con el fin de establecer su estructura o comportamiento.

Como muestra se observa y cuantifica el comportamiento vial de los habitantes del municipio de Yopal de las diferentes variables asociados a los accidentes de tránsito. Es decir, cada característica o variable se analiza de forma autónoma o independiente. Los tipos de investigación que se emplean, como antes se especificó, son cuantitativo y comparativo ya que se hace necesario recolectar información que permita hacer una hipótesis y conocer la

totalidad de la población a investigar, para evitar futuros accidentes de tránsito.

Para la investigación se seleccionaron dos tipos de muestras: Muestreo probabilístico de conglomerados, donde se toma el total de los accidentes de tránsito desde enero del 2017 hasta agosto de 2020, dados por 1394 accidentes. Muestreo no probabilístico por conveniencia, donde la muestra se calcula, dada por 452 accidentes de tránsito para el momento de realizar las pruebas y la data de aprendizaje en el sistema.

Las técnicas de recolección de información empleadas son: observación directa, encuesta, captura de accidentes en *software Recoaty*, revisión documental, informes, observatorios de la ASV, IPAT [3], por otra parte, la metodología técnica empleada es la metodología XP, paradigma en cascada y la metodología KDD de minería de datos propone 5 fases: Fuentes de datos, pre-procesamiento, exploración y transformación, reconocimiento de patrones, evaluación e interpretación, como se muestra en la Fig. 1.

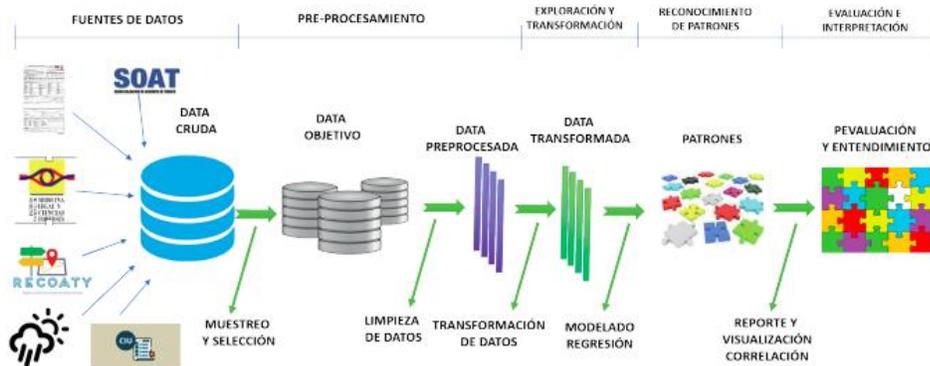


Fig. 1 Etapas de la metodología KDD dentro del proyecto de investigación.

En la Fig. 1 se evidencian las etapas que se utilizan en la metodología KDD, comenzando con la selección de datos, el preprocesamiento, la transformación, aplicación de minería de datos e interpretación y evaluación [4].

La investigación realizada, considerando las metodologías antes plasmadas, se realiza a través de un proceso de extracción del conocimiento teniendo en cuenta las 5 fases de minería de datos: selección de datos, construcción de *Recoaty* y digitalización de la información, preprocesamiento de la información y transformación de los datos, identificación de los puntos críticos de accidentalidad por georreferenciación, caracterización e identificación de los factores de riesgos asociados a los

accidentes de tránsito, interpretación de resultados, método *lean startup*.

IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN, RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Fase 1. Estructura del aplicativo *Recoaty*

Aplicando metodologías ágiles como XP y paradigma en cascada se realiza el levantamiento de requerimientos, análisis, diseño e implementación del aplicativo *Recoaty*. En Colombia, según la Resolución 11268 de 2012 [3], se implementa el IPAT, formato para recolectar los accidentes de tránsito, para lo cual fue basado *Recoaty* (Fig. 2).



Fig. 2. Aplicativo *Recoaty* accidentes 2017 a 2020. Mapa de puntos de accidentes según la gravedad.

B. Fase 2. Preprocesamiento de la información y transformación de los datos

Los datos obtenidos contienen registros nulos o erróneos que conllevarían a un proceso de minería de datos con pobres resultados, por ello se aplican técnicas de preprocesamiento, esta técnica fue realizada, en el proyecto, de manera artesanal y manual. Algunos datos se procesaron utilizando fórmulas avanzadas y tablas dinámicas en Excel, sin embargo, para un futuro se recomienda aplicar técnicas ETL y poder sistematizar el proceso. Los pasos son:

- Captura de datos, conversión de data relacional a no relacional y normalización de datos (eliminación de registros duplicados, modificación de error de digitación y eliminación de las instancias iniciales de prueba).
- Transformación de los datos. Se decide realizar una codificación a cada atributo y definir en una escala numérica los valores más representativos, esto permitió seleccionar, de manera más rápida, toda la

información. Se integran todos los datos de las diferentes fuentes, se da forma a los datos, para seleccionar los datos útiles para la investigación, esto con el fin de tener una vista minable, es el proceso más importante y demorado de la investigación, de este depende la viabilidad de los resultados.

C. Fase 3. Desarrollo del componente para la identificación de los puntos críticos de accidentalidad por georreferenciación

Debido a que el mapa generado por el aplicativo *Recoaty* no permite realizar un análisis por zonas (mapa de calor, Fig. 3) e identificar los puntos de georreferenciación con mayor número de accidentes, se desarrolla un aplicativo en Python, una vez se obtiene la vista minable: Dataset. Se procede a identificar los puntos críticos de accidentalidad por georreferenciación, se aplican las librerías *ipyleaflet* | *Map data* (c) *OpenStreetMap contributors*, para la generación de los mapas. Para la implementación se utiliza Python (Fig. 4).

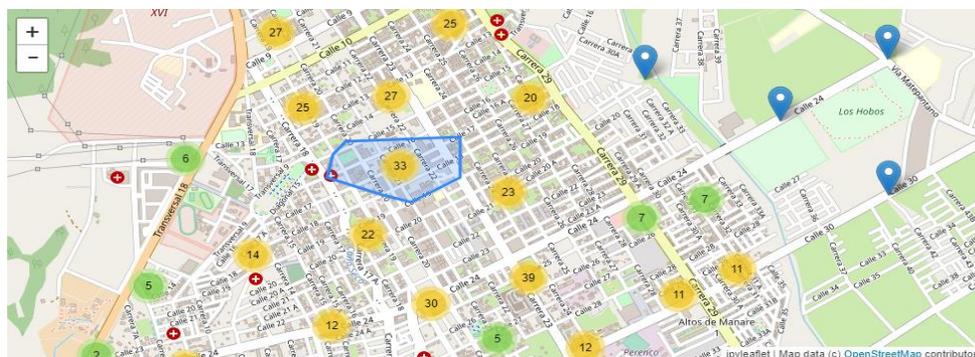


Fig. 3 Mapa de calor de los accidentes de la ciudad de Yopal.



Fig. 4 Mapa acercamiento a un punto específico CI 10 Cr 21: 2017 – 2018.

Para la identificación de ubicaciones con mayor índice de accidentalidad en la primera etapa del desarrollo se identificaron previamente las diez ubicaciones con mayor incidencia de accidentes de tránsito para los dos períodos: 2017-2018 y 2019-2020 (Fig. 5, 6).

```
# Se imprime el array con el conteo de accidentes en cada una de las ubicaciones.
# En el presente análisis se consideran las 10 primeras ubicaciones con mayor cantidad
sortedByValue

[['Vía Marginal de la Selva', 29),
 ('Vía Yopal - Paz De Aripono', 24),
 ('Vía Yopal - Filodirán', 19),
 ('Vía Principal Llano Lindo', 12),
 ('CL 10 CR 21', 12),
 ('Vía Yopal - Sirivana', 12),
 ('CL 24 CR 24', 8),
 ('CL 10 CR 18', 7),
 ('CL 13 CR 27', 7),
 ('CL 24 CR 5', 6),
```

Fig. 5 Sitios con mayor cantidad de accidentes 2017-2018.

```
# Se imprime el array con el conteo de accidentes en cada una de las ubicaciones.
# En el presente análisis se consideran las 10 primeras ubicaciones con mayor cantidad de accidentes.
sortedByValue

[['Vía Marginal de la Selva', 57),
 ('Vía Yopal - Paz de Aripono', 31),
 ('Vía Yopal - Filodirán', 23),
 ('Vía Yopal - Matepantano', 16),
 ('Vía Yopal - Sirivana', 11),
 ('CL 40 CR 5', 11),
 ('CL 24 CR 8', 8),
 ('CL 13 CR 22', 8),
 ('CL 13 CR 27', 7),
 ('Vía Yopal - El Morro', 7),
```

Fig. 6 Sitios con mayor cantidad de accidentes 2019-2020.

D. Fase 4. Caracterización e identificación de los factores de riesgos asociados a los accidentes de tránsito

Para determinar la caracterización de los accidentes de tránsito se determinó una lista que fuera contando y ordenando las características por cada punto identificado anteriormente (ver tabla 1).

TABLA 1. EJEMPLO DE CARACTERIZACIÓN MARGINAL DE LA SELVA 29 ACCIDENTES Y 60 VEHÍCULOS INVOLUCRADOS

	Variable	Valor	Porc
3	Choque	57	95.00
4	Choque con vehículo	56	93.33
5	Clima normal	47	78.33
11	Masculino	46	76.67
2	Ninguna – Daños materiales	33	55.00

E. Fase 5. Implementación del modelo correlacional, para la identificación de los patrones asociados

Dada la naturaleza claramente categorial con la que se han configurado los diferentes niveles de las variables en juego, así como su distinción entre variables dependientes o criterio y variables predictivas o independientes, se ha desarrollado para la consecución del fin propuesto una regresión lineal simple, dando como resultado la identificación de patrones repetitivos asociados a una característica determinada en los puntos con mayor accidentalidad, identificando el valor de correlación R2 y P-value (ver Fig. 7).

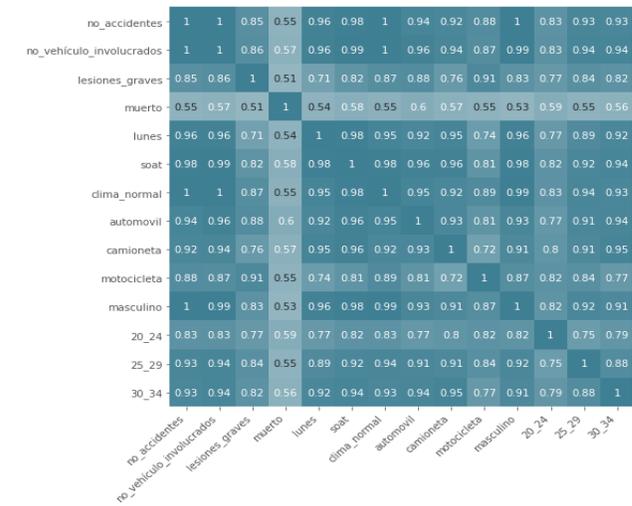


Fig. 7 Representación gráfica de la matriz correlacional.

Se procede con la generación de la gráfica de la regresión lineal (ver Fig. 8) en la que se evidencia la pendiente y cada una de las ubicaciones con mayor índice de accidentalidad y su comportamiento ante el resultado de la combinación de variables de cantidad de accidentes en motocicleta y lesiones graves.

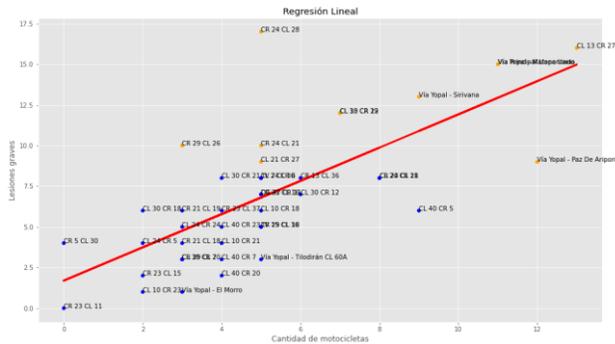


Fig. 8 Representación gráfica de la regresión lineal: cantidad de accidentes en motocicleta y lesiones graves.

En la gráfica se puede evidenciar una coincidencia en las vías Yopal – Matepantano y la vía principal de Llano Lindo en las que se vieron involucradas 11 motocicletas en accidentes de tránsito (en cada una de las vías) y en los que 15 personas sufrieron lesiones graves correspondientemente, de igual manera, otras ubicaciones como CI 17 Cr 27, vía Yopal Sirivana, CI 38 Cr 29, Cr 24 CI 28, entre otras, representan los puntos con mayor índice de gravedad en accidentes de tránsito en los que se vieron involucradas motocicletas.

De igual manera, se evidencia que ubicaciones como Cr 13 CI 36, Cr 23 CI 37, CI 24 Cr 24 y CI 24 Cr 5, representan una coincidencia significativa con la representación gráfica de la recta de regresión lineal, así como la vía Yopal–Paz de Ariporo, a pesar de que no se encuentra ubicada sobre la recta de la regresión lineal, presenta una cantidad de accidentes en motocicleta con lesiones graves significativas, aun superior al promedio general.

F. Fase 6. Método Lean Startup

Una vez obtenidos los resultados y evidenciando la viabilidad del proyecto a través de asesorías nacionales e internacionales se crea el plan de investigación como una Startup llamada “TRAR” (Fig. 9).



Fig. 9 Modelo Canvas “TRAR”.

V. CONCLUSIONES

La representación gráfica de los puntos georreferenciados de los accidentes de tránsito en el municipio de Yopal, Casanare, permite realizar un análisis más profundo de los resultados obtenidos al momento de identificar los sitios o intersecciones con mayor incidencia de accidentes de tránsito, validando las correspondientes zonas de calor y las cantidades calculadas a través del algoritmo.

Según los resultados obtenidos, se evidencia que entre las ubicaciones con mayor índice de accidentalidad se encuentran las vías cercanas al municipio de Yopal que conducen a otras localidades, además en la división inicial del Dataset se identifica, de igual manera, que existe incidencia en los dos períodos de la misma vía con una cantidad significativa de accidentes de tránsito.

La limpieza y validación de los datos son un factor significativo para el análisis de la información, debido a que una falla o incoherencia en los datos puede representar un sesgo que compromete la integridad del análisis y, por tanto, de los resultados.

REFERENCIAS

- [1] “Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe”.
- [2] C. Y. Rincón Acevedo, “Lesiones fatales en adolescentes, Casanare-Colombia 2011-2013,” *Revista Médica de Risaralda*, vol. 22, No. 1, pp. 18–29, 2017, doi: 10.22517/25395203.13641.
- [3] Ministerio de Transporte. “Resolución 11268, Informe Policial de Accidentes de Tránsito”, 2012.
- [4] “Implementación de un sistema de gestión basado en la metodología KDD de minería de datos para el proceso de planificación de la producción de la industria farmacéutica ecuatoriana”. La evasión tributaria e incidencia en la recaudación del impuesto a la renta de personas naturales en la provincia Guayas, período 2009-2012, No. proyecto de factibilidad técnica, económica y financiera del cultivo de ostra del Pacífico en la parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena, p. 136, 2015; Michilena.

Capítulo 4. Interpretación del lenguaje de señas empleando Python y redes neuronales artificiales

Interpretation of sign language using Python and artificial neural networks

Diego Alejandro Varela Grajales, Raúl Alexander Blanco Solano,
Wilton Ferney Casallas Rodríguez, Héctor Felipe Cortés Rojas

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Chiquinquirá, Colombia

diegovarela@unisangil.edu.co, raulblanco@unisangil.edu.co
wiltoncasallas@unisangil.edu.co, hcortes@unisangil.edu.co

Palabras clave: Inteligencia artificial, lengua de señas, Python, reconocimiento de imágenes, red neuronal convolucional.

I. INTRODUCCIÓN

La comunicación siempre ha sido una de las principales formas de progreso de la sociedad humana, porque a través de este enfoque puedes expresar sentimientos, tomar decisiones, etc. La falta de comunicación puede tener un impacto negativo en la sociedad [1] [2], sin duda una de las principales razones para no comunicar ideas es que se nace con limitaciones de habla o audición, sin estos dos componentes es difícil establecer una comunicación fluida. Sin embargo, debido a los nuevos métodos que han ido surgiendo a lo largo del tiempo, se ha hecho posible brindar soluciones para quienes, lamentablemente, nacen con esta diferente condición de habilidad.

Una de las técnicas es el lenguaje de signos (LS), el lenguaje de señas sordo es una forma de comunicación natural diferente al lenguaje oral [3], la diferencia consta en los canales de comunicación visual-gestual en lugar de canales audio-sonoros. La discapacidad es un concepto que ha cambiado con el tiempo, porque las personas con la enfermedad ya no son consideradas como enfermas, en la actualidad hay millones de personas en el mundo con diversas discapacidades, según la World Health Organization, “más del 5% de la población mundial (430 millones de personas) padece una pérdida de audición discapacitante y requiere rehabilitación (432 millones de adultos y 34 millones de niños)” [4]. Es necesario considerar que la aparición de determinadas deficiencias auditivas es tanto genética como debida al entorno de las personas con discapacidad auditiva [4].

La comunicación es esencial para los seres humanos, pero este mundo no está diseñado para personas con ciertas

discapacidades [5]. En la ciudad de Chiquinquirá Boyacá hay familias con niños sordos y mudos. En la política pública de discapacidad e inclusión social del municipio de Chiquinquirá [6] se indica que hay 1.726 personas con discapacidad en la ciudad, de las cuales 495 tienen discapacidad auditiva y 497 discapacidades del habla, algunos de estos residentes pueden padecer ambas condiciones.

En el semillero SICOM, de la Fundación Universitaria de San Gil, UNISANGIL, sede Chiquinquirá, se desarrolló una investigación aplicada para la solución de la problemática mencionada, como objetivo principal se planteó el desarrollar un prototipo que sirva como apoyo en la primera etapa de aprendizaje de la lengua de señas en los niños con discapacidad auditiva de 1 a 5 años en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá, se utilizó la metodología de marco lógico en la etapa de planificación y la metodología ágil SCRUM para las fases de diseño y construcción del prototipo.

II. REDES NEURONALES

Las redes neuronales biológicas son inmensas redes de neuronas interconectadas mediante procesos químicos y eléctricos. Todas esas neuronas conectadas entre sí le permiten al ser humano aprender, sentir, pensar, memorizar y desarrollar diversas actividades. Todo esto conlleva preguntarse si ¿es posible construir o crear algún tipo rudimentario de red neuronal y entrenarla para que sea capaz de llevar a cabo determinadas tareas y resolver problemas específicos? [7]

Las redes neuronales artificiales se han definido como una técnica de la inteligencia artificial, debido a que intenta desarrollar soluciones informáticas emulando el comportamiento del cerebro humano. En la actualidad son

ampliamente usadas en diferentes áreas como: neurociencias, matemáticas, estadística, física, ciencias de la computación y la ingeniería. Las redes neuronales encuentran aplicaciones en campos tan diversos como el modelado, análisis de series temporales, reconocimiento de patrones, procesamiento de señales y control realizando tareas de clasificación, identificación, diagnóstico, entre otras [8].

Las redes neuronales convolucionales, permiten de una manera óptima el procesamiento de imágenes, debido que su estructura o su algoritmo está diseñado específicamente para ello, esta red ha abarcado gran parte del desarrollo de visión por computadoras. Las capas convolucionales pueden adquirir filtros para que tengan un mejor desempeño y efectividad, las redes convolucionales tienen dos propiedades muy importantes que son: la invarianza y la equivarianza; la invarianza dice que la salida del modelo no tendrá ninguna transformación y la equivarianza habla sobre la salida, esta puede ser modificada, pero puede ser controlada [9].

III. METODOLOGÍA

Para el proyecto se empleó la investigación aplicada con métodos cuantitativos, así mismo, con el fin de obtener un desarrollo eficiente del diseño y construcción del prototipo y teniendo en cuenta la metodología de marco lógico en la etapa de planificación, se logró establecer una estrategia que respondiera a los objetivos planteados (resultados) en el proyecto de investigación, en la Fig. 1 se evidencian las fases (metodología del proyecto) junto con sus métodos.

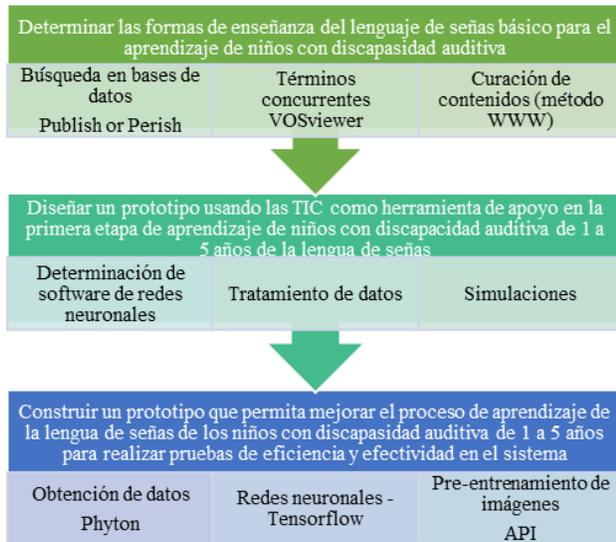


Fig. 1 Fases establecidas en el proyecto de investigación.

Para el desarrollo de las fases 2 y 3 del proyecto (diseño y construcción del prototipo) se establecieron métodos

prioritarios, los cuales en conjunto permiten obtener un sistema que logra identificar las vocales de la lengua de señas colombiana en tiempo real. En primera instancia se necesita realizar una obtención de datos, en este caso imágenes; Python y Tensor Flow son las herramientas adecuadas para el procesamiento de imágenes, se usó un API de detección de objetos que cuenta con un preentrenamiento que optimiza este proceso, dichas imágenes se clasificaron de acuerdo con el resultado esperado, las vocales {a, e, i, o, u}. A continuación, se describen los métodos usados en el proyecto.

A. Tratamiento de imágenes

Una imagen se puede visualizar en una matriz de *bits*, cada *bit* va a llevar consigo información que será procesada por una computadora para que la imagen pueda ser visualizada, las imágenes tienen 3 parámetros importantes, el ancho, el largo y la profundidad, esta última se subdivide en colores (R, G, B) formando capas independientes, al unirse, le dan un color específico a cada píxel. Al realizar un tratamiento por medio de convoluciones, la matriz resultante será de menor tamaño, permitiendo identificar otras características, y optimizando su procesamiento [10], se empleó el compilador *jupyter notebook* para realizar la recolección y caracterización de las imágenes.

Para la preparación y etiquetado de imágenes, es importante realizar la clasificación manual de las mismas, usando etiquetas, que permiten asignar un nombre para el procesamiento a través de una red neuronal. Existen herramientas que facilitan este proceso, puede realizarse en forma de caja o aplicando una máscara, que dibuja la silueta del objeto. En el caso presentado, se optó por el *software* *LabelImg*, está escrito en Python, permite crear una capa y etiquetarla, se guarda en un archivo XML, con el formato PASCAL VOC, archivando la ubicación del objeto detectado [11].

B. Preparación ambiente de desarrollo

Para el desarrollo del proyecto se usó la versión 3.7.3 de Python, al tener una mejor compatibilidad con TensorFlow 2.5 y 2.6. En primera instancia, se instaló Python, con ayuda del sistema gestor de paquetes *anaconda*, el cual permite crear en una forma sencilla, diferentes entornos de desarrollo, en los cuales pueden existir distintas librerías, o en su defecto las mismas en una versión diferente. Python se ha convertido en uno de los lenguajes de programación más usados, debido a que tiene una sintaxis sencilla y la curva de aprendizaje fácil de entender, además de su integración en proyectos de inteligencia artificial, *machine learning*, *Deep learning* y otras nuevas tecnologías.

C. Pre-entrenamiento, TensorFlow Object Detection API

Esta API creada sobre TensorFlow, ofrece una variedad de recursos para la detección de objetos, es de código abierto, en este se pueden encontrar varios modelos los cuales ya cuentan con una pre configuración y pre entrenamiento, por ende, son adaptativos a un caso en específico. Se seleccionó el *ssd mobilenet v2*, el cual se entrenó en la base de datos COCO (detección de objetos a gran escala) del 2017, el cual recibe como entradas una imagen de 3 canales, con valores que van de 0 a 255, de la siguiente forma [1, ancho, largo, 3], y como salida se encuentra el número de detecciones que se han realizado, enmarcadas en una caja, a esta se le atribuye una etiqueta (Nombre del objeto a detectar), además de un porcentaje de detección (precisión) [12]. Como se muestra en la Fig. 2.



Fig. 2 API de detección de objetos establecida sobre TensorFlow.
Fuente:
https://www.gstatic.com/aihub/tfhub/detection/od_no_keypoints.png

Para entrar en detalle el proceso que se llevó a cabo para el tratamiento de imágenes se empezó por importar librerías como lo son:

Opencv (cv2), librería de *software* libre, especializada en *computer vision* y *machine learning*, que permite usar algoritmos para el reconocimiento facial, de objetos, clasificación de vídeos, movimientos, entre otros, por medio de sus módulos es posible implementar la cámara del dispositivo y realizar la detección de las señas [13].

OS, permite navegar en el sistema operativo y manipular, de una forma sencilla, las rutas, carpetas, documentos, y editarlas [14].

TIME, esta librería permite controlar el uso de tiempos y obtener un control en las operaciones que se están llevando a cabo [15].

UUID, permite crear objetos con un identificador único, evitando que generen más de una versión de un objeto [16].

NUMPY, es una librería de Python la cual está diseñada para el cálculo numérico y el análisis de datos, tiene incorporada una clase de *arrays* u objetos, que permiten

representar datos en varias dimensiones y funciones las cuales facilitan su manipulación [17].

IV. RESULTADOS

A. Adquisición de fotos

Se empleó *jupyter notebook* el cual es un compilador que permite ejecutar el código por bloques independientes y realizar la recolección de las imágenes, se tomaron 15 fotos por cada vocal, en la Fig. 3 se evidencian algunas muestras de las fotografías tomadas y parte del código empleado.



Fig. 3 Uso del IDE jupyter notebook para la recolección de fotografías para su posterior procesamiento.

B. Etiquetado de imágenes

En la Fig. 4, se observa el método para etiquetar cada seña, se empleó el *software* LabelImg. Este procesa las imágenes recolectadas, y funciona como un filtro, el cual se sobrepone sobre la mano que hace la seña y se identifica con una etiqueta.



Fig. 4 Visualización del proceso de etiquetado.

C. Configuración de la red

Relu: Es una función de activación que da valores a un dominio de un rango, también es la alternativa de la función sigmoidea. Esta función es muy utilizada en las redes convolucionales, una de sus limitaciones es que solo se usa en capas ocultas, si se utiliza la función de activación y se procesa una imagen cada capa de convolución debe captar un patrón de esta misma y así sucesivamente con las siguientes capas, en este caso los valores negativos no son muy importantes en el procesamiento de imágenes, simplemente se establece con un valor de 0, pero sus valores positivos después de que se haga la convolución pasan a su siguiente capa como se muestra en la Fig. 5.

```
1 model {
2   ssd {
3     num_classes: 5
4     image_resizer {
5       fixed_shape_resizer {
6         height: 320
7         width: 320
8       }
9     }
10    feature_extractor {
11      type: "ssd_mobilenet_v2_fpn_keras"
12      depth_multiplier: 1.0
13      min_depth: 16
14      conv_hyperparams {
15        regularizer {
16          l2_regularizer {
17            weight: 4e-05
18          }
19        }
20        initializer {
21          random_normal_initializer {
22            mean: 0.0
23            stddev: 0.01
24          }
25        }
26      }
27      activation: RELU_6
28      batch_norm {
29        decay: 0.997
30        scale: true
31      }
32    }
33  }
34 }
```

Fig. 5 Codificación para realizar el proceso de configuración de cada capa en la red convolucional.

Teniendo en cuenta el proceso desarrollado se logró identificar, por medio de una red neuronal artificial, CNN cinco señas de forma efectiva, así mismo, se proyecta el crecimiento de la red neuronal con la adición de más *labels* (letras), que sobre alimentan la red neuronal logrando que, de esta manera, sea cada vez más eficiente como se muestran en la Fig. 6, además de la detección, se puede apreciar un porcentaje de asertividad en cada identificación, con su etiqueta correspondiente.

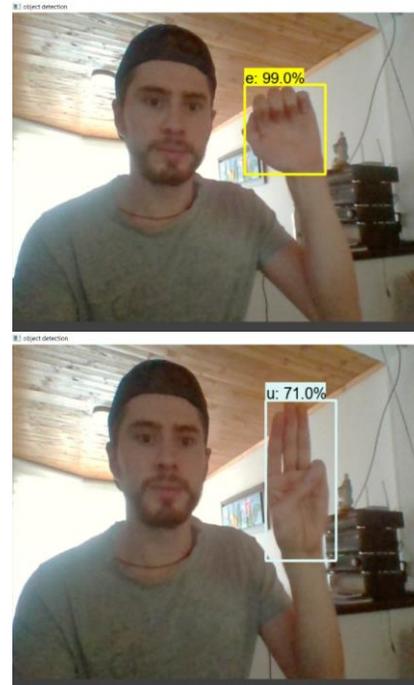


Fig. 6 Detección de vocal “a” con el 99.0 % de coincidencia y la vocal “u” con el 71.0 % de coincidencia.

V. CONCLUSIONES

No todas las versiones de Python son compatibles con las librerías usadas en la detección de objetos y configuraciones de la red neuronal convolucional, por lo tanto, para tener resultados confiables y eficientes hay que determinar estas versiones en el momento de realizar la instalación, razón por la cual, si se instala una versión no compatible se pueden ocasionar errores durante la construcción de la red neuronal, obteniendo resultados erróneos o errores que no permiten ejecutar el sistema.

Una red neuronal es eficiente teniendo en cuenta el procesamiento de datos y capas establecidas, al tener un gran volumen de datos (fotografías) se ve necesario de un equipo con características como una GPU para obtener mejores resultados y reducir el tiempo de ejecución.

La implementación de la red neuronal convolucional es parte fundamental del prototipo, permite al usuario observar y aprender señas básicas por medio de la computadora, donde la inteligencia artificial le indica el porcentaje de asertividad de una manera rápida y eficaz. Se desarrollaron dos pruebas, en la primera el volumen de datos fue de 50 fotos, obteniendo una efectividad de 60% aproximadamente, la segunda prueba se realizó con 75 fotos, y el porcentaje de efectividad aumento en 20%, contra un tiempo de 22 horas en el entrenamiento de la red neuronal.

REFERENCIAS

- [1] L. González, “Impacto de la tecnología en la sociedad: el caso de Ecuador”, Scielo, 2019.
- [2] E. Tapia-López, “Experiencias, barreras y facilitadores en la implementación de intervenciones de control del *Aedes aegypti* en América Latina y Caribe: estudio cualitativo”, Scielo, 2019.
- [3] L. A. Tovar, “La importancia del estudio de las lenguas de señas”, *ResearchGate*, 2020.
- [4] O. M. d. I. Salud, “Sordera y pérdida de la audición”, OMS, Ginebra, 2021.
- [5] B. M. & A. Barrantes, “Superando desigualdades hacia sociedades más inclusivas”, Organización de los Estados Americanos, 2016.
- [6] A. d. Chiquinquirá, “Política pública de discapacidad e inclusión social”, Chiquinquirá, 2017.
- [7] J. D. Suárez, “Redes neuronales convolucionales en R”, Universidad de Sevilla, 2017.
- [8] W. & M. B. Rivas, “Redes neuronales artificiales aplicadas al reconocimiento de patrones”, 2018.
- [9] F. M. Quiroga, “Medidas de invarianza y equivarianza a transformaciones en redes neuronales convolucionales”, SEDICI, 2020.
- [10] J. Cowley, “Redes neuronales convolucionales”, IBM, 2018.
- [11] Tzuatalin., “Graphical image annotation tool”, GitHub, 2015.
- [12] “TensorFlow Hub”, 2017.
- [13] “OpenCV”, Home, 2021.
- [14] “Miscellaneous operating system interfaces”, Python.Os, 2021.
- [15] “Time access and conversions-Python 3.9.5”, Python.Time, 2021.
- [16] P. Uuid, “UUID objects according to RFC 4122”, Python 3.9.5, 2021.
- [17] A. S. Alberca, “La librería Numpy”, 2020.

Capítulo 5. Aplicación móvil para cálculo de requisitos generales en la siembra de maíz

Mobile application for calculation of general requirements in corn planting

Carlos Andrés Garzón Buitrago, Jeida Faisuly Ramírez Buitrago, Nelson Augusto Santos Tovar

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Chiquinquirá, Colombia

carlosbuitrago@unisangil.edu.co, jeidaramirez@unisangil.edu.co
nelsonsantos1@unisangil.edu.co

Palabras clave: Maíz, rural, siembra, tecnología.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura se ha convertido en una actividad global y es la principal potencia que impulsa el progreso y la transformación de los territorios rurales. La revaloración del agricultor y la importancia estratégica que ahora se le asigna al sector, ha contribuido a revisar y a planear una nueva concepción del desarrollo rural.

En los países desarrollados, las soluciones tecnológicas son un aporte fundamental a la agricultura sostenible, que aporta eficiencia y escalabilidad en el uso de los recursos naturales (agua, suelo, energía, fertilizantes) [1].

La tecnología es una parte importante de la vida humana que acompaña la evolución y el desarrollo de diferentes culturas y civilizaciones. El sector rural no ha estado ajeno a este proceso. Las nuevas direcciones tecnológicas en el sector agropecuario, han incrementado los rendimientos y la producción agrícola mundial [2].

El sector agropecuario es la base de la economía en muchos países y la implementación de tecnología de la información en este sector es una necesidad primordial, pues los procesos y las prácticas de cultivo aún se llevan a cabo de manera empírica, lo que presenta una oportunidad de mejora y optimización a través del uso de las TIC.

Con la expansión de las telecomunicaciones y el desarrollo de los teléfonos inteligentes, es muy común encontrar personas con estos dispositivos no solo en las ciudades sino también en áreas rurales remotas, donde las herramientas de *software* con un enfoque en la dinamización y el ahorro de costos se pueden utilizar para producción agrícola.

El maíz es uno de los cultivos más importantes de la agricultura nacional y ocupa la segunda superficie más grande de Colombia. Se considera el cultivo de ciclo corto más importante porque ocupa el 15% del área agrícola, es generador del 4% de los empleos agrícolas y aporta un 3% al PIB agropecuario [3].

La semilla es el factor que más influye en la productividad del cultivo. La selección de una buena variedad/híbrido de maíz es muy importante para mejorar la producción de maíz de una zona o región [4].

Una de las causas principales de pérdidas en la utilidad del cultivo de maíz es la ausencia de un control eficiente para el cuidado del mismo, a pesar del uso generalizado y continuo de productos químicos para la intervención de este cultivo.

Por otro lado, el maíz está expuesto a numerosas plagas desde el momento de la siembra, y los principales factores que favorecen o dificultan la aparición de plagas y enfermedades en el cultivo incluyen el clima, la preparación del suelo, la rotación de cultivos y el control de malezas [5].

La creación de una herramienta tecnológica concibe en permitir la realización del cálculo aproximado del proceso de siembra del cultivo de maíz, con base en la planeación, administración, mantenimiento y dinámica general del mismo, para brindar una proyección y seguimiento del cultivo. Del mismo modo, contribuir para que el campesino o cultivador no incurra en gastos adicionales por cálculos inexactos y pueda tener un mejor control del cultivo.

La orientación principal son los cultivos no tecnificados del municipio de Chiquinquirá, Boyacá. Se presenta una aplicación móvil para dispositivos celulares y *tablets* Android, que permite al agricultor tener un cálculo

aproximado del cultivo, teniendo en cuenta cada una de sus fases, desde la siembra hasta la cosecha y poscosecha, con el fin de cumplir estándares de inversión y condiciones adecuadas del producto.

II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

A. Tipo y diseño de la investigación

La metodología de investigación descriptiva representa características significativas de un determinado objeto de estudio con respecto a su aparición y comportamiento, el investigador representa las maneras en que aparece o se diferencia una situación de otra en un contexto dado, proporcionando información para el planteamiento de nuevas investigaciones [6].

Su objetivo es conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la observación y la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas [7].

Su propósito es la recolección de datos y la predicción e identificación de las relaciones existentes entre dos o más variables siguiendo una serie de etapas como diseño de investigación.

B. Enfoque de la investigación

La investigación posee un enfoque cuantitativo puesto que se fundamenta en el análisis de los datos y la prueba de hipótesis con base en la estadística descriptiva. Ofrece la posibilidad de generalizar los resultados ampliamente y se fundamenta en el uso de técnicas estadísticas para conocer ciertos aspectos de interés sobre la población que se estudia.

III. RESULTADOS

A. Técnica de desarrollo

El proceso de *openUP* es una manera de trabajo que incluye un grupo mínimo de prácticas destinado a indicar a un equipo de trabajo limitado el análisis, diseño, desarrollo y despliegue de un producto de *software*. Se centra en reducir significativamente el riesgo a principios del ciclo de vida del *software*. Esto requiere reuniones periódicas de revisión de riesgos y la aplicación rigurosa de las estrategias de mitigación [8] (tabla 1).

TABLA 1. ESPECIFICACIÓN DE ETAPAS Y ACTIVIDADES DE LA METODOLOGÍA APLICADA

Etapa 1	Descripción
Inicio	Es la fase principal del proceso, en donde los interesados (<i>stakeholders</i>) y los integrantes del equipo de desarrollo, cooperan para determinar ámbito, objetivos y viabilidad del proyecto.
Etapa 2	Descripción
Elaboración	Se identifican los riesgos significativos que influyen en la arquitectura para evitar riesgos del desarrollo de <i>software</i> .
Etapa 3	Descripción
Construcción	Se basa en detallar los requerimientos, diseñar, implementar y probar el <i>software</i> . Para completar el desarrollo del sistema basado en la arquitectura.
Etapa 4	Descripción
Transición	Se orienta en la transición del producto de <i>software</i> a la plataforma tecnológica del cliente, obteniendo que los interesados concuerden en el cumplimiento de los requerimientos planteados para el desarrollo del producto.

B. Arquitectura de software

La arquitectura definida contempla el desarrollo de aplicación para dispositivos móviles Android (tabla 2). Se encuentra compuesta por tres niveles:

El procedimiento de estructura según la arquitectura se constituye en guardar la interfaz de usuario que se conforma de formularios, tablas, menú de opciones, botones y demás componentes de presentación.

El nivel de aplicación o dominio presenta las clases, objetos, inserción de datos, funciones e intercambio de información entre el sistema y el usuario.

El nivel de persistencia establece el control del acceso a los datos, su modificación y actualización.

TABLA 2. CARACTERIZACIÓN DE FUNCIONALIDADES DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA

1. Registro de usuarios	2. Menú de opciones	3. Submenú	4. Información general
			
5. Planeación del área	6. Actividad por temporada	7. Actividad climática	8. Actividad temporada
			
9. Actividades	10. Extras	11. Plagas	12. Ajustes
			

C. Estructura del proyecto

Activity: Pantallas o vistas que forman una aplicación. Se compone de dos partes. **Layout**, estructura visual para una interfaz de usuario. Un elemento de una interfaz de usuario (*widgets* o *layouts*) es declarable desde un fichero XML o en tiempo de ejecución de la aplicación y el **código**, Java o Kotlin: programación enlazada con el **Layout** (XML) que permite la interacción con el usuario.

Sección de información general:

La opción “Cultivos de maíz”, proporciona información en documentos con formato pdf de la siembra, cosecha y poscosecha, el procedimiento de acceso a dicha información se representa a continuación en la Fig. 1.



Fig. 1 Información general del cultivo de maíz.

Por otro lado, la opción “Plagas y Malas Hierbas” (Fig. 2), provee información en documentos con formato pdf de plagas, malas hierbas, enfermedades y abono orgánico.

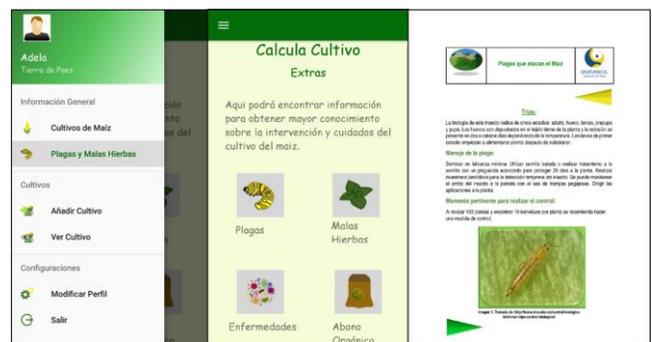


Fig. 2 Información general de prevención en plagas y malezas del cultivo de maíz.

Sección cultivos

Al elegir “Añadir Cultivo” (Fig. 3), se debe ingresar el tamaño de ancho y largo del suelo para calcular la semilla, puede ser determinada en diferentes medidas como: metros, decámetros, hectómetros y kilómetros. Este

procedimiento se puede realizar para la siembra de máximo 5 cultivos y su manejo simultáneo en la aplicación.

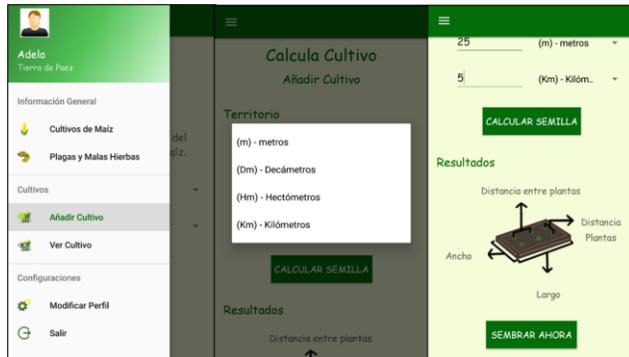


Fig. 3 Cálculo para la siembra del maíz.

Una vez realizado el cálculo la opción “Ver Cultivo” (Fig. 4), especifica las actividades generales que se realizan en tiempos definidos como: el riego, visualizar estado del suelo y tiempo de realizar la cosecha, también tiene la opción de eliminar cultivo.



Fig. 4 Seguimiento en tiempos del cultivo del maíz.

IV. CONCLUSIONES

Durante la creación de la aplicación se identificaron dificultades en el orden correspondiente del desarrollo de la aplicación, obteniendo la solución por medio de los pasos de la metodología *Open Up*.

Es necesario buscar información definida de la agricultura, específicamente en el área del cultivo del maíz, para conocer los requisitos generales en la siembra y el proceso que se lleva a cabo para la producción del maíz.

Por medio de las técnicas de recolección de información y búsqueda de información, se permite adecuar datos relevantes para que sean visualizados en la implementación del proyecto.

En el proceso de construcción de la herramienta se conceptualizan y examinan las técnicas, preparación y

fases de la siembra del cultivo del maíz, los cuales se proporcionan en la aplicación de manera concreta y entendible para los usuarios finales.

En la vereda Tierra de Páez de la zona rural del municipio de Chiquinquirá se llevan procesos de producción del maíz de manera no tecnificada, que por medio de la aplicación se evita la sucesión inadecuada del mismo y se proporciona mayor información para el mantenimiento y cuidado del cultivo.

REFERENCIAS

- [1] Pérez Consuegra, N. & Caballero Grande, R. (2021). *Agroecología en Cuba–Iniciativas y evidencias innovadoras escalables*. Food & Agriculture Org.
- [2] Cáceres, D. M. (2015). Tecnología agropecuaria y agronegocios. La lógica subyacente del modelo tecnológico dominante. *Mundo agrario*, 16(31).
- [3] Calderón, X. B., Linares, A. M. C., Omaña, J. R. L., Guzmán, J. A. M. & Silva, C. A. V. (2018). *Plan Estratégico de la Industria del Maíz en Colombia* (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica del Perú - CENTRUM Católica (Perú)).
- [4] León, A., Caviades, M. & Albán, G. (2017). Memorias de la XXII Reunión Latinoamericana del Maíz. *Archivos Académicos USFQ*, (9), 84-84.
- [5] Ramos Díaz, A. (2019). *Evaluación de cinco niveles de fertilización con macronutrientes para el cultivo de maíz (Zea mays L.) variedad criolla arrequin, en la localidad San José La Arada, departamento de Chiquimula, 2018* (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- [6] Bisquerra, R. (1989). Lectura 2, Clasificación de los métodos de investigación. Universidad Nacional Abierta. Dirección de Investigaciones y Posgrado. Maestría en Educación Abierta y a Distancia. Área de Epistemología e Investigación. Unidad Curricular: Metodología de Investigación. [En línea]. Obtenido de: <http://dip.una.edu.ve/mead/metodologia1/Lecturas/bisquerra2.pdf>
- [7] Rentería, P. (2021). El juego como herramienta de aprendizaje para motivar a los estudiantes universitarios. *Voces de la Educación*.
- [8] Gamboa Carrascal, J. P. (2015). *Diseño de un método ágil de desarrollo de software basado en xp, scrum, openup y validado con la herramienta de análisis 4-dat para mejorar la calidad de los proyectos desarrollados por los grupos de gestión de software de la UFPSO* (Doctoral dissertation).

Capítulo 6. Herramienta tecnológica como recurso para la creación de contenidos de aprendizaje, dirigida a UNISANGIL, sede universitaria de Muzo, Boyacá

Technological tool as a resource for the creation of learning contents, aimed at UNISANGIL, Muzo University Headquarters, Boyacá

Edisson Caicedo Rojas, Jeida Ramírez Buitrago, Jeison Castillo Benítez

Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL
Chiquinquirá, Colombia

ercaicedo@unisangil.edu.co
jeidaramirez@unisangil.edu.co, jeisoncastillo@unisangil.edu.co

Palabras claves: Aprendizaje, educación complementaria, enseñanza, plataforma virtual.

finalización del programa, evidenciando un desempeño deficiente en diferentes áreas del conocimiento.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, Colombia ha enmarcado sus políticas educativas en torno a la globalización y la educación. Desde la Constitución Política de 1991, la educación se estableció como un derecho y un servicio público obligatorio. A partir de este momento, se ha buscado tanto la cobertura como la calidad de la educación. Los problemas con el aprendizaje de los estudiantes están frecuentemente presentes y es necesario enfocar el trabajo o la investigación que contribuye a su comprensión y solución[1].

Colombia enfrenta diversos desafíos, como reducir las dificultades existentes en relación con la participación y mejorar la calidad de la educación para todos los estudiantes. Contribuir al fortalecimiento depende de reconocer las deficiencias que surgen en la sociedad con el propósito de brindar una educación pertinente y apoyar la forma de producir conocimiento orientado a mejorar las condiciones y las posibilidades académicas[2].

La sede de la Universidad en Muzo, Boyacá, es un lugar de extensión ofrecido por la Fundación Universitaria de San Gil, UNISANGIL, sede de Chiquinquirá para que las personas del occidente del municipio tengan acceso a la educación superior, donde se pueden observar, en estudiantes de tecnología en sistemas de información, dificultades académicas, teniendo en cuenta datos recogidos desde 2018, sobre la información académica de los estudiantes en los exámenes TYT de la etapa de

Por otro lado, geográficamente, hay un bajo nivel tecnológico en el municipio de Muzo, sobre todo en zonas rurales o agrícolas. Esto dificulta factores como el acceso a herramientas tecnológicas que requieran el uso de internet, complementar el material de estudio de las clases presenciales o adquirir refuerzo en temas que no se entienden adecuadamente. El problema es significativo cuando el estudiante debe repetir asignaturas. Esto puede generar desmotivación debido al inconveniente de completar sus estudios con éxito, afectando aún más su aprendizaje.

Con base en las circunstancias expuestas, se plantea la siguiente pregunta problemática: ¿Cómo desarrollar una alternativa tecnológica de apoyo académico en las materias correspondientes del programa de Tecnología de Sistemas de Información, para estudiantes de UNISANGIL, sede universitaria del municipio de Muzo, Boyacá?

En consecuencia, es necesario incluir variables motivacionales y niveles de participación que puedan proporcionar hábitos de estudio adecuados, que conlleven a la apropiación de las actividades académicas por parte de los estudiantes.

La motivación centrada en el uso de las TIC se basa en las necesidades del individuo que dan lugar a la voluntad de aprender, a través de herramientas esenciales de enseñanza, el seguimiento y el apoyo de los procesos de formación, con el fin de promover el desarrollo de las habilidades intelectuales, siendo esta una forma innovadora y significativa de educación que utiliza la tecnología.

El resultado de aplicar las técnicas antes mencionadas es una preparación continua por parte del docente para la integración y el aprovechamiento de las TIC, con el propósito de que los estudiantes obtengan variedad de escenarios innovadores, asociados a sus intereses, siendo un canal de comunicación, aprendizaje y un apoyo integral de las clases.

Con el fin de dar respuesta a la pregunta de investigación se planteó como objetivo general: Desarrollar una herramienta tecnológica como apoyo y fortalecimiento educativo de acuerdo con la gestión de contenidos correspondientes al currículo del programa de Tecnología en Sistemas de Información en UNISANGIL, para docentes y estudiantes de la sede universitaria de Muzo, Boyacá.

Con el desarrollo del proyecto, el objetivo es contribuir al apoyo y el fortalecimiento educativo a través de la construcción de una herramienta tecnológica que permita el intercambio de información entre docentes y estudiantes, para la automatización de procesos de evaluación y automatización de temas, sin requerir el uso de conexión a internet, teniendo en cuenta el currículo y la información correspondiente del programa de Tecnología de Sistemas de Información UNISANGIL

II. ENFOQUE TEÓRICO

El desarrollo y la adaptación de las nuevas tecnologías son esenciales en la vida de las personas, por lo que su aplicabilidad se ha extendido a varios campos de estudio, como la educación. Hoy las personas acceden a los nuevos conocimientos de una manera diferente, por lo que el profesor debe adaptarse a los cambios que ocurren a su alrededor en relación con las TIC para contribuir a la formación académica de los estudiantes y fortalecer su crecimiento profesional[3].

En el artículo sobre las TIC y la capacitación docente, Sarah Swig destaca la importancia que tiene la capacitación que el maestro debe recibir y que corresponde a las necesidades sociales, con el propósito de adquirir habilidades integrales que permitan el cumplimiento de las funciones requeridas por su profesión, a su tiempo de presentación de material educativo en formato digital, para favorecer el proceso de aprendizaje, así como el uso adecuado de entornos virtuales de aprendizaje[4].

El docente establece buenas prácticas de desarrollo para el área educativa, permite instituir por medio de la implementación cultural, políticas y prácticas inclusivas, que son los métodos de evaluación y progreso de planes de mejora continua de los docentes, después de un proceso de

formación donde estos compartan conocimientos para el aprendizaje recíproco, formando competencias y habilidades durante la formación académica.

El uso de las TIC favorece el desempeño de los docentes en el aula, para lo cual es necesario que las instituciones educativas, a su vez, cuenten con planes de capacitación que involucren actualizaciones continuas que permitan a los docentes acceder a desarrollos para la mejora educativa y profesional. Esto hace posible que los educadores contribuyan a la transformación del trabajo en el aula, implementando técnicas de enseñanza innovadoras, apoyando entornos de aprendizaje de acuerdo con los requisitos sociales.

La innovación educativa

Martín Sarto en su documento *Aspectos clave de la educación inclusiva*, dice que la innovación educativa consiste en identificar principios, a través de técnicas y procesos que constituyen una secuencia ordenada y planificada, permitiendo la construcción de conocimientos durante el proceso de enseñanza y aprendizaje. Las estrategias metodológicas corresponden a una sucesión sistemática de metodologías de enseñanza y actividades que utilizan los docentes al llevar a cabo la práctica educativa para que los estudiantes adquieran, de manera adecuada, el conocimiento[5].

Impactos de los avances tecnológicos dirigidos a la educación

Los avances de la tecnología generan diversas formas de interacción social en la actualidad que posibilita una correlación entre tecnología y construcción de procesos sociales. Esta realidad incide positivamente en los procesos educativos con herramientas que impulsan y mejoran las opciones de comunicación en contextos colaborativos[6].

Si el docente optimiza sus herramientas, puede mejorar considerablemente la atención de los estudiantes, con intercambio instantáneo de información y una atención personalizada en cada asignación, recibe retroalimentación respecto a sus tareas con sus calificaciones y recompensas que suponen un elemento motivador.

Las redes y los recursos vinculados a las nuevas tecnologías, ofrecen una plataforma interactiva, que acepta la elaboración de unidades didácticas a las cuales el alumnado puede acceder en cualquier momento y desde cualquier lugar. Este entorno permite preparar material complementario a las clases para presentar temas que más tarde se pueden analizar, comentar o trabajar en la propia clase, o para preparar materiales de refuerzo sobre

conocimientos básicos necesarios para emprender cualquier tema nuevo.

La metodología de investigación aplicada se fundamenta en la visión de problemas concretos y para solventarlos busca la aplicación o uso del conocimiento adquirido, con el fin de obtener resultados de investigación que resultan en una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.

Enfoque de la investigación: Posee un enfoque cuantitativo puesto que se fundamenta en el análisis de los datos estructurados y estadísticos, estos se recopilan para generar información concreta, generar pruebas de hipótesis y conclusiones generales de la investigación.

III. RESULTADOS

La herramienta dirigida a dispositivos de escritorio contempla los siguientes niveles:

1. Presentación compuesta por elementos de interactividad como menú de opciones, exhibición de información, enlaces mediante botones, entre otros componentes que hacen parte de la interfaz (ver Fig. 1).
2. Conjunto de clases, funciones, objetos, inserción a la base de datos y resultados de acciones e indicaciones de elementos que componen el *software*.
3. Control de acceso a la información, modificación, actualización y depuración de la misma (ver Fig. 2).

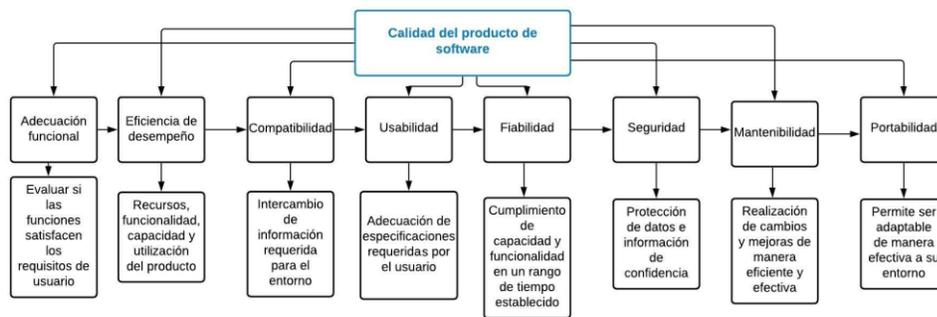


Fig. 1 Aspectos a considerar para la calidad de *software*.

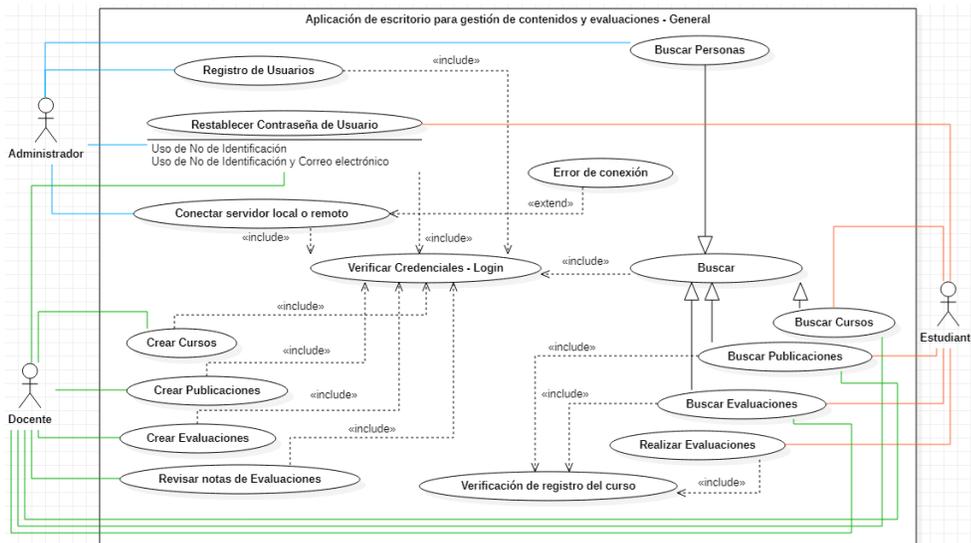


Fig. 2 Casos de uso para el manejo del sistema.

Para obtener niveles de fiabilidad para la tecnología, se favorecen los siguientes campos:

- Conceptos de diseño fiables para el adecuado desarrollo del sistema.
- Menor número de componentes.
- Sistemas de seguridad de información.

Representa la manera en cómo un actor interactúa con el sistema en desarrollo, además de la forma, tipo y orden en cómo los elementos interactúan.

Prototipo de diseño

Permite comprobar las características y estructura de la interfaz de la herramienta tecnológica. Este procedimiento es esencial para establecer la viabilidad y utilidad del producto. (Ver Fig. 3, 4).



Fig. 3 Diseño interfaz de inicio de sesión.



Fig. 4 Diseño interfaz para creación de usuarios.

El desarrollo integra la opinión de docentes y estudiantes de manera que su ejecución se vincule a las necesidades del sector y los intereses para el apoyo académico, según los procedimientos que se llevan a cabo en la institución universitaria. Las funciones principales establecidas e implementadas son:

- Registro e inicio de sesión de usuarios en el sistema.
- Creación de cursos académicos por parte del docente, según las materias correspondientes al pénsum

académico de tecnología en sistemas de información perteneciente a UNISANGIL.

- El estudiante puede inscribirse a los cursos que se han creado según la materia que esté cursando.
- El docente puede publicar contenidos, crear evaluaciones y dar seguimiento de calificaciones (Fig. 5, 6).
- El estudiante recibe, de manera remota, la información publicada, puede resolver las evaluaciones y automáticamente recibe su calificación acompañada de una animación según el resultado obtenido (ver Fig. 5, 6).

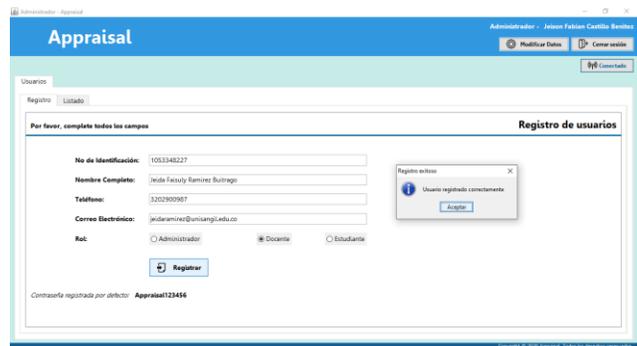


Fig. 5 Formulario de registro de usuarios.

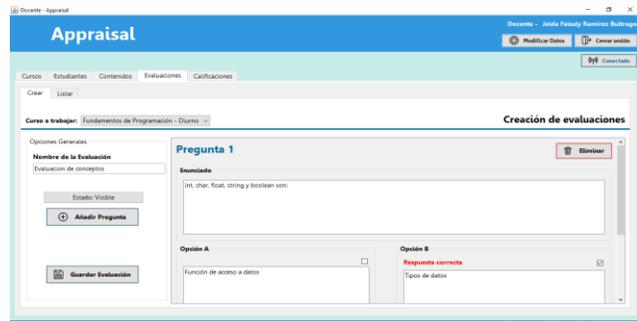


Fig. 6 Creación de evaluaciones.

IV. CONCLUSIONES

La recolección y búsqueda de información permiten adecuar las necesidades primordiales en la población estudiada, lo que lleva a que se determine que el desarrollo de herramientas tecnológicas que posean recursos didácticos, promueve que los estudiantes adquieran mayor interés, teniendo en cuenta los temas correspondientes a las clases.

Es necesario ampliar el desarrollo de la herramienta tecnológica, haciendo que su utilización se lleve a cabo de manera local en la sede universitaria de Muzo, Boyacá, de manera que exista una sincronización con el servidor establecido para la creación de contenidos de aprendizaje y

admite el uso de la plataforma sin requerir conexión a internet.

El diseño del *software*, permite que no solo sea utilizado por el negocio al que se encuentra dirigido, también puede ser usado por más empresas o usuarios teniendo en cuenta la estructura de la base de datos.

El lenguaje UML no solo proporciona una notación para los elementos de construcción del sistema, también permite expresar relaciones complejas entre dichos elementos.

El *software* reduce los tiempos en diversos procesos que suelen ser más lentos cuando los realiza una persona, por esta razón es un recurso para hacer más eficiente la empresa y elevar índices de productividad.

REFERENCIAS

- [1] C. de la República, *Constitución_política.pdf*. Colombia, 2008, pp. 1–10.
- [2] H. Ochoa, “Participación de los padres de familia como corresponsable de la educación de sus hijos en una institución de educación del Callao”, 2018, [Online]. Available: http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3352/1/2018_OCHOA-NINAPAITÁN.pdf.
- [3] UNESCO, “Declaración de Incheon. Educación 2030: Hacia una educación inclusiva y equitativa de calidad y un aprendizaje a lo largo de la vida para todos”, 2015.
- [4] S. Swing, “TIC y formación docente: formación inicial y desarrollo profesional docente”, *Notas de Política PREAL*, 2015.
- [5] S. Martín, “Aspectos clave de la educación inclusiva”, 2017.
- [6] V. Vinuesa, S. Gallardo, “Impacto de las TIC en la Educación Superior en el Ecuador”, *Rev. Publicando*, 2017.

Capítulo 7. Aplicación Web para admisiones y generación de informes de deserción y ausencia intersemestral

Web App for admissions and generation of student dropout and absence reports

Juan José González Dulcey, Luz Yamile Caicedo Chacón

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
San Gil, Colombia

juangonzalez1@unisangil.edu.co
lcaicedo@unisangil.edu.co

Palabras clave: Desarrollo de *software*, deserción estudiantil, entrevistas de admisiones, ausencia intersemestral.

I. INTRODUCCIÓN

Gracias a la adopción masiva y acelerada del internet a nivel mundial durante las últimas dos décadas las aplicaciones web se han convertido en una parte esencial de la actividad humana. Compramos, vendemos, realizamos pagos, trabajamos, nos movemos, solicitamos servicios, nos comunicamos, nos entretenemos e incluso encontramos amigos por medio de estas aplicaciones, bien sea desde un computador o desde un celular. Esto, por supuesto, ha transformado completamente a las sociedades del planeta y ha tenido un impacto profundo en la forma de hacer negocios [1].

Actualmente Unisangil, en su proceso de admisión, realiza diversas entrevistas a los aspirantes de manera manual y descentralizada mediante los servicios gratuitos de Google (Google Form), y la información recabada no es almacenada dentro de los servidores de la Universidad por dicha herramienta, y la obtención de resultados de estas entrevistas no es entregada de manera ágil y óptima, lo cual trunca este proceso; además los directores requieren un sistema que genere reportes de ausencia intersemestral y deserción estudiantil los cuales son obtenidos de un *software* actual que está implementado AEWS (Sistema de Alertas Tempranas Académicas) donde está en la actualidad almacenada la información de estudiantes.

Con base en las circunstancias expuestas, se plantea como pregunta problema: ¿De qué manera influye la calidad del servicio para el departamento de registro y control académico de UNISANGIL y la generación de reportes de ausencia intersemestral y deserción para los directores de

programa, integrando una aplicación web para los próximos años?

En consecuencia, es necesario incluir la participación de los interesados para que puedan proporcionar hábitos del uso del sistema, que lleven al buen uso de la aplicación. Con el fin de dar respuesta a la pregunta de investigación se planteó como objetivo general: Desarrollar un *software* implementando inteligencia de negocios para la gestión de información hacia los directores de programa, permitiendo el registro de datos obtenidos en las entrevistas realizadas durante el proceso de admisión.

De esta manera, se ve la oportunidad de implementar una aplicación web abarcando todas las necesidades para dar solución empleando nuevas tecnologías, manteniendo la lógica del servicio que necesitan, logrando mejoras en las deficiencias en las herramientas que se emplean sin perder de vista su objetivo.

II. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo del *software* fue SCRUM, por permitir trabajar de cerca con el cliente del proyecto y permitir el desarrollo de la aplicación de manera ágil e incremental (ver Fig. 1).



Fig. 1 Diagrama diseñado implementando Scrum.

A. Diagrama de casos de uso

En el diagrama de casos de uso de la Fig. 2 se muestra una descripción gráfica de las acciones de la aplicación web desde el punto de vista de los roles. A través de esta descripción se facilita el modelado de la funcionalidad del sistema usando a cada rol como actor que representa las funciones provistas por la aplicación web.

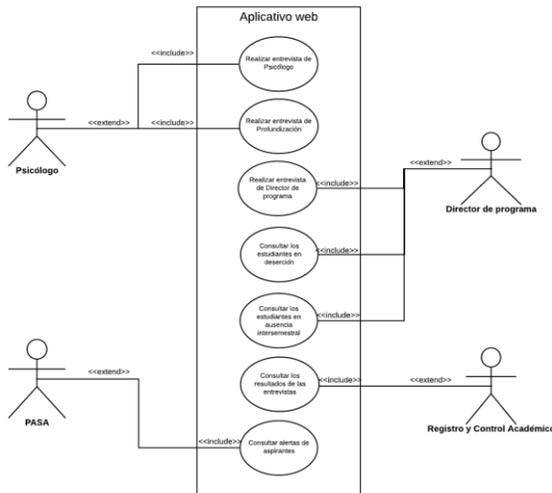


Fig. 2 Modelo casos de uso aplicación web.

B. Arquitectura e infraestructura

En la Fig. 3 se observa la arquitectura cliente–servidor sobre la cual se construyó la arquitectura ya citada. El cliente o usuario es el que se comunica mediante un navegador web, este se comunica mediante el protocolo HTTPS encargado de transportar las diferentes peticiones al servidor donde Nginx las redirige a sus respectivos destinos: Apache server quien se encargará de servir los archivos del FrontEnd, es decir, lo que los usuarios verán, y Node JS, encargado de procesar la lógica del proceso y gestionar las consultas a PostgreSQL, el gestor de base de datos elegido ya que es uno de los más potentes del mercado y eficaz en gestión de almacenamiento, también se cuenta con el framework Angular que permite el desarrollo visual de la aplicación teniendo una vista amigable e intuitiva.

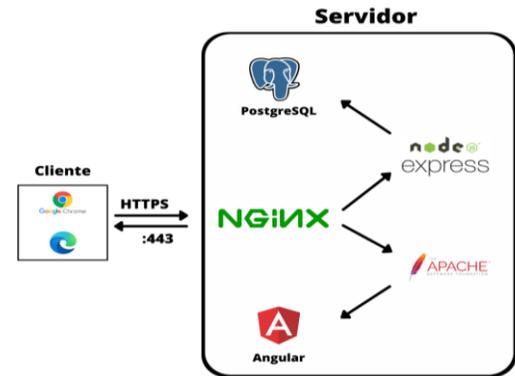


Fig. 3 Arquitectura de software.

El uso de *software* ha traído, sin lugar a dudas, una serie de beneficios y ventajas en el mundo de la tecnología de la información (IT) aliviando enormemente la carga y las labores a los equipos de soporte y mantenimiento. Cada uno de los procesos que son necesarios para implementar una solución IT tradicional está orientado hacia metas concretas, pero ocurre que esos procesos demandan gran consumo de habilidades y tiempo que muchas veces conlleva a errores y repeticiones inefectivas [2].

III. RESULTADOS

A continuación, se presentan las capturas de pantalla obtenidas dentro de la aplicación web desarrollada y se expone el funcionamiento de cada módulo que integra.

En la Fig. 4 se presenta la ventana principal al ejecutarse en donde se observa el nombre de la aplicación, el semillero a cargo del desarrollo y logo de UNISANGIL.



Fig. 4 Captura de pantalla modulo principal o home.

En la Fig. 5 se presenta el módulo de alertas el cual consiste en dar un resumen detallado de las alertas generadas a partir de las entrevistas que ha tenido el aspirante, como también un contador de cada una de los tipos de alertas como lo son: Alerta Plan Padrino, Alerta Seguimiento Académico, Alerta Seguimiento Psicológico. También se cuenta con ver detalles del aspirante y un cuadro de búsqueda por número de documento.

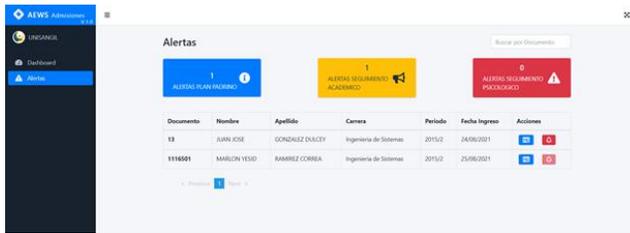


Fig. 5 Módulo de alertas PASA.

En la Fig. 6 se puede observar el módulo de alertas, el cual consiste en generar una tabla con los resultados con base en la solicitud que el director requiera como sede, facultad, programa año y consiste en analizar a los estudiantes con ausencia intersemestral que permanecen durante un semestre sin estudiar y deserción estudiantil cuando un estudiante permanece sin estudiar dos semestres.

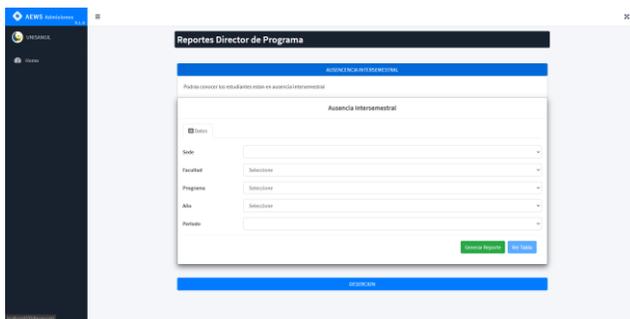


Fig. 6 Módulo de reportes de ausencia y deserción.

El Departamento de Registro y Control Académico durante el proceso de admisiones, tiene como objetivo dar a conocer resultados ágiles y eficaces durante el desarrollo de las entrevistas realizadas por el psicólogo de admisiones y director del programa donde, por medio de una serie de preguntas, se determina si el resultado obtenido por el aspirante es apto para el ingreso o debe ser rechazado ante el programa y la universidad. Por esta razón, con el uso de la aplicación web, el departamento encargado de este proceso puede aprovechar los servicios que ofrece la aplicación y, de esta manera, agilizar y mejorar la efectividad en los resultados.

Como a su vez los directores de programa, dando uso a la aplicación, tendrán resultados ágiles en los reportes de ausencia intersemestral y deserción estudiantil.

Resultados obtenidos en el desarrollo del *software*:

- Se diseñó una interfaz intuitiva y amigable para el usuario final.
- Se diseñó una base de datos utilizando el sistema gestor de bases de datos PostgreSQL para el almacenamiento de la información del sistema.
- Se crearon los módulos que suplen con las necesidades de admisiones y el director de programa.
- Se realizaron las respectivas pruebas en los módulos para comprobar su funcionamiento.

IV. CONCLUSIONES

Se logró crear una Aplicación web amigable para apoyar al Departamento de Registro y Control Académico en la labor que ejerce cuando se presentan los aspirantes a la Universidad.

Con el desarrollo de la Aplicación web la Universidad ahora cuenta con la información recolectada de las entrevistas a medida que estas son diligenciadas.

REFERENCIAS

- [1] A. Gutiérrez. (2021, Ene, 1). La importancia de las aplicaciones Web y móviles en el éxito empresarial [Online]. Available: <https://revistaempresarial.com/tecnologia/la-importancia-de-las-aplicaciones-web-y-moviles-en-el-exito-empresarial/>
- [2] J. García. (2013, Jun, 18). La infraestructura en la nube. [Online]. Available: <https://www.evaluandosoftware.com/la-infraestructura-en-la-nube/>

Capítulo 8. Aplicativo Web para análisis de resultados Pruebas Saber 11 y Pro en UNISANGIL

Web App for Analysis of Test Results Saber 11 and Pro in UNISANGIL

Juan José Barrera Suárez, Derly Samira Morales González, Omar Andrés Quecho Zambrano
Luz Yamile Caicedo Chacón

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
San Gil, Colombia

jjbarrera@unisangil.edu.co, dsmorales@unisangil.edu.co
oquecho@unisangil.edu.co, lcaicedo@unisangil.edu.co

Palabras clave: ICFES, valor agregado, desarrollo de *software*.

I. INTRODUCCIÓN

UNISANGIL como institución de educación superior IES, dentro de los compromisos adquiridos con el ente regulador en educación superior, Ministerio de Educación Nacional, MEN, está la generación de informes desde los programas académicos que oferta: el registro calificado y la certificación de alta calidad de los mismos. Dentro de estos procesos, los resultados de las pruebas Saber 11 y Saber Pro son un insumo relevante utilizado para la generación de informes, los cuales hacen parte de los documentos que se construyen. Dichos informes incluyen gráficas, tablas y análisis de resultados para la generación de estrategias de mejora, que actualmente se realizan usando Excel, lo que causa trabajo repetitivo y una mayor inversión de tiempo a los directores de programa o docentes encargados de estos documentos.

El ICFES define el valor agregado como “modelos estadísticos que buscan cuantificar cuánto aportan las instituciones educativas a sus estudiantes en términos de aprendizaje [usando los resultados de la] prueba Saber Pro y de su contraparte en la educación media, Saber 11, es posible calcular el valor agregado de la educación superior desde el aspecto cognitivo” [1]. Actualmente los programas académicos realizan este análisis en el momento que se construyen los documentos para el MEN.

El propósito del proyecto fue desarrollar un módulo de análisis de datos para los resultados en las pruebas saber 11 y pro, en UNISANGIL empleando inteligencia de negocios. El proceso se desarrolló aplicando el marco de desarrollo ágil SCRUM.

Con el fin de facilitar la generación de informes, se construyó una herramienta *software* que permite consolidar la información de los resultados de las pruebas Saber 11 y Saber Pro, este se alimenta de diversas fuentes y permite, de manera dinámica, ser consultada a lo largo de los años.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del *software* se optó por la metodología de desarrollo ágil SCRUM, debido a que es un conjunto de buenas prácticas para trabajar colaborativamente, en equipo y obtener el mejor resultado posible de un proyecto. También, se seleccionó este proceso debido a que el presente proyecto tiene requisitos que son poco definidos y, de igual forma, es necesario identificar y solucionar ineficiencias sistemáticamente.

Esta metodología recomienda que los programadores y usuarios se reúnan a diario, debido a que no se creó un equipo de desarrollo, dichas reuniones se realizaban semanalmente, y en ellas se recolectaban los requerimientos para su posterior modelamiento en casos de uso. También en estas juntas se mostraban y socializan los resultados obtenidos hasta el momento para que los usuarios pudieran testear dichos productos y hacer sus respectivas recomendaciones y correcciones.

La construcción de este proyecto se establece en un desarrollo de conocimientos que pueden representarse como: su crecimiento paulatino tanto en sus requerimientos como en su funcionalidad, los tiempos de construcción limitados a la reglamentación y condiciones del espacio curricular, la marcha de producción del proyecto es incremental, intensidad en la incorporación de conocimientos previos y en la inclusión de novedades tecnológicas.

Las labores de gestión incorporadas en la metodología planteada son: planificación, consideración de tiempos, la gestión de recursos humanos involucrados: plantel docente, profesores orientadores y alumnos. Por lo exhibido se estima posible aplicar las prácticas de la metodología ágil SCRUM en la gestión y control del proceso de desarrollo del proyecto (Fig. 1).

Los beneficios de usar esta metodología ágil es que se consigue un trabajo productivo y de calidad, además de la flexibilidad y adaptación respecto a las necesidades del cliente, cambios en el mercado, etc.

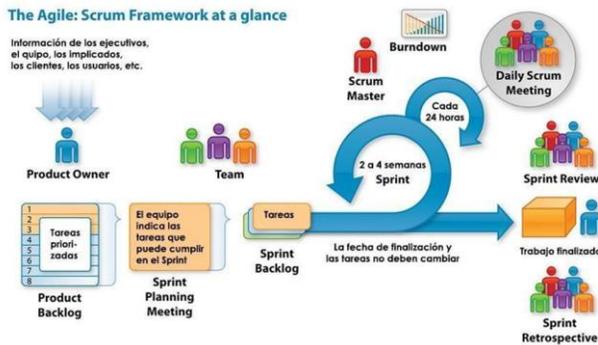


Fig. 1 Metodología SCRUM.
Fuente: metodologiascrum.readthedocs.io [2]

Se revisaron los diferentes gráficos y tablas, así como la información requerida por los directores de programa para generarlos con el fin de definir los requerimientos de *software* pertinentes para el desarrollo. Esta definición de requerimientos se hizo de manera incremental, mientras se hacían los ajustes necesarios hasta que se les dio una forma final para poder delimitar el alcance del proyecto y evitar iteraciones más allá de lo propuesto.

Luego de establecidos los requerimientos, se continuó con una búsqueda de fuentes de información en la que se encontró el repositorio público del ICFES en el que se consolidan año tras año los resultados de las pruebas Saber [3] los cuales se usaron para obtener los valores promedio por competencia de los núcleos de pregrado (antiguo NBC) Dada la naturaleza anónima de los datos encontrados en el repositorio público y para poder suministrar información específica de los estudiantes al *software* se propuso y aprobó que los directores de programa hicieran cargues de manera periódica mediante una funcionalidad en el aplicativo.

Se aplicó una transformación a los datos para realizar las comparaciones entre resultados de diferentes escalas aplicando el método de máximos y mínimos. Con esto se asegura mantener una homogeneidad en los datos sin

importar el paso de los años en caso de presentarse un cambio en las escalas de puntuación.

A. Diagrama de casos de uso

Con la información obtenida de los requerimientos, se elaboró el diagrama de casos de uso de la aplicación (ver Fig. 2) el cual proporciona una comprensión general de la misma.

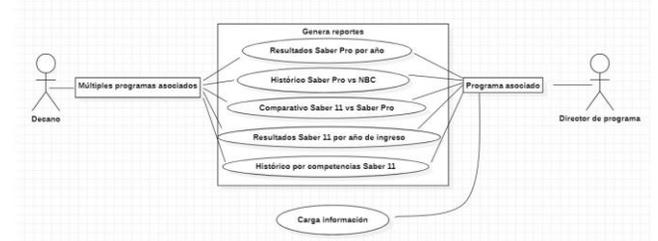


Fig. 2 Diagrama de casos de uso.

B. Arquitectura

En la Fig. 3 se observa la arquitectura Cliente – Servidor sobre la cual se construyó un API REST. El cliente es cualquier navegador web, este se comunica mediante el protocolo HTTPS encargado de transportar las diferentes peticiones al servidor donde Nginx las redirige a sus respectivos destinos; por un lado, a Apache server quien se encargará de servir los archivos del FrontEnd, es decir, lo que los usuarios ven, el cual está construido con el *framework* Angular, por otro lado el API con NodeJS usando el *framework* Expressjs, encargado de procesar la lógica del proceso y gestionar las consultas a PostgreSQL, el *software* de base de datos elegido.

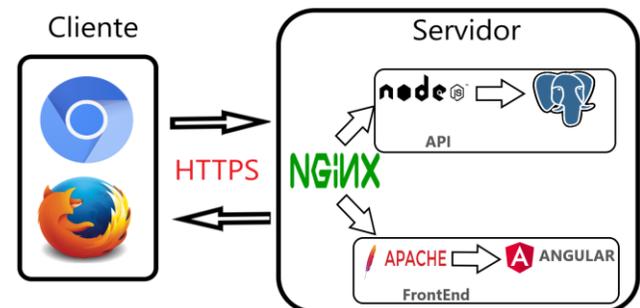


Fig. 3 Arquitectura del software.

C. Diseño de interfaz de usuario

Se utilizó la herramienta Balsamiq Mockups para la realización del diseño de la interfaz de usuario de la aplicación. En la Fig. 4 se muestra una de las interfaces que posteriormente se codificaron en el aplicativo.

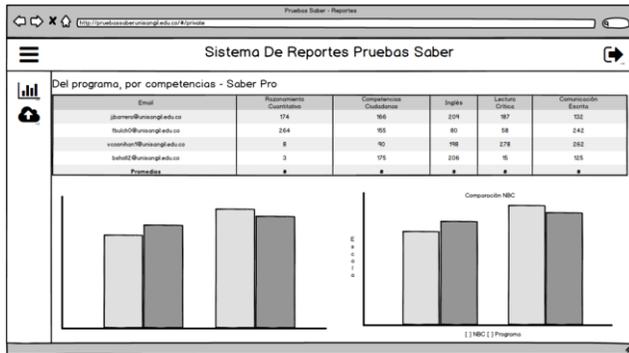


Fig. 4 Fragmento de los diseños.

D. Codificación

Se inició con el diseño de la base de datos siguiendo los requisitos de información a fin de estructurar lo mejor posible la realidad de los datos al mismo tiempo que se simplificaba la creación de consultas. Luego se procedió a construir el BackEnd donde se definió el acceso a base de datos, además de implementar los EndPoint, rutas especializadas con las que se identifican los recursos a solicitar y donde se programó la lógica de las consultas necesarias de cada reporte.

Paralelamente, se desarrolló el FrontEnd usando estrategias de Lazy Load para la optimizar los tiempos de carga de las vistas. También se tuvo en cuenta el proporcionar una experiencia moderna y fluida al usuario.

III. RESULTADOS

Se realizó la validación de los requerimientos por parte del cliente, con la cual se entregó una herramienta *software* con la que los directores de programa podrán agilizar sus actividades además de que se logró la estandarización de los reportes generados.

Al ingresar en el *software*, el usuario ve una lista de los reportes que se pueden generar (ver Fig. 5).



Fig. 5 Listado de reportes.

A continuación, se muestran a detalle los reportes definidos por los requerimientos.

En la Fig. 6 se ve una lista de los resultados individuales de cada estudiante, una gráfica de los promedios de los puntajes en escala real y, finalmente, una comparativa NBC escalada.



Fig. 6 Resultados Saber Pro por año.

En la Fig. 7 se ve el comparativo histórico del Saber Pro vs NBC a lo largo de los años definidos durante la generación del reporte.

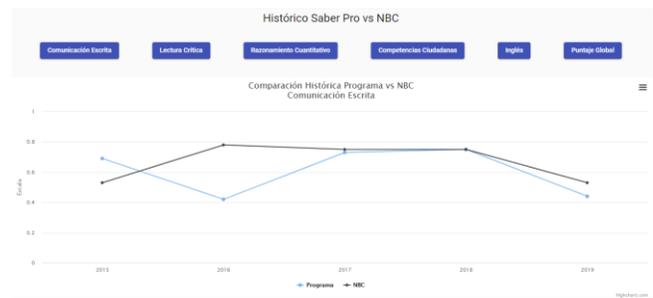


Fig. 7 Histórico Saber Pro vs NBC.

En la Fig. 8 se muestra el índice de mejoramiento estudiantil por competencia, indicador que representa el valor agregado de un programa en la institución para una instancia de la prueba Saber Pro.

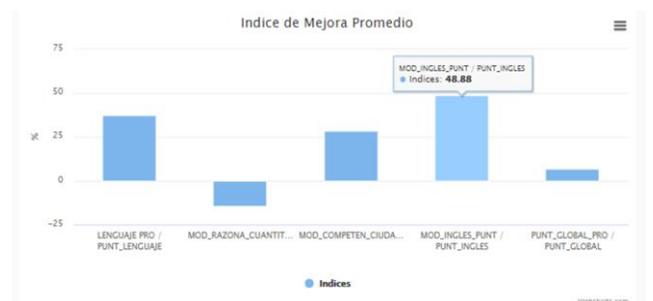


Fig. 8 Comparativo Saber 11 vs Saber Pro.

En la Fig. 9 se observan los resultados del Saber 11 de los estudiantes que ingresaron en un semestre específico seleccionado durante la generación del reporte.



Fig. 9 Resultados Saber 11 por año de ingreso.

En este último reporte, se ven los puntajes promedio históricos por competencia del rango de años definido en la generación del reporte, se puede cambiar de competencia seleccionando otra en la lista (ver Fig. 10).

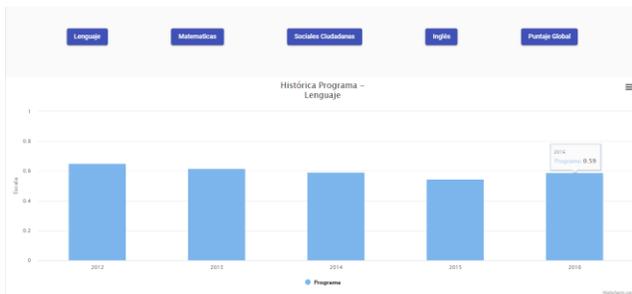


Fig. 10 Histórico por competencias Saber 11.

En la Fig. 11, se muestra la interfaz en la que los directores de programa alimentarán el *software* con la información generada año tras año, tanto por los estudiantes de nuevo ingreso (Saber 11) como por los que presentan las pruebas Saber Pro en las diversas carreras. Se estandarizó la forma en la que se construyen los cargues a fin de aumentar la eficiencia de esta labor.



Fig.11 Cargue de resultados.

IV. CONCLUSIONES

Se logró crear una herramienta amigable e intuitiva para el apoyo a la labor realizada en los programas cuando se presentan los informes ante el MEN, bien sea en procesos de renovación de registro calificado, autoevaluación de programas y acreditación en alta calidad.

La información muchas veces es desaprovechada, ya sea por desconocimiento de su existencia o por la falta de herramientas tecnológicas con las cuales apoyar los procesos de los diferentes actores en la cadena de decisión, por lo que cada día se hace más evidente la necesidad constante de la automatización y el correcto aprovechamiento de esta a fin de generar conocimiento.

El valor agregado de los programas dentro de las IES es una métrica necesaria con la cual los tomadores de decisiones pueden elegir las preferibles rutas de mejoría para los estudiantes y que estos puedan ir más allá de un resultado sobre una media en una prueba estandarizada.

REFERENCIAS

- [1] Icfes.gov.co. 2021. Valor agregado - Portal Icfes. [En línea] Disponible en: <<https://www.icfes.gov.co/valor-agregado>> [Recuperado 4 Oct 2021].
- [2] Metodologiascrum.readthedocs.io. 2021. Introducción — Scrum 1 documentation. [En línea] Disponible en: <<https://metodologiascrum.readthedocs.io/en/latest/Scrum.html>> [Recuperado 4 Oct 2021].
- [3] Icfes.gov.co. 2021. Acceso a bases de datos y diccionarios - Portal Icfes. [En línea] Disponible en: <<https://www.icfes.gov.co/web/guest/investigadores-y-estudiantes-posgrado/acceso-a-bases-de-datos>> [Recuperado 4 Oct 2021].

Capítulo 9. Importancia de la minería de datos para generar conocimiento en las organizaciones

Importance of data mining to generate knowledge in organizations

Luz Yamile Caicedo Chacón

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
San Gil, Colombia

lcaicedo@unisangil.edu.co

Palabras clave: Análisis de datos, gestión de información, inteligencia de negocios, minería de datos, visualización de datos.

I. INTRODUCCIÓN

A partir del trabajo desarrollado en los diferentes proyectos que se han generado en el Semillero Gestión de Información y Bases de Datos GIBD-SI, se presenta este análisis relacionado con la importancia de aplicar tecnologías y estrategias de Business Intelligence, incluyendo el análisis de datos con Minería de Datos para apoyar los procesos de toma de decisiones, así como destacar las posibilidades de otras herramientas que se pueden utilizar para enriquecer y fortalecer el proceso de desarrollo de *software*. Se presentan los conceptos básicos relacionados con inteligencia de negocios, minería de datos, cubos de información.

En Tableau, se define la inteligencia de negocios como “un término que cubre los procesos y métodos de recopilación, almacenamiento y análisis de datos de operaciones o actividades comerciales para optimizar el rendimiento. Estos elementos se unen para crear una visión integral de un negocio con la finalidad de ayudar a las personas a tomar mejores decisiones y más viables decisiones. En los últimos años, la inteligencia de negocios ha evolucionado para incluir más procesos y actividades para ayudar a mejorar el rendimiento. Estos procesos incluyen lo siguiente: minería de datos, generación de informes, valores de referencia y métricas y de rendimiento, análisis descriptivo, generación de consultas, análisis estadístico, visualización de datos, análisis visual, preparación de datos” [1].

En iebes se define el concepto de minería de datos como “un conjunto de técnicas y tecnologías que permiten explorar grandes conjuntos de datos, de manera automática o semiautomática, con el objetivo de encontrar patrones

repetitivos que expliquen el comportamiento de estos datos. Este término apareció en los años sesenta conjuntamente con otros conceptos como *data fishing* o *data archeology*. La minería de datos surgió con la intención de ayudar a comprender una enorme cantidad de datos y que estos pudieran ser utilizados para extraer conclusiones para contribuir en la mejora y crecimiento de las empresas, principalmente en el área de ventas o fidelización de clientes. Los mineros de datos deberán realizar cuatro pasos distintos: determinación de los objetivos, procesamiento de los datos, determinación del modelo y análisis de resultados” [2].

Microsoft Docs, define los cubos de información o cubos OLAP como “una estructura de datos que supera las limitaciones de las bases de datos relacionales y proporciona un análisis rápido de datos. Los cubos pueden mostrar y sumar grandes cantidades de datos, a la vez que proporcionan a los usuarios acceso mediante búsqueda a los puntos de datos” [3].

En Online Marketing & Digital Marketing Data Science, se presenta la definición de *dashboard* como “una herramienta de gestión de la información que monitoriza, analiza y muestra de manera visual los indicadores clave de desempeño (KPI *Key Performance Indicator*), métricas y datos fundamentales para hacer seguimiento del estado de una empresa, un departamento una campaña o un proceso específico” [4].

En la siguiente sección se presenta la metodología Kimball para inteligencia de negocios, el proceso KDD, la metodología CRISP-DM como estrategias de trabajo para el desarrollo de proyectos. Tiene como propósito analizar algunas herramientas libres utilizadas para el desarrollo de los procesos de desarrollo de *software* en el programa Ingeniería de Sistemas de UNISANGIL, en la Sede San Gil.

II. METODOLOGÍA

A. Metodología Kimball

Propone una metodología de trabajo *Bottom-up*. Esto quiere decir, que el procedimiento para construir un *data warehouse* es empezar por pequeños componentes para ir evolucionando a estructuras y modelos más complejos [5].

Esta metodología se basa en cuatro principios fundamentales: centrarse en el negocio, construir una infraestructura de información adecuada, realizar entregas en incrementos significativos y ofrecer la solución completa. A continuación, en la Fig. 1 se pueden apreciar las tareas propuestas para la aplicación de esta metodología [6].

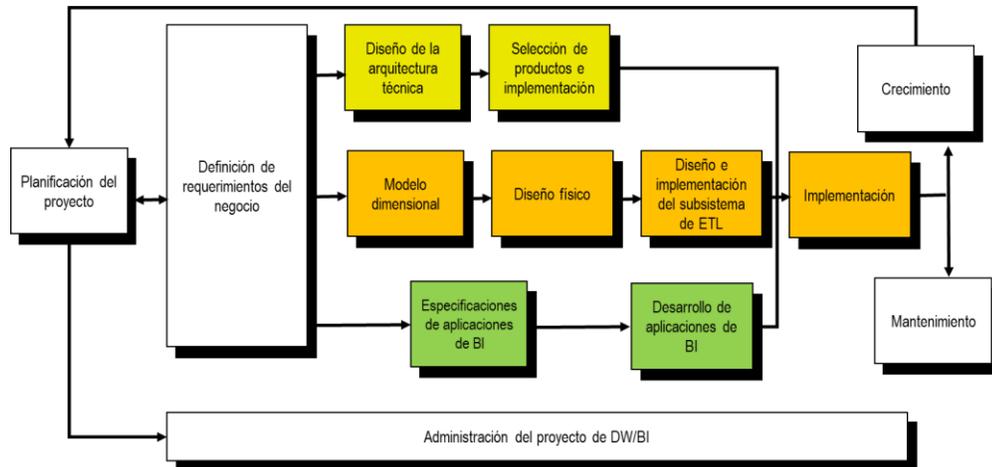


Fig. 1 Tareas de la metodología de Kimball, denominada Business Dimensional Lifecycle (Kimball *et al.*, 98, 08, Mundy & Thornthwaite).

Las fases establecidas, han sido diseñadas para que puedan ser desarrolladas en paralelo o en forma secuencial; cada una de estas fases, garantiza la calidad en el desarrollo del *data warehouse*.

B. El Proceso KDD

El proceso de extraer conocimiento a partir de grandes volúmenes de datos ha sido reconocido como un tópico de investigación clave en los sistemas de bases de datos. El descubrimiento de conocimiento en bases de datos (KDD, *Knowledge Discovery in Databases*) es básicamente un proceso automático en el que se combinan descubrimiento y análisis. El proceso consiste en extraer patrones en forma de reglas o funciones, a partir de los datos, para que el usuario los analice. Esta tarea implica generalmente preprocesar los datos, hacer minería de datos (*data mining*) y presentar resultados.

KDD se puede aplicar en diferentes escenarios como: determinar perfiles de clientes fraudulentos para descubrir relaciones implícitas existentes entre síntomas y enfermedades, para determinar perfiles de estudiantes exitosos académicamente en términos de sus características socioeconómicas y para determinar patrones de deserción, según caracterización realizada a estudiantes universitarios,

entre muchos otros. El proceso KDD se resume en las siguientes etapas: selección, preprocesamiento o limpieza, transformación o reducción, minería de datos (*data mining*), interpretación o evaluación [7]. La Fig. 2 representa el esquema gráfico del Proceso KDD.

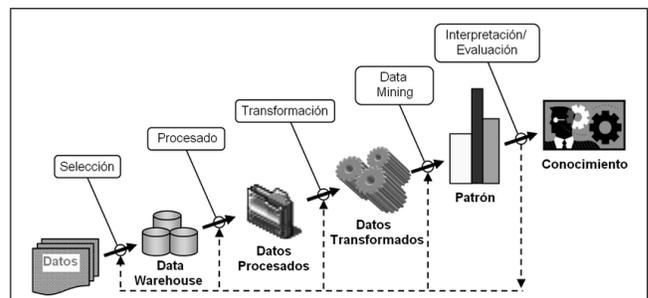


Fig. 2 Etapas del Proceso KDD (Disponible en https://www.researchgate.net/figure/Figura-21-Etapas-del-proceso-de-KDD-adaptado-de-Fayyad-et-al-1996_fig1_49911537)

C. Metodología CRISP-DM

Existen varias metodologías que facilitan en análisis de datos para extraer información que pueda generar conocimiento en las organizaciones, una de ellas es CRISP-DM: Cross Industry Standard Process for Data Mining. Esta metodología es una de las más empleadas en

la actualidad para el desarrollo de proyectos de minería de datos. La primera versión de la metodología se presentó en Bruselas en 1999 y se publicó en ese mismo año una *Guía* paso a paso de minería de datos. Actualmente IBM es la principal compañía que promueve el uso de esta metodología.

Son seis etapas: la primera comprensión del problema o negocio. Las actividades principales de esta etapa son: identificación del problema, determinación de objetivos y evaluación de la situación actual. Segunda comprensión de datos, las actividades principales son: recolección de datos, descripción de datos, exploración de datos. La tercera etapa preparación de datos, las actividades principales son: limpieza de datos, creación de indicadores y transformación de datos. Cuarta etapa: modelado. Las actividades principales son: selección de la técnica de modelado, selección de los datos de prueba y obtención del modelo. Quinta, evaluación del modelo y por último implementación del modelo [8].

En la Fig. 3 se muestra la representación gráfica de la metodología CRISP-DM, para minería de datos.

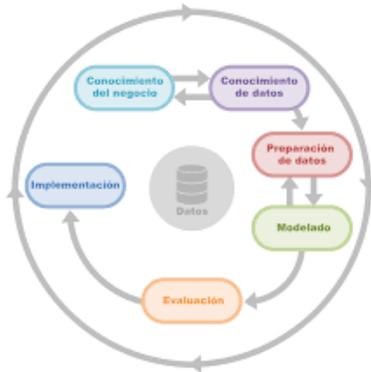


Fig. 3 Metodología de Minería de Datos: CRISP-DM. Disponible en https://www.worldprogramming.com/blog-es/datascience-es/credit_scoring_pt2/?lang=es

D. Herramientas tecnológicas

Para el desarrollo de proyectos se cuenta en el mercado tecnológico gran cantidad de herramientas *software* que permiten la aplicación de estos conceptos. Comercialmente se encuentran numerosas aplicaciones que se ofrecen a las empresas y de acuerdo con su capacidad de inversión se adquieren unas u otras. En el lado del *software* libre, también se han desarrollado numerosos proyectos con los cuales hoy se tiene la posibilidad de explorar y aplicar en organizaciones de diferentes tamaños. Algunos proveedores de *software* ofrecen la posibilidad de adquirir la licencia para el uso de sus productos. A nivel de inteligencia de negocios en el semillero se ha explorado la herramienta Pentaho. Este *software* se puede utilizar de

forma libre y también a nivel comercial está disponible la licencia. Pentaho incluye herramientas integradas para generar informes, minería de datos con Weka, ETL (Extracción, Transformación y Carga), entre otras. Estas funcionalidades están representadas en los siguientes productos: Pentaho Analysis Services (Cubos OLAP), Pentaho Reporting, Pentaho Data Mining (Weka), Pentaho Dashboard, Pentaho para Apache Hadoop.

En minería de datos, el *software* libre WEKA, desarrollado por la Universidad de Waikato en Nueva Zelanda, es una muy buena alternativa para iniciar la exploración de herramientas con estas características. Al ser cargados los datos al *software* Weka, la herramienta inicialmente realiza un análisis con estadística diferencial y muestra gráficas generadas a partir de los atributos definidos. Estas gráficas se generan por cada variable o atributo y puede ser comparada con la variable nominal definida para el análisis. Las gráficas generadas se presentan como histogramas. Posteriormente el usuario puede iniciar la exploración de diversos algoritmos (árboles de decisión, teorema de Bayes, Simple K-means y muchos más) según sea el caso a trabajar y de esta manera realizar análisis y generar conclusiones sobre los resultados obtenidos.

A continuación, en la Fig. 4, se muestra un ejemplo de las gráficas que genera Weka una vez se han cargado los datos.

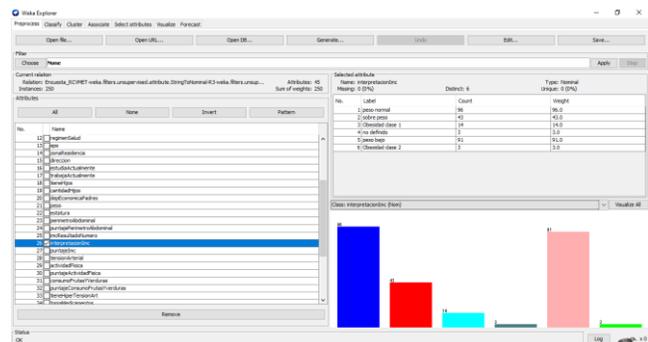


Fig. 4 Interpretación Índice de Masa Corporal (IMC) en población joven de nueve municipios del sur de Santander. Gráfica genera utilizando la herramienta Weka [9].

III. RESULTADOS

A partir de la aplicación de estos conceptos y con el uso de estas tecnologías, se han generado diversos aportes a problemas reales del entorno de los estudiantes del programa Ingeniería de Sistemas de UNISANGIL, en la Sede San Gil. A continuación, se listan algunos:

La Fig. 5 muestra el resultado del trabajo de grado denominado “Diseño de un prototipo de aplicativo Web para la gestión de datos de la estación meteorológica de

UNISANGIL, Sede San Gil, empleando Técnicas de Minería de Datos”, que usó el Teorema de Bayes para realizar el cálculo de la probabilidad de lluvia, tomando como referente el conjunto de datos obtenido de la estación meteorológica de UNISANGIL, en la Sede San Gil.



Fig. 5 VHIMEL – UNISANGIL (Disponible en <http://estacionmeteorologicaunisangil.info/>) [10]

De igual manera, se han realizado estudios entorno a los resultados de las Pruebas Saber Pro, en el proyecto denominado Diseño e integración del módulo “Análisis de datos” para los resultados obtenidos en las Pruebas Saber 11 y Pro en UNISANGIL, empleando Inteligencia de Negocios [11], explorando la herramienta Weka de minería de datos usando la técnica de mínimos cuadrados de regresión lineal: Método M5 y algoritmo Greedy, para realizar procesos de diagnóstico relacionado con los resultados de las pruebas Saber Pro, en el programa Ingeniería de Sistemas en la Sede San Gil. En las Fig. 6, 7 y 8 se muestran los resultados para el módulo de competencias genéricas: Razonamiento cuantitativo, aplicando tres métodos de regresión lineal: M5, Greedy y el resultado de la comparación entre métodos utilizando Excel.

```

=== Future predictions from end of training data ===
inst#      Saber Pro      Saber 11 Índice de Mejora
2016      0.5706      0.5675      1.0054
2017      0.5592      0.5836      0.9582
2018      0.5331      0.5117      1.0418
2019      0.5805      0.5928      0.9792
2020*     0.5084      0.4494      1.0084
    
```

Fig. 6 Resultados Saber Pro, Programa Ingeniería de Sistemas, Sede San Gil - Módulo Razonamiento Cuantitativo, usando el Método M5.

```

=== Future predictions from end of training data ===
inst#      Saber Pro      Saber 11 Índice de Mejora
2016      0.5706      0.5675      1.0054
2017      0.5592      0.5836      0.9582
2018      0.5331      0.5117      1.0418
2019      0.5805      0.5928      0.9792
2020*     0.529       0.5067      1.0403
    
```

Fig. 7 Resultados Saber Pro, Programa Ingeniería de Sistemas, Sede San Gil - Módulo Razonamiento Cuantitativo, usando el Método Greedy.

Año	#	DESEMPEÑO		MEJORA
		SABER PRO	SABER 11	
2016	1	0.5706	0.5675	1.0054
2017	2	0.5592	0.5836	0.9582
2018	3	0.5331	0.5117	1.0418
2019	4	0.5805	0.5928	0.9792
2020	5	0.5617	0.5649	0.9944
$y = ax + b$				
Intercepto (a)		0.000368	0.000411	
Const. Beta (b)		0.559901	0.562854	
Coef. R^2		0.000540	0.000214	

Fig. 8. Aplicación de Regresión Lineal por Mínimos. Cuadro utilizando Excel. Módulo Razonamiento Cuantitativo.

Por último, se presenta la Fig. 9 donde se evidencia la comparación de los métodos, el nivel de error, contrastado con los valores obtenidos en las pruebas presentadas por los estudiantes en el 2020.

Valor Real 2020 Pro	161.9	0.5397
Error	Absoluto	Relativo
M5	3.127%	5.794%
Greedy	1.067%	1.977%
Excel	2.207%	4.090%

Fig. 9. Comparación de Métodos de Regresión Lineal. Módulo Razonamiento Cuantitativo.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en cada uno de los proyectos presentados dan cuenta del aprendizaje alcanzado por los estudiantes del programa. Es muy interesante ver cómo los datos muestran el comportamiento de los sistemas y permiten realizar proyecciones.

La aplicación del concepto de inteligencia de negocios en proyectos de desarrollo de *software*, permite entregar productos muy completos para cualquier organización, permitiendo conocer la empresa, generar conocimiento para tomar decisiones apoyados en los datos, teniendo como elemento fundamental el uso de *data warehouse* para tratamiento de datos históricos.

Minería de datos es una técnica de análisis de datos que tiene, como punto de partida, la estadística diferencial para conocer la información trabajada y poder explorar con diferentes algoritmos los conjuntos de datos que se han consolidado, para presentar gráficamente los resultados obtenidos.

Actualmente existe la posibilidad de explorar los datos con herramientas *software* que consolidan los algoritmos de minería de datos y según sea el utilizado, este puede ser

incluido dentro del *software* desarrollado, para la generación de informes gráficos y/o textuales para apoyar la labor realizada por los tomadores de decisiones.

Las metodologías propuestas para aplicar inteligencia de negocios y minería de datos sirven como referente para el desarrollo de proyectos, también para trabajar organizadamente y tener el control sobre el avance del mismo. Además, sirve para fortalecer las competencias de los futuros ingenieros de UNISANGIL.

programa enfermería de Unisangil, sede San Gil”, *EIEI ACOFI*, sep. 2021.

- [10] J.C. Gelves. Diseño de un Prototipo Web para la gestión de datos de la Estación Meteorológica de UNISANGIL, Sede San Gil, empleando técnicas de minería de datos, 2021.
- [11] J.J. Barrera S., D.S. Morales G., O.A. Quecho Z. Diseño e Integración del Módulo “Análisis de datos”, para los Resultados obtenidos en las Pruebas Saber 11 y Pro en UNISANGIL, empleando inteligencia de negocios. 2021.

REFERENCIAS

- [1] Tableau. “Inteligencia de Negocios, qué es y por qué es importante”, 2021. Consultado el 14 octubre de 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.tableau.com/es-mx/learn/articles/business-intelligence>
- [2] Blog IEBS Digital School. “Qué es el Data Mining o la minería de datos y qué ventajas nos aporta”. 2021. Consultado el 15 de octubre de 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.iebschool.com/blog/data-mining-mineria-datos-big-data/>
- [3] Microsoft Docs. “Uso de cubos OLAP para análisis avanzado”. 2021. Consultado el 15 de octubre de 2021. [En línea] Disponible en: <https://docs.microsoft.com/es-es/system-center/scsm/olap-cubes-overview?view=sc-sm-2019>
- [4] Cyberclick. “Online Marketing & Digital Marketing Data Science”. 2021. Consultado el 15 de octubre de 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.cyberclick.es/numerical-blog/que-es-un-dashboard>
- [5] BI Geek Victor Dertiano Inmon vs Kimball. 2020. Consultado el 15 de octubre de 2021. [En línea] Disponible en: <https://bigEEK.medium.com/arquitectura-bi-los-enfoques-de-william-h-inmon-y-ralph-kimball-9d4bc57d3ab4>
- [6] Rivadera, Gustavo R. “La metodología de Kimball para el diseño de almacenes de datos (Data Warehouses). *Cuadernos de la Facultad* No. 5, 2010. Consultado el 15 de octubre de 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.ucasal.edu.ar/hm/ingenieria/cuadernos/archivos/5-p56-rivadera-formateado.pdf>
- [7] Timarán-Pereira, S. R., Hernández-Arteaga, I., Caicedo-Zambrano, S. J., Hidalgo-Troya, A. y Alvarado Pérez, J. C. (2016). El proceso de descubrimiento de conocimiento en bases de datos. En *Descubrimiento de patrones de desempeño académico con árboles de decisión en las competencias genéricas de la formación profesional* (pp. 63-86). Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. Doi: <http://dx.doi.org/10.16925/9789587600490>
- [8] Espinosa Zúñiga, Javier Jesús. Aplicación de metodología CRISP-DM para segmentación geográfica de una base de datos pública. Agosto de 2020. Consultado octubre 15 de 2021. [En línea] Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432020000100008
- [9] L. Y. Caicedo Chacón, M. M. Quintero Trujillo, G. Olarte Rueda, C. Salamanca Leguizamón, D. A. Corzo Hernández y J. D. Díaz Becerra, “Gestión de información con inteligencia de negocios y minería de datos para el modelo de atención de riesgo cardiovascular y metabólico, propuesta desde la ruta de promoción y mantenimiento de la salud-juventud, para el grupo de investigación ICES del

CIENCIAS AMBIENTALES Y DE LA TIERRA

Capítulo 10. Impacto de transformaciones urbanas sobre la exposición a contaminantes del aire en la ciudad de Bogotá: cable aéreo transmicable y renovación de la flota vehicular de transmilenio

Assessing the impact of urban transformations on exposure to air pollutants in the city of Bogota: Cable car implementation and renewal of the BRT System Fleet

Daniela Méndez Molano

Universidad de los Andes
Bogotá, Colombia

dmendez@unisangil.edu.co

Keywords: BRT system, classification and regression trees, personal exposure to air pollutants, fleet renewal.

I. INTRODUCTION

Studies around the world have shown that the exposure concentration of fine aerosol particles $PM_{2.5}$, Black Carbon (BC), the number of ultra-fine particles (UFP), carbon monoxide (CO), among others, is usually higher within transport microenvironments compared to ambient concentrations [1][2][3][4].

In Asia, personal exposure of commuters has been evaluated in several cities. In Delhi, for example, the mean ambient air $PM_{2.5}$ concentration was $150 \mu g m^{-3}$ from 2012 to 2014, which represents 15 times the annual average established by the World Health Organization (WHO). Even so, within transit microenvironments Goel et al., found a mean of $233 \mu g m^{-3}$ [4] Higher exposure to pollutants than to concentrations of the urban background was found and estimated at $28 \mu g m^{-3}$ inside the buses and $22 \mu g m^{-3}$ outdoors mean [5][6].

Despite the stricter emissions regulation framework in European and American cities, the conclusions related to personal exposure are similar to what was observed in cities in Southeast Asia and other cities in emerging economies. In London, for example, several studies have been carried out since 2001. They have shown that greater exposure is found inside the transport cabins, it can occur due to multiple variables still under study. Some of these controlling variables are traffic density, road type, the effect of meteorology (wind speed), environmental concentrations, and proximity to polluting sources [1][2][4]. As in London, research in other cities in Europe

and the United States has addressed on establishing possible associations between the different variables existing in microenvironments [7] [8] [9] [10] [11].

In Bogota, analyses were made to estimate the traveler exposure in the different transport microenvironments including the Bus Rapid Transport System (BRT) to $PM_{2.5}$, eBC, and Np (Concentration in number of particles) [12] It was found that the exposure concentration to $PM_{2.5}$ and eBC could be up to 6 times higher in BRT compared to pedestrians or cyclists. The exposure of regular bus users (SITP) was second highest after those of BRT system users. Further studies have established an association between the emission standard of the BRT buses and the in-cabin exposure levels [13] showing almost twice as large exposure concentrations in buses with a EURO II or III emission standard compared to those with EURO IV or V emission standard. Such association between emission standard and in-cabin exposure suggested that a fleet renewal process could generate substantial decreases in personal exposure.

In 2019 in Bogota, a new bus fleet replaced the oldest fraction of the BRT fleet. That same year, the city's first cable car was inaugurated, TransMiCable located in the locality of Ciudad Bolívar. The two systems are connected, as the single service line of TransMiCable, 3.43 km in length and four (4) stations, is connected to the city's BRT system. The cable car has been used as a transport alternative for the local mobility of different commuters. A large number of cities in Latin America have implemented more frequently cable cars since 2004 [14]. In Colombia, Medellin integrated the public transport system with a cable car that covered several areas that are difficult to

access. The cable car technology being electric is an environmentally friendly option.

Therefore, in this study we aim to quantify, through direct measurements of air pollution exposure, the magnitude of any potential change in personal exposure associated with these two examples of urban interventions: the BRT system fleet renewal made in Bogota in 2019 and the cable car implementation in 2018. Furthermore, the study seeks to determine the factors that control personal exposure and the potential inhaled dose. The analysis is based on conditions observed from field data and information from other studies. The conditions studied are the age of the vehicle, the microenvironment type, the line of the system among others.

II. METHODOLOGY

Personal exposure to atmospheric pollutants was measured in the buses and stations of the Bogota BRT system, Transmilenio (Figure 1a), and in several transportation modes and near-road environments at the cable car urban intervention zone, Ciudad Bolívar (Figure 1b) in south of the city. Overall, exposure to air pollutants was measured in seven microenvironments types or transportation modes, namely stations and buses of the BRT system, on the BRT-feeder bus line, on a regular bus serving each area, on a semi-formal public transport vehicle, pedestrian mode, and cable car system TransMiCable.

The BRT system is made up of 11 lines in operation that cover 112.9 km, 134 stations, and 9 terminal stations. These lines cover the main roads of the city (Figure 1)

The cable car has 163 cabins and runs around 3.43 kilometers, it was designed to mobilize more than 21,000 people per day, who normally spent up to 1 hour on their initial journey (from their home to the BRT terminal station). It has 3 stations, and in a cabin can transport up to 10 passengers.

The measurements were carried out through three field campaigns. During the first campaign, we assessed 45 BRT feeders, 26 regular buses, and 20 semi-formal vehicles in the intervention and control areas. During the second campaign, we boarded 260 BRT buses, of these, 163 were the old fleet and 97 were new buses that entered through the renovation process. In the third campaign, we assessed 33 BRT feeders, 24 regular buses, 18 semi-formal vehicles, and 16 cable cars.

In the case of TransMiCable, measurements were performed before and after the implementation. The first campaign, before TransMiCable implementation, was

made between August 29 and October 1, 2018. In this fieldwork, four microenvironments or transportation modes were measured in the cable car intervention zone. On vehicles of the main feeder line to the BRT system, a regular bus serving each area, a semi-formal public transport vehicle and pedestrian mode. After TransMiCable implementation, we measured between August 29 and December 12, 2019, and included measurements into cable car cabins.

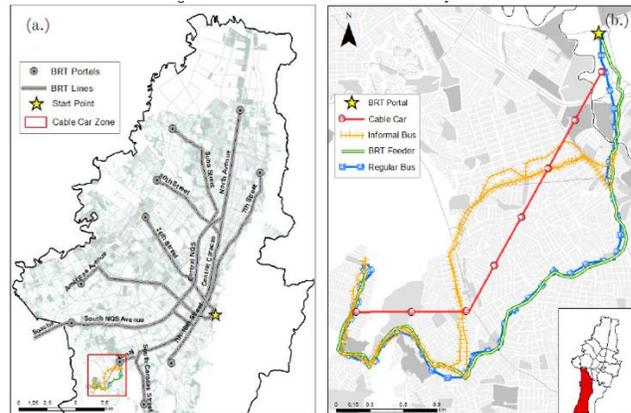


Fig. 1. BRT Transmilenio and Cable Car study area. (a.) The different lines of the system. (b.) Urban intervention area, Ciudad Bolívar.

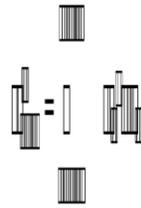
PM_{2.5} was measured with two real-time portable device called DustTrak 8530 and DRX 8533 (TSI Inc. MN, USA). Black Carbon commonly refers to elemental carbon arranged in a disordered graphite crystal structure with some oxygen and hydrogen bonded to the structure (Meinrat O. Andreae, 1995), in this case implies that this component is responsible for the absorption of visible light (M. O. Andreae & Gelencsér, 2006). In these campaigns measures were made with a MicroAethalometer AE51. Carbon monoxide was measured with a gas detector device, in the case of this specific pollutant, the DeltaOhm meter (HD37AB17D SICRAM probes) has an electrochemical cell with two reference electrodes used to detect the presence of carbon monoxide

A classification and regression tree (CART) is a term used to refer to decision tree algorithms that can be used for predictive modeling of classification or regression problems (Breiman et al., 1984). The CART algorithm provides a basis for important algorithms like bagged decision trees and random forests.

It functions as a binary tree of algorithms and data structures; each root node represents a single input variable (x) and a division point on that variable (assuming the variable is numeric). Tree leaf nodes contain an output variable (y) that is used to make a prediction. For classification, the Gini index function is used which

indicates how "pure" the leaf nodes are (how mixed the training data assigned to each node is).

We estimated the potential inhaled dose per minute in each microenvironment before and after the implementation of TransMiCable and BRT system renewal fleet. The mean potential inhaled dose for each microenvironment was estimated by combining the personal exposure data collected on the field campaigns and the accelerometry data that was then used to estimate inhalation rates. The mean daily potential inhaled dose for each modal share trip by location was estimated with a discrete-events simulation model. This analysis was done using the concentration data by mode and the activity levels associated with each microenvironment. The potential inhaled dose of PM_{2.5}, eBC, and CO in the transport alternatives was calculated according to Equation 1 [13].



$$D_{\text{trip}} = C_i^j \times IRI$$

Equation 1. The potential inhaled dose estimated.

Where D_{trip} potential dose of pollutant j in the trip ($\mu\text{g min}^{-1}$), C_i^j ($\mu\text{g m}^{-3}$) is the concentration in the microenvironment, and IR_i ($\text{m}^3 \text{min}^{-1}$) is the rate of inhalation associated with activity level.

III. RESULTS

In Bogota, 136 monitoring sessions were carried out between 2018 and 2019 that began before the start of the renewal of the fleet and the implementation of cable cars. Some of the information presented in this work was obtained from studies carried out by other group members during 2015 [12], 2017 [13] and 2020.

To analyze the data obtained, we divided the measurements into a baseline section and a follow-up section. The first of these refers to the time before the implementation of the cable car and the renewal of the fleet (studies from 2015 and 2017). The follow-up is the analysis of the data once the cable car was implemented and the renewal entered into force, that is, campaigns 2 and 3. We observed very high concentrations of PM_{2.5}, eBC, CO, and UFP at the baseline inside BRT buses, feeders, regular buses and informal buses; and medium to moderate exposure in pedestrian mode.

At this point, we have a first approach to show that for the case the motorized modes show concentrations of pollutants higher than the active mode, in this case, the pedestrian. This could be explained by the characteristics of the vehicles observed in the field. On the one hand, the BRT buses in 2015 and 2017 showed high pollution conditions inside with mean in-bus concentrations of 172 $\mu\text{g m}^{-3}$, 83 $\mu\text{g m}^{-3}$, and 4.8 ppm for PM_{2.5}, eBC and CO respectively. On the other hand, during the TransMiCable measurements, the feeder buses and regular buses the participants reported a perception of a highly pollution environment while riding on them.

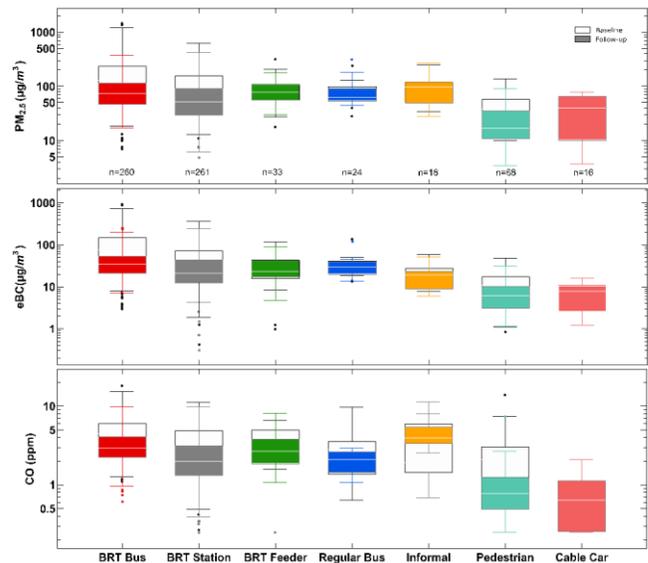


Fig. 2. Box-and-whisker plots by mode. a) Average PM_{2.5} concentrations in $\mu\text{g} / \text{m}^3$, (b). Average concentrations of eBC in $\mu\text{g} / \text{m}^3$, (c) Concentrations of CO in ppm.

Reductions are observed in BRT bus and stations. These reductions may be associated with the urban transformations mentioned in this study. Positive correlations are observed among the different pollutants. This correlation explains an association between personal exposure and the pollution emitted by the vehicle.

After processing the data following the stipulated protocol, PM_{2.5}, eBC, CO, and UFP averages were determined, registered within the 260 BRT buses sampled in this project. These values were compared with previous studies carried out in 2015 and 2017; additionally, they are compared with data taken this year 2020.

The data obtained this year have been collected with the same methodology presented in this study. Here I present the analysis of the information obtained between September 16 and October 26, 2020 (post-quarantine

period). On those dates, 141 buses and 151 stations were monitored.

Higher concentrations of PM_{2.5} and eBC are observed in the old buses monitored in this study with respect to the new buses that are part of the renovation carried out. The lines in which this change is most substantially evident are the lines of Suba Avenue and 80th Street. Carbon monoxide also tends to decrease, but its change is not as large as observed for particulate matter. Very significant reductions (p-value<0.05) are observed between the concentrations observed in the studies of 2015 and 2017 and the measurements carried out in this project and 2020. With values up to 80% reduction for pollutants.

For this analysis, there were 15,816 data points corresponding to 10-second mean concentrations for the 76 monitoring sessions carried out. However, to implement the methodology it is necessary to use a training data set to generate the classification model (70% of the data) and a test set to verify the effectiveness of this model. In our application of CART, the goal is to determine which variables can be used to separate eBC exposure into categories (i.e., low vs high exposure for instance). For this reason, it is necessary to transform the independent variable (eBC) as a categorical variable. To do so, we mapped the eBC concentration data into five quintiles. The defining points for the quintiles for the data set are 8.5, 14.9, 20.2, and 35.5 µg m⁻³ of Black Carbon

As expected, after what was observed in the field and the concentrations, the factors that control the exposure are the microenvironment in which the commuter is, that is, if he is inside BRT buses, a station, the portal, on the street, or in an intramural space, the line of the system and the age of the vehicle.

IV. CONCLUSIONS

Personal exposure measurements were carried out before, during, and after the implementation of urban transformations in different modes of transport reported in this work. These measurements demonstrate the significant effect of the fleet renewal process of the BRT system and the implementation of TransMiCable, on reducing exposure to air pollutants.

Lower concentrations were observed for PM_{2.5}, eBC, and CO in the cable car compared to transport modes such as feeder, regular buses, or informal vehicles. The differences represent 3 times the exposure of PM_{2.5}, 4 times for eBC, and 6 times for CO for the traveler compared to motorized modes.

Regarding the analysis of the variables that could control the exposure, it is evident that the concentrations of eBC are conditioned by the microenvironment in which the traveler is located.

All of the above suggests that there are positive changes when implementing urban interventions both in alternative modes of transport and renewal of the vehicle fleet.

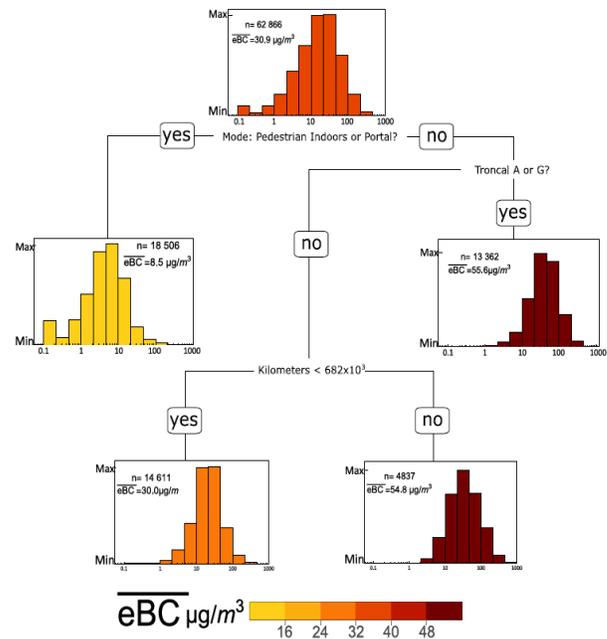


Fig. 3 Classification tree for eBC BRT System 2019 case

REFERENCIAS

- [1] Adams, H. S., Nieuwenhuijsen, M. J., Colville, R. N., McMullen, M. A. S., & Khandelwal, P. (2001). Fine particle (PM_{2.5}) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *Science of the Total Environment*, 279(1–3), 29–44. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00723-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00723-9)
- [2] Adams, H. S., Nieuwenhuijsen, M. J., Colville, R. N., Older, M. J., & Kendall, M. (2002). Assessment of road users' elemental carbon personal exposure levels, London, UK. *Atmospheric Environment*, 36(34), 5335–5342. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00637-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00637-4)
- [3] Goel, R., Gani, S., Guttikunda, S. K., Wilson, D., & Tiwari, G. (2015). On-road PM_{2.5} pollution exposure in multiple transport microenvironments in Delhi. *Atmospheric Environment*, 123, 129–138. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.037>
- [4] Rivas, I., Kumar, P., Hagen-Zanker, A., Andrade, M. de F., Slovica, A. D., Pritchard, J. P., & Geurs, K. T. (2017). Determinants of black carbon, particle mass and number concentrations in London transport microenvironments. *Atmospheric Environment*, 161, 247–262. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.004>
- [5] Liu, W. Te, Ma, C. M., Liu, I. J., Han, B. C., Chuang, H. C., & Chuang, K. J. (2015). Effects of commuting mode on air pollution exposure and cardiovascular health among young adults in Taipei, Taiwan. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 218(3), 319–323. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.01.003>
- [6] Tan, S. H., Roth, M., & Velasco, E. (2017). Particle exposure and inhaled dose during commuting in Singapore. *Atmospheric*

- Environment, 170, 245–258. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.09.056>
- [7] De Nazelle, A., Fruin, S., Westerdahl, D., Martinez, D., Ripoll, A., Kubesch, N., & Nieuwenhuijsen, M. (2012). A travel mode comparison of commuters' exposures to air pollutants in Barcelona. *Atmospheric Environment*, 59, 151–159. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.05.013>
- [8] Dennekamp, M., Mehenni, O. H., Cherrie, J. W., & Seaton, A. (2002). Exposure to ultrafine particles and PM 2.5 in different micro-environments. *Annals of Occupational Hygiene*, 46(January), 412–414. Doi: <https://doi.org/10.1093/annhyg/46.suppl-1.412>
- [9] Gulliver, J. & Briggs, D. J. (2004). Personal exposure to particulate air pollution in transport microenvironments. *Atmospheric Environment*, 38(1), 1–8. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.09.036>
- [10] Levy, J. I., Dumyahn, T., & Spengler, J. D. (2002). Particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in indoor and outdoor microenvironments in Boston, Massachusetts. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 12, 104–114. Doi: <https://doi.org/10.1038/sj/jea/7500203>
- [11] Molle, R., Mazoué, S., Géhin, É., & Ionescu, A. (2013). Indoor-outdoor relationships of airborne particles and nitrogen dioxide inside Parisian buses. *Atmospheric Environment*, 69, 240–248. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.050>
- [12] Morales Betancourt, R., Galvis, B., Balachandran, S., Ramos-Bonilla, J. P., Sarmiento, O. L., Gallo-Murcia, S. M., & Contreras, Y. (2017). Exposure to fine particulate, black carbon, and particle number concentration in transportation microenvironments. *Atmospheric Environment*, 157, 135–145. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.006>
- [13] Morales Betancourt, R., Galvis, B., Rincon-Riveros, J. M., Rincon-Caro, M. A., Rodriguez-Valencia, A., & Sarmiento, O. L. (2019). Personal exposure to air pollutants in a Bus Rapid Transit System: Impact of fleet age and emission standard. *Atmospheric Environment*, 117–127. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.01.026>
- [14] Sarmiento, O. L., Higuera-Mendieta, D., Wilches-Mogollon, M. A., Guzman, L. A., Rodriguez, D. A., Morales, R., Mendez, D., Bedoya, C., Linares-Vasquez, M., Arevalo, M. I., Martinez-Herrera, E., Montes, F., Meisel, J. D., Useche, A. F., Garcia, E., Triana, C. A., Medaglia, A. L., Hessel, P., Arellana, J., ... Diez Roux, A. V. (2020). Urban Transformations and Health: Methods for TrUST—a Natural Experiment Evaluating the Impacts of a Mass Transit Cable Car in Bogotá, Colombia. *Frontiers in Public Health*, 8(March). Doi: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00064>

Capítulo 11. Mapas de ruido acústico de comuna centro de Bucaramanga medidos con dispositivo electrónico de bajo costo con tecnología Arduino

Acoustic noise maps of Bucaramanga's downtown area measured with a low-cost electronic device using Arduino technology

Walter Pardavé Livia

Universidad de Santander, Facultad de Ingenierías
Grupo Ambiental de Investigación Aplicada, GAIA
Bucaramanga, Colombia

wal.pardave@mail.udes.edu.co

Palabras clave: Mapa acústico, ruido ambiental, dispositivo electrónico.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica se ha convertido con el pasar de los años en un problema que afecta a la población de las grandes ciudades, por lo que se considera como un factor ambiental bastante significativo, ya que incide de manera directa en la calidad de vida humana, interfiriendo en la comunicación, la convivencia, perturbando el sueño, el descanso y la relajación, impidiendo la concentración y el aprendizaje; crear estados de cansancio y tensión que pueden degenerar en enfermedades de tipo nervioso y cardiovascular y llegar a producir diferentes reacciones fisiológicas, como la pérdida de audición y psicológicas, como la irritabilidad exagerada [1].

De diversos autores, hablar de contaminación acústica es referirse al ruido cuando este se considera como un contaminante, es decir, un sonido molesto que puede producir efectos nocivos para una persona o grupo de personas. La causa principal de la contaminación acústica son las diversas actividades humanas como el transporte, la construcción y obras públicas, la industria, entre otras. El ruido se mide en decibelios (dB); los equipos de medida más utilizados son los sonómetros.

El siguiente proyecto tiene como objetivo generar mapas de ruido ambiental en puntos estratégicos de la comuna centro de la ciudad de Bucaramanga mediante el *software* Arc Gis y con datos de mediciones realizadas con un equipo electrónico de medición acústica, en los cuales se determinan los niveles de ruido ambiental en esta zona con el fin de analizar y presentar la situación actual del área de estudio.

Para el diseño de los mapas de ruido ambiental se sigue la metodología establecida en la Resolución 627 del 7 de abril del 2006 [2], por la cual se fundamenta la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Inicialmente se analizarán los parámetros, para identificar los puntos estratégicos y generar un área de estudio, luego de establecer los puntos de monitoreo se procederá a realizar las mediciones. Una vez finalizadas las mediciones se realizará el análisis estadístico con el fin de establecer un modelo para la predicción de niveles de ruido ambiental, terminado esto se hará la presentación, entrega de resultados y mapas de ruido ambiental generados.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se planteó una metodología para el levantamiento de un mapa de ruido diurno en puntos estratégicos de la comuna centro de la ciudad de Bucaramanga, desarrollando una serie de pasos y luego de esto se presentan los resultados para el levantamiento del mapa de ruido ambiental diurno en puntos estratégicos de la comuna centro de Bucaramanga, ya que esta comuna es considerada como crítica por la autoridad ambiental local.

A. Pruebas de verificación de sensibilidad equipos “SonoUDES”

Para iniciar con las mediciones se realizaron diferentes pruebas de verificación de sensibilidad de los equipos construidos en áreas críticas de la ciudad, se presentan los resultados obtenidos en la calle 15 con carrera 22 por 50 minutos, anotando los valores obtenidos cada minuto.

B. Determinación de horarios de medición

En la Fig. 1 se puede observar el número y tipo de fuentes móviles presentes en la zona centro de Bucaramanga realizado por la CDMB (Corporación Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga) en el horario de 6:00 am a 8:00 pm, información de bastante utilidad ya que debido a esto se establecieron los horarios de medición en las horas pico para lograr captar diariamente los niveles de ruido más altos generados por las fuentes móviles que circulan en la zona.

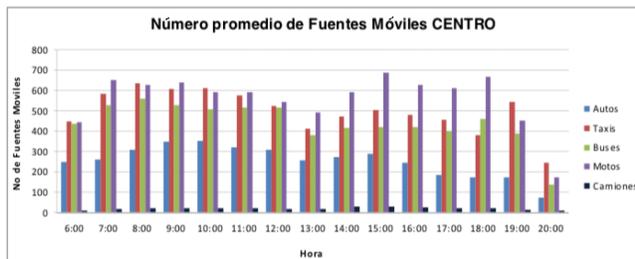


Fig. 1. Fuentes móviles centro de Bucaramanga.
 Fuente: CDMB (2019)

C. Determinación de puntos estratégicos

Para la determinación del número de puntos y la ubicación de los mismos se realizó un barrido general por las diferentes calles y carreras que comprenden la zona centro de Bucaramanga, realizando verificación visual de la situación actual comparada con lo establecido en las fuentes previamente consultadas para la identificación de los puntos más críticos, por lo que se estableció un área de estudio comprendida por 12 puntos, los cuales abarcaron 4 carreras y 3 calles, en las cuales se presenta una gran generación de niveles de ruido por el amplio flujo de vehículos y demás factores (parques, vendedores ambulantes, locales comerciales, bares, casinos, etc).

En la tabla 1 se presentan los 12 puntos que se tuvieron en cuenta en el presente estudio, se incluye las ubicaciones específicas.

TABLA 1. PUNTOS MONITOREADOS (2019)

Punto	Ubicación
1	Cra. 15 - Calle 36
2	Cra. 15 - Calle 33
3	Cra. 15 - Av. Quebrada seca
4	Cra. 17 - Calle 36
5	Cra. 17 - Calle 33
6	Cra. 17 - Av. Quebrada seca
7	Cra. 19 - Calle 36
8	Cra. 19 - Calle 33
9	Cra. 19 - Av. Quebrada seca
10	Cra. 21 - Calle 36
11	Cra. 21 - Calle 33
12	Cra. 21 - Av. Quebrada seca

D. Equipos utilizados

Las mediciones realizadas se basaron en lo establecido en la norma 627 de 2006, el ruido ambiental se midió ubicando los equipos “SonoUDES” (ver Fig. 2), desarrolladas en el Grupo de Investigación GAIA de la Universidad de Santander, las mediciones se llevaron a cabo en un trípode a una altura de 4 metros sobre el suelo terrestre y a una distancia horizontal de 4 metros de las edificaciones existentes a ambos lados de los puntos de monitoreo. Los períodos de monitoreo se realizaron en un tiempo de 15 minutos por punto. Las mediciones se realizaron en días secos según lo establecido en la norma. Los datos registrados por punto fueron Lmax, valor máximo que se registra durante el tiempo de muestreo por punto; Lmin, valor mínimo que se registra durante el tiempo de muestreo por punto y Leq, valor promedio de todas las medidas en el punto.



Fig. 2. Sonómetro desarrollado en la Universidad de Santander (UDES) “SonoUDES” (2019).

E. Resultados de las mediciones

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el monitoreo de los 12 puntos críticos establecidos, se encuentran los datos de días hábiles y datos para el día domingo (blanco), también se muestran en las tablas las coordenadas de cada punto, las cuales se obtuvieron por medio de un GPS y que sirvieron para georreferenciar los puntos en el levantamiento de los mapas de ruido ambiental.

Es una de las principales vías de la comuna centro de la ciudad, la cual tiene carriles exclusivos para la operación del sistema Integrado de Transporte Masivo para Bucaramanga denominado “Metro línea” y a su vez es una zona de alta movilidad de peatones, gran cantidad de vendedores ambulantes y edificios de gran tamaño (ver Fig. 3).



Fig. 3. Estación para mediciones.

Se puede apreciar en la Fig. 4 que el nivel de mayor presión sonora (L_{max}) se registró en la Carrera 15 – Calle 36 con un valor de 77,46 dB, este valor es el reflejo del constante ruido generado por los buses articulados del “Metro línea”, el tránsito de patrullas de policía y ambulancias que generan altos picos de ruido a su paso por la vía. El valor de menor presión sonora (L_{min}) se registró en la Carrera 15 – Calle 33 con un valor de 75,06 dB. El valor promedio de los datos registrados (L_{eq}) (ver Fig. 4), en los 3 puntos permite observar que la carrera 15 a lo largo del tramo monitoreado presenta niveles de ruido bastante altos y constantes, los cuales superan lo establecido en la norma la cual permite un máximo de 70 dB...



Fig. 4. Valor promedio de todas las medidas en el punto (L_{eq}) (2019).

Se realizó el análisis estadístico del comportamiento de los niveles de ruido a lo largo de la jornada diurna por carreras en días hábiles, con el fin de obtener ecuaciones matemáticas de predicción de datos mediante el uso del *software* Microsoft Excel. Cabe aclarar que no fue tarea fácil hallar la regresión que más se ajustara al comportamiento de las mediciones, ya que se probó con

funciones lineales, exponenciales y logarítmicas que no se ajustaban correctamente o predecían valores poco confiables por lo que fue necesario dividir en tramos los comportamientos y ajustar cada tramo a una función polinómica que se ajustaba con bastante confiabilidad a los mismos prediciendo valores reales dependiendo del rango de hora y carrera (ver Fig. 5).

Se aprecia que en las horas 17-18 se presentan los mayores niveles de ruido (aprox. 80 dB) y en las horas 13-14 se encuentran los menores valores de ruido (aprox. 73 dB).

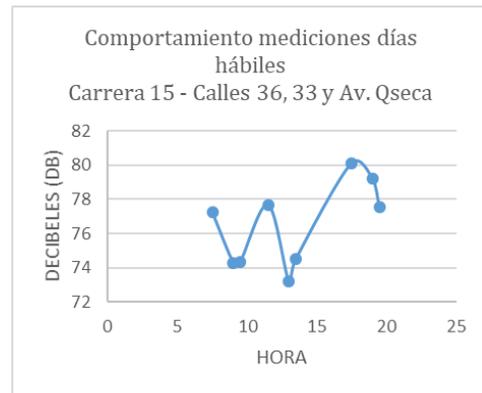


Fig. 5. Comportamiento mediciones días hábiles Cra. 15 – Calles 36, 33 y Av. Qseca (2019).

F. Presentación del mapa de ruido días hábiles (Fig. 6)

Los datos promedio obtenidos en horario diurno entre los días lunes y sábados de cada uno de los 12 puntos estratégicos escogidos en la comuna centro de Bucaramanga se presentaron en las Fig. 5 y 6. A partir de estas tablas se pudo observar que de los 12 puntos monitoreados, todos excedieron la norma debido al alto tráfico vehicular, uso excesivo de cláxones por parte de conductores alterados, excesiva presencia de vendedores ambulantes que en su mayoría poseen altavoces y a su vez ralentizan el flujo vehicular y la publicidad sonora de locales comerciales que aportan altos niveles de contaminación acústica.

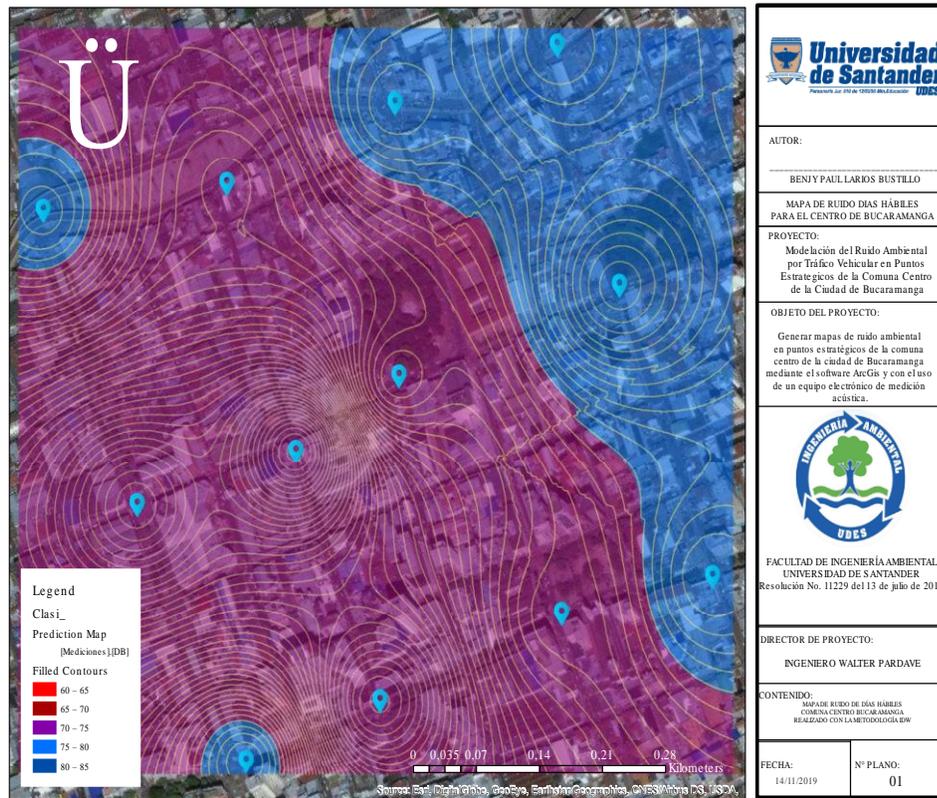


Fig. 6 Mapa acústico generado (autor).

III. CONCLUSIONES

Según el análisis de resultados antes evaluado y teniendo en cuenta los monitoreos de cada uno de los 12 puntos ubicados estratégicamente en el centro de la ciudad, se puede concluir que las zonas de mayor impacto sonoro en el estudio de los días hábiles (lunes-sábado) se presentan en los puntos ubicados sobre la Carrera 15 con Calle 36 y Av. Quebrada seca, la Carrera 21 entre Calles 36 y Av. Quebrada seca y la Carrera 19 con Av. Quebrada seca, puntos en los cuales sobrepasan los límites establecidos en la norma. En la Fig. 6 se corrobora que en las horas 17-18 se presentan los mayores niveles de ruido (aprox. 80 dB) y en las horas 13-14 se encuentran los menores valores de ruido (aprox. 73 dB).

En general se puede concluir que los mapas de ruido ambiental son una excelente representación gráfica de los niveles de presión sonora en una determinada zona, los cuales sirven de evidencia para la implementación de medidas preventivas, correctivas y de seguimiento y como apoyo en la elaboración, desarrollo y actualización de los POT (Planes de Ordenamiento Territorial).

REFERENCIAS

- [1] Ideam, Subdirección de Estudios Ambientales, Documento soporte norma de ruido ambiental, Convenio de Asociación No. 038/04 (Numeración MAVDT) - 112/04 (Numeración Ideam). Bogotá, Colombia, pp. 160. 2006.
- [2] Instituto Geofísico Universidad Javeriana. Microzonificación sísmica preliminar de Tunja, Bogotá, pp. 4. 32. Convenio de estudios de amenaza y microzonificación sísmica, vulnerabilidad estructural y evaluación de escenarios de daño. Instituto Geofísico Universidad Javeriana, Consultoría Colombiana S.A., 2000.
- [3] Mayorga, Y. Valoración del ruido del tráfico urbano considerando técnicas de valoración contingente. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, p. 68, 2010.
- [4] Pacheco, J., Franco, J. F. & Behrentz, E. Caracterización de los niveles de contaminación auditiva en Bogotá: estudio piloto. *Revista de Ingeniería*, No. 30, pp. 72-80, Universidad de Los Andes, Colombia, pp. 72-76, 2009.
- [5] Portela, B. S. & Zannin, P. H. Analysis of factors that influence noise levels inside urban buses. *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 69, September, pp. 684-687, 2010.
- [6] Quintero González, J. R. Elementos del tránsito. Guías de clase, curso de fundamentos de tránsito, primer semestre de 2010. Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia, p. 22, 64 p. 2010.

Capítulo 12. Prototipo de alerta ante posibles saturaciones hídricas en los terrenos colindantes a la red vial Chiquinquirá - Pauna en el occidente del departamento de Boyacá

Prototype alert to possible water saturations in the terrains adjacent to the Chiquinquirá - Pauna road network in the west of the department of Boyacá

Edisson Caicedo Rojas, Andrea Marisol Salinas Chacón

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Chiquinquirá, Colombia

ercaicedo@unisangil.edu.co,
amsalinas@unisangil.edu.co

Palabras clave: Agua edáfica, derrumbe, prototipo, saturación hídrica, sistema de alerta.

la tierra, lo cual se ve ocasionado por la disolución de piedras, acción dada por aguas subterráneas.

I. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos presentados en los últimos años han creado múltiples beneficios para comunidades en diferentes situaciones ocasionadas por desastres naturales, por ello se formó la iniciativa de ayudar a la población del occidente de Boyacá con el sistema de alertas ante saturaciones hídricas ubicadas en la red vial de Chiquinquirá-Pauna.

Diferentes tragedias naturales han afectado al país en varias ocasiones. Como la siniestra avalancha de Armero ocurrida en 1985; el terremoto de Armenia presenciado en 1999; el desastroso jueves santo que vivieron los payaneses a causas de un terremoto, en 1983; o el fuerte movimiento del tsunami que sacudió a los nariñenses en 1979. Estas han sido solo algunas de las tragedias significativas que han dejado grandes pérdidas humanas y materiales [1].

Chiquinquirá, municipio boyacense, capital de la provincia del occidente de Boyacá, dista de Pauna 34 kilómetros, en una vía deteriorada por diversos factores entre los que se destacan el tráfico de vehículos pesados causando la mala calidad de la pavimentación sumado a las fallas geológicas presentadas metros después del sitio conocido como boca de monte o ramal de Pauna.

La problemática registrada en la zona se origina principalmente por la saturación hídrica presente en los suelos lo cual afecta las vías de transporte hacia el occidente de Boyacá. Las causas generadas por estos fenómenos naturales son principalmente hundimientos en

El Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), realizó en el 2010 la caracterización y estimación de la oferta hídrica para el país, llamada estudio nacional de agua (ENA), la oferta hídrica media afirma que el municipio de Pauna, Boyacá, se encuentra ubicada como una de las 12 cabeceras municipales que proveen una buena oferta de agua superior a los 20.000 millones de metros cúbicos al año. Debido a la gran producción de este recurso hídrico que genera el municipio, se ve afectada la estructura vial pues el agua subterránea genera, en sitios específicos, una saturación viéndose reflejada en deslizamientos y erosiones en el suelo.

Con base en las circunstancias expuestas, se plantea la siguiente pregunta problemática: ¿Cómo incluir una estrategia tecnológica que contribuya a la comunidad paunense en la detección y posible mitigación de derrumbes ante saturaciones hídricas en el occidente del departamento de Boyacá?

Debido al variado relieve que ofrece el área del departamento de Boyacá, comprendiendo todos los pisos térmicos conocidos, desde el de nieves perpetuas, con temperaturas bajo cero (0°C) en la Sierra Nevada del Cocuy, pasando por el frío y templado hasta el cálido con temperaturas superiores a los (28°C) en el occidente de la región[2].

Con el aumento de fenómenos y catástrofes ambientales en el occidente de Boyacá y los malos procedimientos en el suelo, es importante para la sociedad que habita en la zona aledaña a la red vial Chiquinquirá-Pauna, tener

contemplado un plan de gestión de riesgo, con los diferentes parámetros de precaución y acción ante eventualidades climáticas que se puedan presentar en cualquier momento, garantizando a los usuarios información adecuada ante posibles accidentes ambientales.

El interés del proyecto radica en el bienestar colectivo de la población aledaña a la vía, buscando salvar vidas humanas, y evitando pérdidas materiales a causa de estas catástrofes naturales. El diseño del prototipo está basado en un sistema electrónico que detecta la humedad hídrica presente en el suelo de forma que emita ondas de frecuencia a través de cada uno de los nodos a un eje central de monitoreo, donde se analizan los datos recopilados para tener un informe estadístico del comportamiento en tiempo real del terreno en estudio

II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

A. Referentes teóricos

Prototipo de soluciones IoT con tecnología “LoRa” en monitoreo de cultivos agrícolas

Consiste en el desarrollo teórico-práctico de un prototipo de solución IoT para el monitoreo de cultivos agrícolas, implementando una de las nuevas tecnologías en el sector IoT “LoRa”, quien cuenta con un bajo consumo de energía y larga distancia (mayor a 8 km en línea de vista) entre el dispositivo transmisor y el dispositivo receptor, con el fin de conocer las variables físicas que afectan directamente al proceso de un cultivo a través de un aplicativo web.

La adquisición de datos provenientes de los sensores (temperatura, humedad, radiación y Ph) tienen comunicación directa con el sistema arduino + LoRa shield, a esto se le determina como “nodo”; el nodo envía los datos a través de comunicación LoRa hacia el respectivo Gateway (concentrador). El Gateway envía los datos de cada nodo (tres nodos) a un servidor público llamado *thingspeak*, este servidor cuenta con un “id” y “canal id” para determinar qué nodo está enviando la información [3].

Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego

Esta publicación está dirigida a agricultores que desean entender mejor cómo programar el riego, aquí se presentan algunos conceptos básicos sobre la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo, se describen los sensores seleccionados para monitorear el agua del suelo (incluyendo sondas de capacitancia, bloques de yeso y

tensiómetros), se enlistan las ventajas y desventajas de utilizar estos sensores y se presentan los conceptos básicos para la instalación de los mismos. El mejorar el manejo del agua en sus cultivos, le permitirá conservar agua y aumentar la rentabilidad en sus tierras agrícolas [4].

Sistema de comunicación mediante WSN para detección alerta y temprana de deslizamientos de tierra

Proyecto de investigación que muestra el desarrollo de un sistema de comunicación mediante WSN para detección y alerta temprana de deslizamientos de tierra, comenzando por un análisis teórico que permite recabar y depurar la información necesaria para determinar los parámetros y elementos electrónicos que intervienen en la implementación del prototipo. Se puede apreciar la utilización de sensores, placas desarrolladoras y redes de comunicación que conforman el sistema, teniendo en cuenta que se cumple con el objetivo principal el cual es alertar ante vibraciones que sobrepasan un valor umbral, el cual manifiesta que se ha producido un deslizamiento de tierra. Además, la utilización de tres métodos de alerta, comunicación por GSM y WSN por Bluetooth. El resto de factores climáticos permiten obtener una idea clara del panorama ambiental con lo que para estudios posteriores sea posible establecer un análisis estadístico e inclusive un modelo predictivo; entonces este proyecto es el inicio para otras investigaciones futuras con mayores resultados en rendimiento y capacidad de respuesta [5].

Prototipo de sistema de sensores inalámbricos para alerta temprana de deslaves

El presente trabajo de investigación contiene el diseño, construcción y pruebas de un sistema de monitoreo de deslaves, basado en sensores inalámbricos de una red operando en el protocolo IEEE802.15.4 (ZigBee), esta red está formada de nodos, los cuales realizan mediciones de movimiento e inclinación de zonas de riesgo, información que es transmitida a un nodo principal coordinador que se convertirá en el enlace o Gateway entre la red local ZigBee y la red celular, para alcanzar una central de monitoreo y alerta temprana, el sistema está basado en radios de comunicaciones XBee de Digi International y montados sobre PCB Arduino para controlar los sensores AD XL345 encargados de la medición de variaciones en la gravedad (inclinación) a fin de alertar oportunamente a las autoridades y ciudadanos para tomar medidas de prevención de desastres naturales [6].

B. Metodología

En el desarrollo de la investigación se tiene en cuenta la investigación aplicada, debido a que esta metodología

permite dar una solución factible de un determinado problema enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación, se considera que la investigación aplicada se basa en una necesidad social práctica por resolver, de esta manera cualquier investigación que tenga como objetivo la aplicación de conocimientos o teorías para dar respuesta a un problema o necesidad concreta, será aplicada.

III. RESULTADOS

A. Diseño de la herramienta

Dentro de las buenas prácticas para el desarrollo óptimo del *software*, es necesario realizar modelamiento del sistema, en este caso se utilizó el lenguaje de modelado unificado, UML como herramienta que permitió esbozar el diseño final de la herramienta, como se evidencia en las Fig. 1 y 2, ejemplos de la implementación del modelado de la herramienta tecnológica.

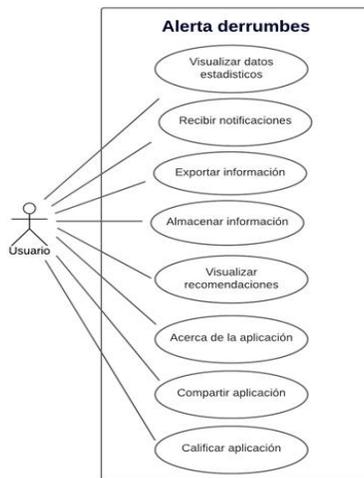


Fig. 1 Casos de uso aplicación móvil.

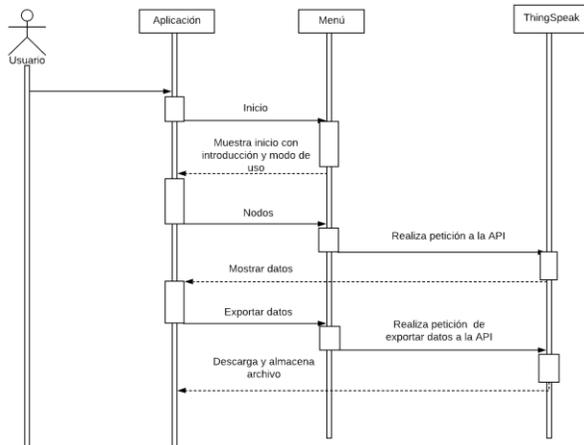


Fig. 2 Diagrama de secuencia aplicación móvil.

Construcción y pruebas de la herramienta:

A partir de la elección de un patrón arquitectónico MVC (modelo vista controlador) y de la utilización de los preceptos de la programación orientada a objetivos mediante el uso del lenguaje Android (ver Fig. 3, 4), se han obtenido los siguientes resultados:



Fig. 3 Construcción aplicación móvil.



Fig. 4 Secciones de la aplicación móvil.

Una vez culminada la construcción y ubicación de materiales, se puede apreciar el resultado final, y al costado la conexión ya establecida.

Esta es la manera como se ve (Fig. 5), al comienzo, la caja, dejando los sensores a medida corta para hacer pruebas de funcionamiento antes de la implementación del tubo donde se van a ubicar los sensores.



Fig. 5 Caja de sensores para el monitoreo.

Una vez se terminan los diseños de cada caja, el paso a seguir es el diseño del tubo para lograr insertar los 6 sensores de humedad correspondientes a cada caja, en este caso es necesario realizar dos orificios por cada sensor; el primer corte para mostrar la salida del sensor y el segundo para realizar la conexión, se repite este paso 6 veces por cada tubo, en las medidas especificadas (10 cm, 30 cm, 60 cm, 90 cm, 120 cm, 150 cm), llevando los cables en el interior del tubo hasta la caja.

Una vez configurados con la aplicación, es posible monitorear cada uno de los nodos, recolectando la información y mostrándola en gráficos como los mostrados en la Fig. 6.



Fig. 6 Resultados del monitoreo de los sensores y nodos.

IV. CONCLUSIONES

Si se tiene en cuenta el mapa y ubicación del sitio de estudio, son de vital importancia las buenas prácticas y decisiones para elegir la distancia a la que se van a comunicar las herramientas.

El desarrollo del aplicativo móvil debe tener un enfoque en especial para el público al cual va dirigido, que sea de fácil manejo y entendible.

El uso de campos experimentales es de gran relevancia, considerando que, como paso inicial, se debe asegurar el correcto funcionamiento de la herramienta antes de usarlo en el campo de estudio.

REFERENCIAS

- [1] A. Campos *et al.*, “Un aporte para la construcción de políticas públicas Banco Mundial Colombia. Coordinadores y editores Fondo Mundial para la Reducción y Recuperación de Desastres”.
- [2] E. P. Castrillón, “Las ciencias básicas en ingeniería de sistemas: justificaciones gnoseológicas desde los objetos de estudio y de conocimiento”, *Rev. Educ. en Ing.*, No. 10, pp. 74–84, 2010, [Online]. Available: <http://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/102>
- [3] R. M. Arias Castañeda and I. L. Nossa Ruiz, “Implementación de red de sensores inalámbricos de bajo costo utilizando protocolo LoRaWAN aplicado al monitoreo de material particulado, monóxido de carbono y dióxido de nitrógeno como indicadores de calidad de aire en exteriores”, p. 170, 2020.
- [4] J. Enciso, D. Porter and X. Péries, “Uso de sensores de humedad en suelo para mejorar el manejo del riego en cultivos de invernadero,” *Mejor. en la Efic. del uso agua y Fertil. en Agric.*, vol. 39, No. 5, pp. 107–132, 2018 [Online]. Available: <https://aglifsciences.tamu.edu/baen/wp-content/uploads/sites/24/2017/01/E-618S-Irrigation-Monitoring-with-Soil-Water-Sensors.-Spanish-Version.pdf>.
- [5] E. P. Córdova Córdova and C. S. Bonilla Sánchez, “Sistema de comunicación mediante WSN para detección y alerta temprana de deslizamientos de tierra”, 2018. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27123>.
- [6] G. X. Chafra Altamirano, C. A. Reinoso Jerez, and H. Miranda Ruiz, “Prototipo de sistema de sensores analámbricos para alerta temprana de deslaves”, *Sathiri*, No. 11, p. 115, 2016, doi: 10.32645/13906925.14.

Capítulo 13. Evaluación del instrumento de planificación hídrica de la Cuenca del río Pauto, Colombia

Evaluation of the water planning instrument of the Pauto river basin, Colombia

Yury Vargas Corredor¹, Mauricio Ruiz-Ochoa^{1,2},
Lina Paola Orduz Amaya¹, Johan Santiago Torres Corredor¹

¹Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Yopal, Colombia

²Unidades Tecnológicas de Santander
Bucaramanga, Santander

yuryvargas@unisangil.edu.co, mruiz@correo.uts.edu.co,
ingambientalyopal@unisangil.edu.co, jtorres@unisangil.edu.co

Palabras clave: Gobernanza ambiental, gestión climática, cuenca hidrográfica.

instrumento a evaluar: Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR), Plan de Acción Trienal (PAT), y Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográfica (POMCA) realizados.

I. INTRODUCCIÓN

En gran parte, los instrumentos de planificación hídrica se enfocan en la administración de la oferta-demanda del caudal existente en las aguas dulces superficiales [1]. Por lo que, muchas veces se realizan inventarios de este recurso, influidos por la población que presiona la cuenca hídrica a través de sus actividades socioeconómicas, las zonas de protección de los bosques en los nacimientos de agua, y las acciones de protección de la cuenca hidrográfica [1-3]. Pero, muy pocas veces se tiene en cuenta la dinámica del clima [4-7]. En este sentido [2] y [8], plantean que para planificar el recurso hídrico el clima debe ser estático, y en función de esto se requiere información climatológica, hidrológica y de calidad del agua, integrada en el contexto de la perspectiva del análisis en la cuenca hidrográfica, con esto, la construcción de herramientas tendientes a soportar modelos y sistemas de producción sustentables basados en una gestión integral del recurso hídrico, tendría un mejor asiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se presenta la evaluación del instrumento de planificación hídrica de la cuenca del río Pauto entre los departamentos de Boyacá y Casanare en Colombia, desde la inclusión de la variabilidad climática natural en sus programas y/o proyectos. Para ello se usó el Índice de Evaluación del Sistema de Gestión (IESG) expuesto por A. Ortiz [8], el cual se adaptó a CORPORINOQUIA como Corporación Autónoma Regional líder en la formulación del

II. METODOLOGÍA

Para los documentos publicados por CORPORINOQUIA referente a PGAR, PAT y POMCA, se siguió la metodología diseñada por A. Ortiz [8], en donde se evaluaron ocho criterios con sus respectivos pesos ponderados (Tabla 1), diferenciados por su naturaleza entre PGAR, PAT y POMCA. Sin embargo, para efectos de este trabajo, se presentan los resultados solo de la cuenca del río Pauto.

TABLA 1. CRITERIOS PARA EVALUAR LOS SISTEMA DE GESTIÓN ACTUAL

No.	Criterios	%	Instrumentos		
			PGAR	PAT	POMCA
1	Impacto (<i>IM</i>)	-	X	X	X
2	Objetivo (<i>OB</i>)	8	X	X	X
3	Actividad (<i>AC</i>)	25		X	X
3	Indicador (<i>IN</i>)	8	X	X	X
4	Meta (<i>ME</i>)	8	X	X	X
5	Riesgo (<i>RI</i>)	15	X	X	X
6	Cobertura (<i>CO</i>)	10	X	X	X
7	Estrategia (<i>ES</i>)	25	X		
8	Variabilidad Climática (<i>VC</i>)	26	X	X	X

%. Corresponde a la ponderación de cada criterio. Fuente [8].

En la Tabla 2, se presentan los criterios evaluados asociados a las calificaciones cualitativas (cuantitativas) asignadas para el POMCA del río Pauto. Es de aclarar que,

para el criterio de impacto este se consideró positivo (+) o negativo (-), razón por la cual, este no fue incluido en dicha tabla.

TABLA 2. CRITERIOS EVALUADOS CON SU RESPECTIVA VALORACIÓN CUALITATIVA (CUANTITATIVA)

OB	AC	IN	ME	RI	CO	VC
R (2)	E (2)	S (5)	A (0)	P (2)	Re (5)	I (2)
Ir (0)	G (0)	D (3) C (1)	IN (2)	Co (0)	L (3) Pu (1)	NI (0)

R: Realizable, Ir: Irrealizable, E: Específica, G: General, S: Seguimiento, D: Desempeño, C: Calidad, A: Alcanzable, IN: Inalcanzable, P: Preventivo, Co: Correctivo, Re: Regional, L: Local, Pu: Puntual, I: Incluye, NI: No incluye.
Fuente: Adaptada de [8].

Para determinar la importancia de los proyectos del POMCA del río Pauto, se utilizó el Índice de Evaluación del Sistema de Gestión (IESG), el cual se muestra en la Ecuación 1:

$$IESG = \pm (OB + AC + IN + ME + RI + CO + VC), (1)$$

donde, OB es el Objetivo, AC es la Actividad, IN es el Indicador, ME expone la Meta, RI es el Riesgo, CO es la Cobertura, y VC es la Variabilidad Climática.

El IESG fue ajustado para obtener valores que oscilan en una unidad entre 0.00 y 1.00 y así obtener un rango de fácil entendimiento. El Índice de Evaluación del Sistema de Gestión Normalizado (IESG_N), se calcula usando la Ecuación 2:

$$IESG_N = \left[\frac{IESG - IESG_{mínimo}}{IESG_{máximo} - IESG_{mínimo}} \right], (2)$$

Donde, IESG es el valor obtenido para cada proyecto valorado, IESG_{mínimo} atañe al valor mínimo y IESG_{máximo} el valor máximo de los IESG dentro del instrumento de planificación valorado. Los rangos de evaluación propuestos se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3. RANGOS DE EVALUACIÓN DEL IESGN Y SU DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Rango	Valoración	Descripción
$0 \leq IESG_N < 0.25$	Crítica	Modificaciones de corto plazo.
$0.25 \leq IESG_N < 0.50$	Severa	Modificaciones de mediano plazo.
$0.50 \leq IESG_N < 0.75$	Moderada	Modificaciones de largo plazo.
$0.75 \leq IESG_N \leq 1.00$	Irrelevante	No requiere modificaciones.

Fuente: Adaptada de [8].

III. RESULTADOS

Para las estrategias sectoriales: 1) *Manejo y calidad del recurso hídrico*, 2) *Fortalecimiento de la estructura ambiental*, 3) *Sensibilización y participación ciudadana*, 4) *Reducción del riesgo y vulnerabilidad ambiental* y 5) *Fortalecimiento institucional de la autoridad ambiental* del POMCA del río Pauto [9], se evaluaron 19 proyectos (Tabla 4). El resultado es que en el 25.0% de los proyectos incluyen la variabilidad climática.

TABLA 4. PROGRAMAS Y PROYECTOS DE LAS ESTRATEGÍAS SECTORIALES SELECCIONADAS

Estrategias sectoriales	Programas	Proyectos	ID
Manejo y calidad del recurso hídrico	Control de la calidad hídrica y uso eficiente del agua	Reglamentación de corrientes hídricas.	PR1
	Agua potable y saneamiento básico	Manejo y disposición de aguas residuales y residuos sólidos.	PR2
		Mejoramiento de captaciones, conducción y distribución de corrientes hídricas para uso agrícola.	PR3
Fortalecimiento de la estructura ambiental	Conservación y manejo de ecosistemas estratégicos y biodiversidad	Reforestación con fines protectores en las márgenes hídricas	PR4
		Establecimiento de viveros comunitarios	PR5
		Reforestación con fines productores - protectores	PR6
		Zoocría de especies amenazadas	PR7
	Conocimiento e investigación de la oferta ambiental	Ampliación de la red hidrometeorológica en la cuenca del Río Pauto	PR8
Conservación y recuperación de áreas abastecedoras de acueductos	Adquisición de predios localizados en ecosistemas estratégicos en la cuenca del río Pauto	PR9	
Sensibilización y participación ciudadana	Gestión y educación para la participación social ambiental	Educación para la formación de conciencia ambiental	PR10
		Satisfacción de servicios públicos y sociales	PR11
		Fortalecimiento de la organización comunitaria	PR12
		Mejoramiento de usos del suelo, generación de empleo, incremento de recursos económicos y seguridad alimentaria	PR13
		Regeneración y fortalecimiento a la producción cafetera	PR14
Proyecto de seguridad alimentaria con manejo integral de granjas orgánicas escolares	PR15		

Reducción del riesgo y vulnerabilidad ambiental	Mitigación de los factores de riesgo	Capacitación en atención y prevención de desastres	PR16
		Estudio de conocimiento de factores de riesgo	PR17
Fortalecimiento institucional de la autoridad ambiental	Fortalecimiento institucional	Fortalecimiento estratégico de la gestión ambiental de Corporinoquia	PR18
		Actualización cartográfica	PR19

Fuente: Elaboración autores.

En función del *IESG_N*, los proyectos *Mejoramiento de captaciones, conducción y distribución de corrientes hídricas para uso agrícola, Satisfacción de servicios públicos y sociales, y Fortalecimiento de la organización comunitaria* obtienen puntajes críticos, siendo el 15.8%. Los mencionados proyectos demandan acciones en el corto plazo, además de actualizarse respondiendo a la dinámica misma de la variabilidad climática (Tabla 5).

TABLA 5. VALORACIÓN DE LOS CRITERIOS EN CADA PROYECTO DEL POMCA DEL RÍO PAUTO

Proyectos	I	OB	AC	ME	IN	RI	CO	VC	IESG	IESG _N
PR1	+	2	0	2	5	2	5	0	1.52	0.31
PR2	+	2	2	2	5	0	3	0	1.52	0.31
PR3	+	2	0	2	5	0	5	0	1.22	0.00
PR4	+	2	2	2	3	0	3	2	1.88	0.69
PR5	+	2	2	2	3	2	5	0	1.86	0.67
PR6	+	2	2	2	3	2	3	2	2.18	1.00
PR7	+	2	2	2	3	2	3	0	1.66	0.46
PR8	+	2	2	2	3	2	1	2	1.98	0.79
PR9	+	2	2	2	3	2	3	0	1.66	0.46
PR10	+	2	2	2	5	2	5	0	2.02	0.83
PR11	+	2	0	2	5	2	3	0	1.32	0.10
PR12	+	2	0	2	5	2	3	0	1.32	0.10
PR13	+	2	2	2	5	0	5	0	1.72	0.52
PR14	+	2	2	2	5	0	3	0	1.52	0.31
PR15	+	2	2	2	3	2	5	0	1.86	0.67
PR16	+	2	0	2	5	2	5	0	1.52	0.31
PR17	+	2	0	2	5	2	5	2	2.04	0.85
PR18	+	2	2	2	5	2	5	0	2.02	0.83
PR19	+	2	2	2	3	2	5	0	1.86	0.67

I: Impacto, OB: Objetivo, AC: Actividad, ME: Meta, IN: Indicador, RI: Riesgo, CO: Cobertura, VC: Variabilidad Climática, IN: Inalcanzable, P: Preventivo, Co: Correctivo, Re: Regional, L: Local, Pu: Puntual, I: Incluye, NI: No incluye.

Adicionalmente, seis proyectos representan el 31.6% con valoración severa, los cuales no involucran la variabilidad climática y la mayoría tiene una cobertura local (Tabla 5). Entre los demás proyectos (52.6%) solo cuatro de ellos (*Reforestación con fines protectores en las márgenes hídricas, Reforestación con fines productores - protectores, Ampliación de la red hidrometeorológica en la cuenca del Río pauto y Estudio de conocimiento de factores de riesgo*), contemplan la variabilidad climática en sus acciones, sin embargo, para aquellos que no incluyen la variabilidad climática, es posible realizar modificaciones en lapsos de tiempo mayor. Con esta evaluación, las

corporaciones autónomas regionales dentro de su autonomía tendrían criterios fundamentados para decidir frente a la priorización de los proyectos. Incluso, es válido recordar que la priorización dada por el *IESG_N* es solo posicional y no constituye una obligación en la implementación de los proyectos.

Con lo arrojado por la evaluación y considerando que en la cuenca se han implementado estrategias para mejorar la gestión del recurso hídrico, se evidencia que existe una gran tendencia desde diversos sectores a enfocarse en el apropiado uso del agua [3]. Sin embargo, la dinámica natural de la variabilidad climática y su influencia sobre la calidad y cantidad de agua en determinada región, es un eje poco abordado. En este trabajo sobresalen ventajas a partir del uso efectivo del *IESG*, como son: la ayuda para tomar decisiones en función del contexto de cada cuenca, y que esto a su vez contribuya a una mejor planificación de los territorios.

IV. CONCLUSIONES

El Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Pauto, cumple con los objetivos dentro del medio abiótico, explícitamente del componente hidrológico para la región, pero no responde a la variabilidad climática natural, aún siendo este un eje apropiado en la construcción de procesos, donde la meta principal es preservar y hacer una gestión integral del recurso hídrico.

En un 75.0% los proyectos del POMCA del río Pauto, correspondientes a las 5 estrategias sectoriales 1) *Manejo y calidad del recurso hídrico*, 2) *Fortalecimiento de la estructura ambiental*, 3) *Sensibilización y participación ciudadana*, 4) *Reducción del riesgo y vulnerabilidad ambiental* y 5) *Fortalecimiento institucional de la autoridad ambiental*, requieren ser revisados desde una gestión hídrica basada en la dinámica natural del clima que permita tomar decisiones en función del contexto de la cuenca y mediante el correcto y oportuno uso del *IESG*.

REFERENCIAS

- [1] J. P. Rodríguez, S. J. Bolaños and C. A. García, “Software engineering as a vehicle for water resources environmental planning”, *Tecnura*, vol. 18, No. (spe), pp. 150-159, 2014.
- [2] J. P. Rodríguez, C. A. García and M. Ruiz-Ochoa, “Integration of the stationality climate variability to a model of hidric environmental planning”, *International Journal of ChemTech Research*, vol. 9, No. 12, pp. 278-284, 2016.
- [3] J. H. Rojas-Padilla, M. A. Pérez-Rincón, T. F. Malheiros, C. A. Madera-Parra, M. Guimarães Prota and R. Dos Santos, “Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Suramérica: los casos de Brasil y Colombia”, *Ambi & Agua, Taubaté*, vol. 8, No. 1, pp. 73-97, 2013.
- [4] J. Pabón, J. Eslava and R. Gómez, “Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia”, *Meteorología Colombiana*, vol. 4, pp. 47-59, 2001

- [5] G. Poveda, “La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna”, *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 38, No. 107, pp. 202-208, 2004.
- [6] M. C. García, A. Piñeros-Botero, F. A. Bernal-Quiroga and E. Ardila-Robles, “Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia”, *Revista de Ingeniería*, vol. 36, pp. 60-64, 2012.
- [7] D. Álzate, E. Rojas, J. Mosquera and J. Ramón, “Cambio climático y variabilidad climática para el período 1981-2010 en las cuencas de los ríos Zulia y Pamplonita, Norte de Santander, Colombia”, *Revista Luna Azul*, vol. 40, pp. 127-153, 2015.
- [8] A. Ortiz, “Patrones de variabilidad climática asociados a los sistemas de gestión hídrica, subcuenca del río de Oro”, Maestría en Ciencias y Tecnologías Ambientales. Facultad de Química Ambiental. Universidad Santo Tomás, 123, p. 2016.
- [9] Corporación Autónoma de la Orinoquía, “Capítulo 12 Formulación Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Pauto”, Colombia, 178 p. 2008.

Capítulo 14. Remediación de hidrocarburos a través de humedales construidos de flujo vertical

Remediation of hydrocarbons through constructed wetlands of vertical flow

Miguel Casallas-Ojeda¹, Nelsi Johanna Gutiérrez¹, John Jairo Sandoval-Cobo², Victoria Eugenia Vallejo¹

¹Universidad Central, Bogotá Colombia

²Consultor Ambiental

mcasallaso1@ucentral.edu.co, ngutierrezr1@ucentral.edu.co, zaratustra70@hotmail.com,
evallejoq@ucentral.edu.co

Palabras clave: Biorremediación, humedales construidos, fenantreno.

I. INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son de interés ambiental y son considerados por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos y la Comunidad Europea como contaminantes prioritarios dada su alta toxicidad, esta última derivada de sus propiedades mutagénicas, teratogénicas y carcinogénicas [1]. La mayoría de estos compuestos son altamente persistentes en los ecosistemas en formas químicas poco alteradas y no fácilmente degradables debido a su baja solubilidad en agua, estabilidad química y recalcitrancia [2]. Si bien estos se generan a partir de actividades naturales (biogénicas y geoquímicas), la fuente principal de HAP son actividades antropogénicas (i.e. combustión incompleta de combustibles fósiles, materia orgánica y biomasa o procesos de pirolisis).

Estudios de biorremediación de HAP en suelos y aguas han hecho especial énfasis en la investigación de técnicas que promuevan la acción degradante microbiana y el potencial que tienen ciertas plantas y sustratos para degradar y remover HAP, al tiempo que se disminuye su efecto contaminante [3]. El uso de humedales construidos ha sido identificado como una estrategia de biorremediación de HAP adecuada, ya que integra procesos físicos y microbiológicos claves en su remoción [4-7]. A pesar de muchos estudios y aplicaciones encontradas en la literatura los procesos y mecanismos involucrados no han sido comprendidos en su totalidad [8, 9]. Esto hace esencial que las investigaciones al respecto se adelanten considerando estos factores y su interacción bajo las condiciones ambientales propias del sistema objeto de estudio.

El propósito del presente estudio fue investigar alternativas de biorremediación efectivas y económicas para el tratamiento de suelos efluentes contaminados con HPA mediante humedales construidos (HC) y contribuir al entendimiento de los principales procesos que los controlan. Se evaluó la remoción de HPA de humedales construidos de flujo vertical (HCFV) a escala de laboratorio alimentados con un agua residual artificial preparada empleando fenantreno (HAP de mayor incidencia y distribución en el ambiente). El estudio se desarrolló en dos fases experimentales durante las cuales se monitorearon parámetros fisicoquímicos y microbiológicos indicativos del estado y dinámicas de degradación dentro de las unidades de estudio.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto comprendió etapas de diseño, montaje y operación de biorreactores que simulan el funcionamiento de HC de flujo vertical, consistentes en cilindros fabricados en PVC adaptados con un sistema de drenaje y relleno con diferentes sustratos porosos de distinta granulometría (Fig. 1). Los sistemas tuvieron una altura de 0.75 m y contaron con 4 pulgadas de diámetro, rellenos con un medio de soporte de 0.48 m cuya composición consistió en una capa inferior de grava gruesa (30-60 mm de diámetro) de 0.15 m, una capa intermedia de grava mediana (5-10 mm) de 0.10 m, una tercera de 0.15 m conformada por grava pequeña (1.2-5 mm) y una capa superficial de arena fina de 0.08 m.

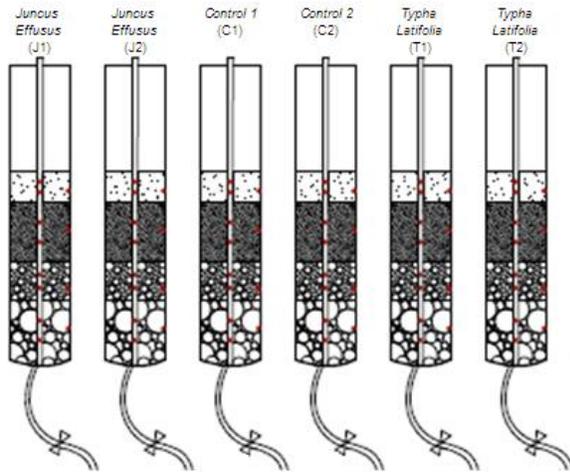


Fig. 1. Montaje experimental usado en la investigación. Se muestran los humedales sembrados con *Juncus Effusus* (J1 y J2), *Typha Latifolia* (T1 y T2) y sin vegetación (C1 y C2).

Las especies vegetales *Typha Latifolia* y *Juncus Effusus* se recolectaron de los humedales Santa María del Lago y El Salitre en Bogotá. Estas macrófitas, han sido ampliamente utilizadas en humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales [10,11]. Antes de la siembra las plantas fueron mantenidas en agua y sedimentos tomados de los mismos humedales de origen, y se les agregó fertilizante Irricol inicio® a una concentración de 4 g/L. Los humedales operaron en modo discontinuo con períodos intermitentes de llenado y vaciado de 2 días de duración. En dos de los seis biorreactores fueron sembradas dos plántulas de junco bogotano por cada biorreactor, para otras dos unidades se hizo lo mismo, pero empleando plántulas de *Typha*, y los dos restantes se operaron sin vegetación. Cada sistema tuvo una réplica y los tratamientos fueron evaluados durante dos etapas experimentales de un mes y medio de duración cada una.

Las concentraciones de fenantreno evaluadas fueron de 0.002 y 0.008 g/L para la primera y segunda fase, respectivamente, y fueron establecidas con base en valores de referencia usados como criterios para definir acciones de remediación en suelos y aguas contaminadas con HAP [12]. El monitoreo comprendió la medición semanal de parámetros puntuales (temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto (OD)) medidos en el efluente drenado de cada biorreactor. Igual procedimiento se siguió al inicio y final de cada etapa experimental para el análisis de HAP, tomando alícuotas que fueron almacenadas en botellas ámbar, refrigeradas a 4 °C y con ajuste de pH (pH < 2) para luego ser llevadas a su análisis mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (FID). Finalmente, se cuantificó la fracción cultivable de heterótrofos mediante recuentos en placa por siembra en

profundidad en muestras compuestas por agua del efluente y una fracción de sustrato extraído de la parte superior de cada biorreactor.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El pH fue de carácter neutro durante las dos fases experimentales, con un leve descenso hacia el inicio y final de la experimentación (Fig. 1, superior). Dicho descenso pudo deberse a la formación de compuestos ácidos indicadores de la actividad degradadora microbiana, así como la liberación de metabolitos resultantes de procesos de rizodegradación del contaminante [13]. La temperatura en los biorreactores varió entre los 19.9 – 20.4 °C y los 17.0 – 18.0 °C para la primera y segunda etapa experimental, respectivamente. Estos valores son cercanos a los reportados como óptimos para procesos de biorremediación en humedales y sistemas naturales [8,14]. Una vez iniciada la adición del contaminante el OD se redujo paulatinamente, desde valores promedio de 5 mg/L hasta lecturas por debajo de los 3 mg/L (Fig. 1, inferior). De esta forma, se puede inferir que los sistemas tuvieron una tendencia hacia condiciones anaerobias, lo cual sugiere que a pesar del aporte extra de oxígeno de las plantas y el diseño mismo de los biorreactores el consumo por parte de los microorganismos fue lo suficientemente alto como para agotar el oxígeno disponible en el medio.

Los seis humedales presentaron gran densidad de microorganismos heterótrofos a lo largo de la experimentación (tabla 1). En la primera etapa los tratamientos presentaron densidades poblacionales entre $3,0 \times 10^5$ a 3×10^{12} UFC/ml, para la segunda la segunda las poblaciones oscilaron entre $3,0 \times 10^5$ y 3×10^{12} UFC/mL. Aun cuando las poblaciones fluctuaron durante el estudio, especialmente después de la primera adición del contaminante donde se redujeron hasta valores de $3,6 \times 10^7$ UFC/mL, las densidades se mantuvieron estables evidenciando que los microorganismos tuvieron la capacidad de vivir en presencia del fenantreno.

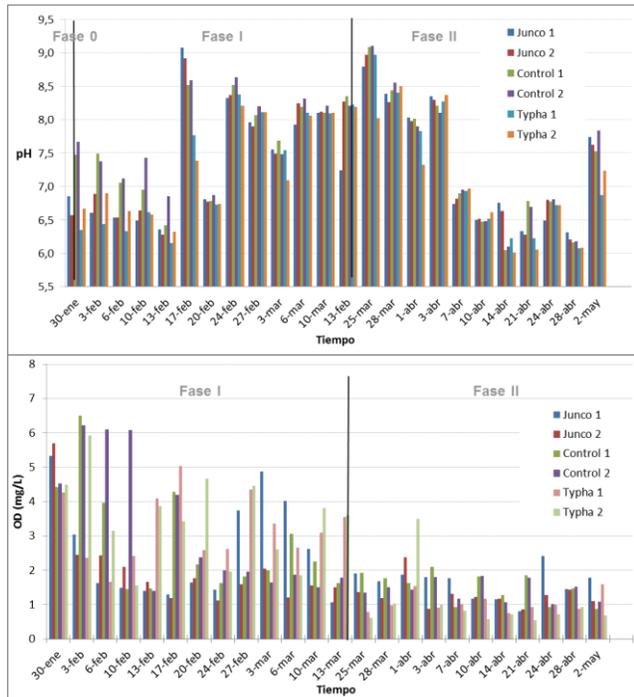


Fig. 2 Comportamiento del pH (arriba) y oxígeno disuelto (abajo) durante la experimentación.

Es posible igualmente que la adición del fertilizante haya suministrado condiciones para el crecimiento de las poblaciones bacterianas. La remoción de fenantreno en todas las unidades fue significativa, resultando en porcentajes de remoción por encima del 90% en todas las unidades a lo largo del estudio (tabla 2). Aunque no se observaron diferencias significativas en remoción del HAP entre los sistemas plantados y sin vegetación, los HCFV sembrados con junco tuvieron las mayores eficiencias lo cual pudo deberse a procesos de rizodegradación potenciados por un suministro adicional de O₂ a la zona radicular, tal como se ha reportado en otros estudios [11,15].

TABLA 1. RECUENTO DE MICROORGANISMOS HETERÓTROFOS EN HUMEDALES VERTICALES

Etapa	Recuento heterótrofos (UFC/ml)	Junco 1	Junco 2	Control 1	Control 2	Typha 1	Typha 2
Etapa I	máximo	3,0E+12	3,0E+12	3,0E+12	3,0E+12	3,0E+12	3,0E+12
	mínimo	3,6E+07	3,0E+08	3,0E+05	3,0E+05	3,0E+08	1,1E+07
Etapa II	máximo	3,0E+12	3,0E+10	3,0E+12	3,0E+12	3,0E+12	3,0E+12
	mínimo	3,1E+09	3,2E+09	1,9E+09	1,8E+11	2,4E+09	3,0E+05

TABLA 2. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE FENANTRENO EN HUMEDALES VERTICALES

		Junco 1	Junco 2	Control 1	Control 2	Typha 1	Typha 2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Fase I	Inicio	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96
	Fin	96,80	97,75	96,05	94,20	90,80	97,10
Fase II	Inicio	98,84	99,20	99,20	96,50	97,53	99,75
	Fin	99,19	99,25	97,98	92,49	99,04	98,80

Durante todo el estudio las plantas mostraron una buena adaptación frente al contaminante, y aunque después de las primeras adiciones de contaminante algunas hojas y tallos mostraron síntomas de marchites, al cabo de unos días hubo recuperación y crecimiento de ambas especies.

IV. CONCLUSIÓN

Los HCFV mostraron ser sistemas efectivos para la remoción de fenantreno a concentraciones lo suficientemente elevadas para necesitar acciones de remediación en suelos y efluentes contaminados con HAP. Tanto las unidades sembradas como las no plantadas arrojaron altos porcentajes de remoción del contaminante al tiempo que exhibían altas densidades de microorganismos mesófilos y una buena adaptación de las plántulas de *Juncus effusus* y *Typha latifolia* usadas. Estas especies, propias de humedales de la sabana de Bogotá, muestran el potencial biorremediador que plantas nativas de la región tienen para el tratamiento de la contaminación por hidrocarburos de alto interés ambiental como los HAP.

REFERENCIAS

- Andreoni, V. & Gianfreda, L. Bioremediation and monitoring of aromatic-polluted habitats. *Applied microbiology and biotechnology*, 76(2), 287-308 (2007).
- Bamforth, S. M. & Singleton, I. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. *Journal of Chemical Technology Biotechnology*, 80(7), 723-736 (2005).
- Huang, X.-D., El-Alawi, Y., Penrose, D. M., Glick, B. R. & Greenberg, B. M. A multi-process phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils. *Environmental pollution* (Barking, Essex: 1987), 130(3), 465-76 (2004).
- Antizar-Ladislao, B., Lopez-Real, J. & Beck, A. J. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in an aged coal-tar-contaminated soil using different in-vessel composting approaches. *Journal of hazardous materials*, 137(3), 1583-8 (2006).
- Fountoulakis, M. S., Terzakis, S., Kalogerakis, N. & Manios, T. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons and linear alkylbenzene sulfonates from domestic wastewater in pilot constructed wetlands and a gravel filter. *Ecological Engineering*, 35(12), 1702-1709 (2009).
- Giraud, F., Guiraud, P., Kadri, M., Blake, G. & Steiman, R. Biodegradation of Anthracene and Fluoranthene by Fungi Isolated from an Experimental Constructed Wetland for Wastewater Treatment. *Water Research*, 35(17), 4126-4136 (2001).

- [7] Machate, T., Noll, H., Behrens, H. & Kettrup, A. Degradation of phenanthrene and hydraulic characteristics in a constructed wetland. *Water Research*, 31(3), 554-560 (1997).
- [8] Eke, P. E. Hydrocarbon removal with constructed wetlands (Doctoral dissertation, University of Edinburgh) (2008).
- [9] Sandoval, J. J. & Peña, M. Performance Analysis of SSF Wetlands in Tropical Regions based on First Order Kinetic Models for the Removal of Organic Matter. 2nd International Symposium on Wetland Pollutant Dynamics and Control. *WETPOL 2007*, vol. 1 (pp. 268-270). Tartu, Estonia (2007).
- [10] Scholz, M. Wetland systems to control urban runoff. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands (2006).
- [11] Stottmeister, U., Wießner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kästner, M., Bederski, O., Müller, R. & Moormann, H. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances*. 22, 93-117 (2003).
- [12] Wilson, S. & Jones, K. Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. *Environmental pollution*, 81(3), 229-249 (1993).
- [13] Haritash, A. K. & Kaushik, C. P. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. *Journal of hazardous materials*, 169(1-3), 1-15 (2009).
- [14] Gómez, M., Vivas, L., Ruiz, R., Reyes, V. & Hurtado, C. Bacterias marinas nativas degradadoras de compuestos orgánicos persistentes en Colombia. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR- Santa Marta. p. 32 (Serie de publicaciones generales No. 19) (2006).
- [15] Wießner, A., Kusch, P. & Stottmeister, U. Oxygen release by roots of *Typha latifolia* and *Juncus effusus* in laboratory hydroponic systems. *Acta Biotechnologica*, 22(1-2), 209-216 (2002).

Capítulo 15. Uso de herramientas bibliométricas y multicriterio (AHP) para la toma de decisiones. Caso de estudio -selección de co-sustrato para compost de residuos orgánicos-

Use of bibliometric and multicriteria (AHP) tools for decision making. Case study - selection of co-substrate for compost of organic waste-

Víctor Augusto Lizcano Sandoval¹, Johan Santiago Torres Corredor¹, Sahra Nathalíe Rincón Rincón¹, Kimberly Patricia Montañez Medina²

¹Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Yopal, Colombia

²Universidad de Lund
Lund, Suecia

vlizcano@unisangil.edu.co, jtorres@unisangil.edu.co, srincon@unisangil.edu.co,
ki1433mo-s@student.lu.se

Palabras clave: AHP, bibliometría, *compost*, co-sustrato.

I. INTRODUCCIÓN

Las herramientas de análisis multicriterio (AMC) se componen de un conjunto de métodos cuyo objetivo es facilitar la toma de decisiones en cualquier área del conocimiento [1]. Esta clase de técnicas se caracterizan por ser objetivas, explícitas y abiertas a cualquier tipo de análisis o cambio de puntos de vista que afecten la decisión.

Cada decisión a tomar requiere disponer y conocer a fondo la información existente sobre cada una de las posibles alternativas que podrían dar solución a un problema en cuestión. Para identificar el grado de importancia entre cada alternativa por escoger, se establecen criterios de decisión, los cuales determinan los parámetros que resultan relevantes para resolver el problema [2].

Un aspecto importante en los métodos AMC es la asignación de ponderaciones a los criterios. Por ejemplo, en métodos de AMC como los procesos de análisis jerárquico (AHP), las ponderaciones se realizan a través de matrices de rendimiento. En este tipo de matrices, se asignan niveles ranqueados en una escala numérica de 1 a 9 [3]. Cada una de estas valoraciones representa una calificación de preferencia de una alternativa frente a otra. Las calificaciones de preferencia asignadas deben ir

vinculadas a cada criterio que hayan establecido los tomadores de decisión [2] [4].

Por otro lado, el compostaje de residuos orgánicos (RO), comprende un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos encaminados a transformar la materia orgánica en humus. El *compost* contribuye a la estabilización, permeabilización y al aporte de carbono y nutrientes a los suelos [5] [7].

Algunas características como el contenido de carbono y nitrógeno en el *compost* pueden ser potencializados mediante el uso de enmiendas o co-sustratos. Realizar una correcta selección de co-sustratos requiere considerar diversos criterios que se adapten a un entorno o locación y que sean respaldados por el estado del arte. Con el uso de métodos bibliométricos o de vigilancia tecnológica se pueden explorar diferentes tipos de alternativas de co-sustratos que pueden ser adicionados al *compost* de residuos orgánicos y las técnicas que son tendencia para generarlos [8]. Aunado a lo anterior, métodos como el AHP se pueden combinar con los análisis bibliométricos para facilitar la priorización de alternativas ofrecidas.

El uso de herramientas bibliométricas y multicriterio, aplicadas a casos de estudio para la selección de co-sustratos, facilitan la toma de decisiones, ajustando cada alternativa a las características socioeconómicas y ambientales de una región específica. El propósito de este estudio fue evaluar el uso de herramientas bibliométricas y

de multicriterio (AHP) para seleccionar un co-sustrato para el *compost* de residuos orgánicos, para ello se consideró como caso de estudio el departamento del Casanare, Colombia.

II. MÉTODOS

A. Análisis bibliométrico para la identificación de co-sustratos

El período de tiempo analizado incluyó artículos publicados en los últimos cinco años (2017-2021). Para ello se escanearon bases de datos (BBDD) como Web of Science (WoS) y Scopus, y se analizaron empleando VOSViewer (versión 1.6.17) como herramienta bibliométrica.

La ecuación de búsqueda empleada durante el proceso de vigilancia tecnológica se centró en el uso de las siguientes palabras clave y operadores booleanos: “Municipal biowaste” and “Composting” and “Amendment” and “Soil”. La información recopilada permitió definir tendencias de investigación en tópicos asociados al estudio de los residuos orgánicos como sustrato.

Para registrar la información relevante de los documentos seleccionados como autores, título, palabras clave, año de publicación, revista, sustrato y co-sustrato utilizado, condiciones operativas, parámetros de la pila de *compost*, proporción de mezcla, frecuencia de volteo, entre otros, se empleó el *software* Excel®.

B. Análisis multicriterio para la selección del co-sustrato

Para la selección de un co-sustrato que pueda emplearse como complemento al compostaje de RO se utilizó el método AHP. Como caso de estudio se consideró el departamento del Casanare (Colombia).

Los elementos considerados en este estudio contemplaron seis alternativas y cuatro criterios. Como alternativas al co-sustrato se compararon: cenizas de RO (A1), cascarilla de arroz (A2), aserrín (A3), bagazo y cachaza de caña de azúcar (A4), vástagos de poda (A5) y heno de alfalfa (A6). Por su parte, los criterios empleados para contribuir a cada alternativa mencionada fueron el costo (C1), la disponibilidad (C2), el aporte de nutrientes como nitrógeno y fósforo (C3) y el aporte de carbono del co-sustrato (C4). Cada alternativa fue seleccionada teniendo en cuenta la co-ocurrencia de palabras clave resultado del anterior ítem. Los C1 y C2 fueron evaluados para el contexto del departamento de Casanare.

Para emitir los juicios comparativos entre cada criterio y alternativa se empleó la escala de preferencias mostrada en la Tabla 1.

TABLA 1. ESCALA DE CALIFICACIONES DE PREFERENCIAS

Descriptor	Calificación
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente, preferible	1

Para determinar si el nivel de consistencia de las calificaciones asignadas a los criterios y alternativas es admisible o no, se estimó la razón de consistencia (RC) descrita por Saaty [3] y Berumen y Llamazares [1]. La selección final del co-sustrato consistió en la estimación del valor máximo obtenido del producto entre la matriz de pesos de cada alternativa y la matriz de pesos de cada criterio.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la exploración de información científica, teniendo en cuenta la ecuación de búsqueda en el período 2017-2022, se encontraron un total de 52 artículos, de los cuales ocho fueron descartados al estar duplicados o no indexados. Los 44 restantes fueron validados y depurados por contenido obteniendo un total de 25 artículos científicos seleccionados.

El análisis con VOSviewer (v. 1.6.17) permitió identificar cinco ejes temáticos, siendo *composting*, *compost* y *organic waste* las tres palabras clave de mayor ocurrencia asociadas al criterio de búsqueda. En la Fig. 1 se presenta la relación entre los ejes temáticos y los tópicos dentro de cada uno de ellos por medio de un mapa de calor.

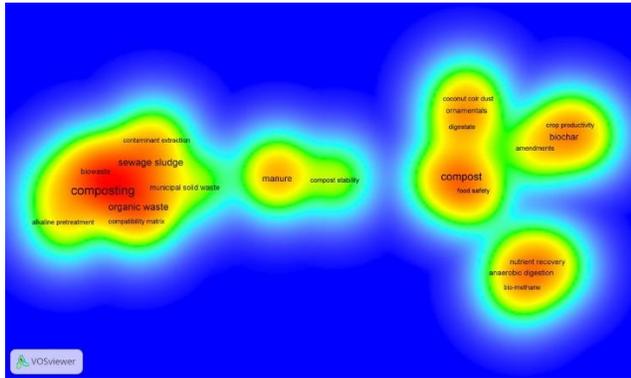


Fig. 1 Mapa de calor de palabras clave.

Con base en la información obtenida en cada uno de los artículos filtrados a través del uso de la herramienta bibliométrica, se identificaron las siguientes alternativas: A1, A2, A3, A4 y A5. Dentro de los 44 artículos evaluados, estas alternativas presentaron modas (en el contenido de las palabras clave) iguales o mayores a tres, las cuales fueron consideradas como una posible opción para la zona de estudio considerada.

De acuerdo con los resultados obtenidos por el método AHP, la alternativa de co-sustrato que mejor satisface los criterios establecidos son las cenizas de RO y los vástagos provenientes de podas (Fig. 2). Estas alternativas cuentan con alto contenido de nutrientes y de carbono, además de presentar un menor precio y fácil adquisición en el departamento de Casanare.

Si bien A1 y A5 obtuvieron la mayor calificación, hay que considerar que criterios como el C1 y C2 ranquearon en la tercera y cuarta posición a las alternativas A2 y A6 (con una diferencia de 0.02 en sus ponderaciones), las cuales representan una opción más rápida como alternativa de co-sustrato aplicada a procesos de compostaje en el departamento del Casanare. Los aspectos que más influyeron en el ranqueo de cada una de las alternativas (A2 y A6) estuvieron relacionadas con el ponderado que se asignó a cada matriz de alternativas y en la inclusión de otros criterios como el tiempo de compostaje.

El uso de herramientas de vigilancia tecnológica como el *software* VOSviewer y de técnicas de análisis multicriterio como el AHP, favorecen la toma de decisiones encaminadas a fortalecer el desarrollo de procesos de compostaje, representa una opción positiva para transformar y reducir RO provenientes del uso doméstico e institucional en productos de uso agrícola [9]. Con base en los resultados reportados en la Fig. 2, co-sustratos como A1, A5, A6 y A2 representan alternativas viables para la generación de *compost* en el contexto regional de la zona de estudio considerada.

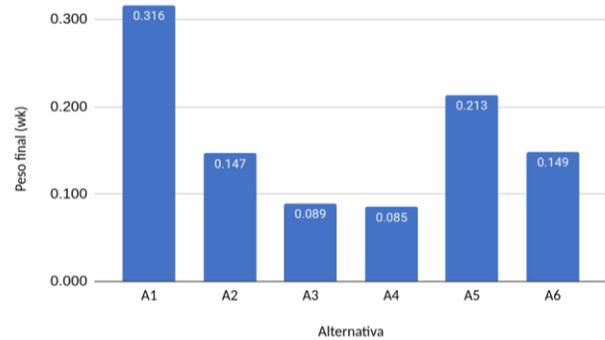


Fig. 2 Calificación global de cada alternativa de co-sustrato con relación a los criterios asignados.

Por otra parte, las alternativas A3 y A4 mostraron la calificación más baja como opción de co-sustrato, a pesar de ser buenos aportantes de carbono. Esto se debió a la incidencia desfavorable en costo, disponibilidad y nutrientes.

Un aspecto relevante en los métodos AMC es el número de criterios a definir. En este estudio se asignaron criterios (C1, C2, C3 y C4) para selección de co-sustratos que suplieran deficiencias en componentes como carbono, nitrógeno y fósforo, bajo las condiciones socioeconómicas de un contexto regional específico. Esto trajo a que se obviarán otros criterios como el tiempo de compostaje y proporción de mezcla del co-sustrato, los cuales son factores condicionantes para la producción de *compost* a escalas industriales.

Por último, otras alternativas de co-sustrato, aunque menormente investigadas en los artículos filtrados a través del análisis bibliométrico fueron el estiércol de animales, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, cortezas de pino, entre otros, que podrán ser consideradas en estudios posteriores [11] [12].

IV. CONCLUSIONES

La herramienta bibliométrica VOSviewer (versión 1.6.17) permitió identificar y analizar las principales tendencias en el campo del aprovechamiento de residuos orgánicos y de co-sustratos como potencializadores de las características físico-químicas del *compost*. El resultado de este análisis, junto con el método AHP, da soporte para la elección de la mejor alternativa de co-sustrato, en donde se tienen en cuenta criterios como el costo, la disponibilidad, el aporte de nutrientes y carbono. No obstante, es preciso tener en cuenta las particularidades del área de estudio, pues estas condicionarán la disponibilidad de residuos para la elaboración del producto final.

REFERENCIAS

- [1] S. A. Berumen y F. Llamazares Redondo, “La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente”, *Cuad. Adm.*, vol. 20, No. 34, pp. 65-87, 2007.
- [2] DCLG, “Multi-criteria analysis: a manual”, London, 2009.
- [3] T. L. Saaty, “The Analytic Hierarchy Process: Decision Making in Complex Environments”, en *Quantitative Assessment in Arms Control*, Boston, MA: Springer US, 1984.
- [4] K. M. Al y -Subhi Al-Harbi, “Application of the AHP in project management”, Accedido: oct. 11, 2021. [En línea]. Disponible en: www.elsevier.com/locate/ijproman.
- [5] I. Angin, E. L. Aksakal, T. Oztas, y A. Hanay, “Effects of municipal solid waste compost (MSWC) application on certain physical properties of soils subjected to freeze-thaw”, *Soil Tillage Res.*, vol. 130, pp. 58-61, jun. 2013, doi: 10.1016/J.STILL.2013.02.009.
- [6] R. M. A. Machado, I. Alves-Pereira, M. Robalo y R. Ferreira, “Effects of Municipal Solid Waste Compost Supplemented with Inorganic Nitrogen on Physicochemical Soil Characteristics, Plant Growth, Nitrate Content, and Antioxidant Activity in Spinach”, *Horticulturae*, vol. 7, No. 53, pp. 1-17, 2021, doi: 10.3390/horticulturae7030053.
- [7] M. Sardarmehni, J. W. Levis y M. A. Barlaz, “What Is the Best End Use for Compost Derived from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste?”, *Cite This Environ. Sci. Technol.*, vol. 55, pp. 73-81, 2021, doi: 10.1021/acs.est.0c04997.
- [8] S. Wong *et al.*, “Emerging trends in municipal solid waste incineration ashes research: a bibliometric analysis from 1994 to 2018”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 27, No. 8, mar. 2020, doi: 10.1007/s11356-020-07933-y.
- [9] A. Bonoli, S. Zanni y E. Awere, “Organic waste composting and sustainability in low-income communities in Palestine: lessons from a pilot project in the village of Al Jalameh, Jenin”, *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.*, vol. 8, pp. 253-262, 2019, doi: 10.1007/s40093-019-0264-8.
- [10] J. Soto-Paz *et al.*, “A Multi-criteria Decision Analysis of Co-substrate Selection to Improve Biowaste Composting: a Mathematical Model Applied to Colombia”, *Environ. Process.*, vol. 6, No. 3, sep. 2019, doi: 10.1007/s40710-019-00387-6.
- [11] C. Asquer *et al.*, “Biomass ash characterisation for reuse as additive in composting process”, *Biomass and Bioenergy*, vol. 123, abr. 2019, doi: 10.1016/j.biombioe.2019.03.001.
- [12] C. Asquer, G. Cappai, G. De Gioannis, A. Muntoni, M. Piredda y D. Spiga, “Biomass ash reutilisation as an additive in the composting process of organic fraction of municipal solid waste”, *Waste Manag.*, vol. 69, nov. 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.08.009.

Capítulo 16. Distribución espacial y densidad aparente del suelo en la microcuenca río Tocaría Nunchía (Casanare)

Spatial distribution bulk density of soil in the Tocaria Nunchía river micro-basin (Casanare)

Laura Victoria Anzoátegui González, Johan Santiago Torres Corredor, Doris Carmiña Ruiz Ramírez.

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Yopal, Colombia

lanzoategui@unisangil.edu.co, jtorres@unisangil.edu.co

Palabras clave: Sistema de Información Geográfica, física de suelos, agricultura de precisión.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo se pierden 36 hectáreas por minuto y muchas de ellas con daños irreversibles [1], lo que implica un impacto directo en la seguridad alimentaria de los países, al ser un componente de suministro de nutrientes esenciales para las plantas y de su capacidad para funcionar como un sistema vivo [2].

Dentro del manejo integrado de los suelos y las relaciones entre variables que conciernen a la física de suelos, tales como textura, color, estructura, densidad aparente permiten, de manera específica, tomar decisiones eficientes de adecuación que, acompañadas con herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG), brindan una mayor precisión en la zonificación de áreas y puntos críticos a intervenir [3] [4].

La densidad aparente (D_a) definida como la relación entre la masa de los sólidos y el volumen total que estos ocupan [5], cuyos valores oscilan entre 1.0 g/cm^3 hasta 1.8 g/cm^3 , es decir, valores bajos son asociados con condiciones ideales para el establecimiento de cultivos en razón al espacio poroso, conductividad térmica, compactación y resistencia a la compactación [6] [7].

Novillo *et al.* [8], en su investigación referente a D_a , según el tipo de cultivos, halló que en monocultivos, en especial perennes presentaron alteraciones en propiedades físicas por compactación y ejercen un efecto directo con valores altos de D_a ; por su parte Valencia *et al.* [9], en estudios sobre impactos de transformación de coberturas vegetales y uso de suelo para el ecosistema de alta montaña, concluye que la riqueza de especies nativas se ve afectada por el

cambio en el uso de suelo con mosaicos de pastos y cultivos, creando alteraciones en la porosidad de suelo, estructura y D_a , incurriendo en pérdida de funcionalidad ecosistémica.

Los sistemas de información geográfica facilitan análisis estadísticos sobre un área de estudio, denominada también geoestadística, que permite identificar la interrelación entre variables, a partir de valores conocidos, que permite identificar la dependencia o no de las observaciones [12][10] [11]. Entre los métodos geoestadísticos frecuentemente empleados se encuentra IDW (Ponderación del Inverso de la Distancia) que permite interpolaciones en función de las distancias entre puntos. Seguido por Kriging que admite realizar correlaciones entre modelos estadísticos, se complementa con variogramas para análisis estadístico de los datos en un área muestreada [13] [14] [15].

Grosso *et al.* [16], implementado el método Kriging, determinó zonas de mayor compactación y su correlación con valores altos de densidad aparente entre 1.20 g/cm^3 y 1.41 g/cm^3 para definición de manejos agronómicos; así mismo, Álvarez *et al.* [10], concluyen que las propiedades físicas como porosidad, infiltración y densidad de la zona de estudio fueron impactadas negativamente a causa de ganadería intensiva, creando mayor compactación del suelo.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación consistió en evaluar la distribución de la densidad aparente en la parte media de la cuenca del río Tocaría (Casanare), para generar un aporte en la definición de planes de manejo eficientes.

II. METODOLOGÍA

La investigación se realizó en el Municipio de Nunchía (Casanare), parte media de la cuenca del río Tocaría. La zona se encuentra a una altitud de 380 msnm; con latitud 05°38'09" Norte y longitud 73°07'15" Oeste, temperatura promedio anual de 28 °C y humedad relativa 82% (Fig. 1). Los análisis de laboratorio se realizaron en el laboratorio de suelos de UNISANGIL, Sede Yopal.

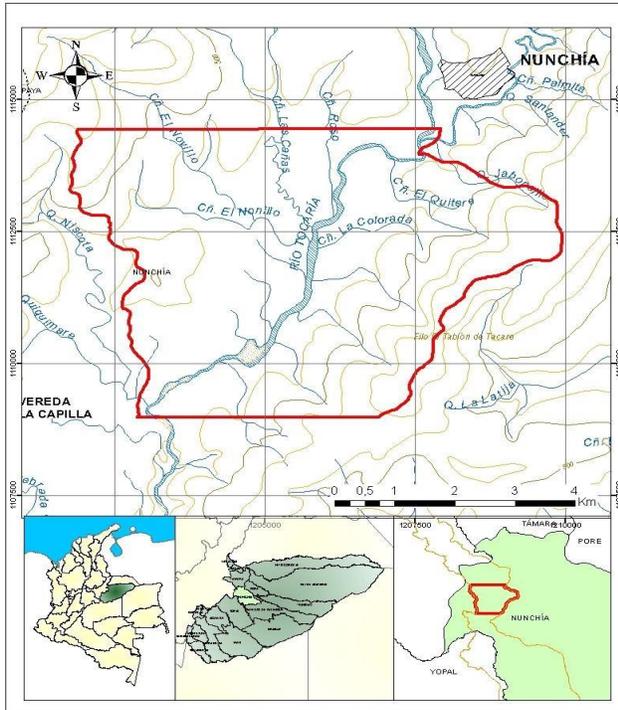


Fig. 1. Ubicación área de estudio.
 Fuente: Autores

Se realizó un muestreo de 67 puntos dejando como parámetro de definición cada una de las geomorfologías identificadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y correlacionadas con coberturas vegetales observadas *in situ*. Las muestras se colectaron a 0.25 m, debido al tipo de cultivos cuya profundidad efectiva radicular no supera los 0.15 m, con ayuda de un muestreador de densidad aparente.

Para el análisis geoestadístico se empleó ArcGIS, licencia académica, aplicando el método de interpolación que mejor se ajusta de acuerdo con varigramas, histogramas y análisis estadístico; una vez examinada su distribución con diagrama de Voronoi, basado en la proximidad y asociación de n datos, subdividiendo un plano en regiones.

III. RESULTADOS

Aplicando complementos de ArcGIS, se efectúa mapa de polígonos de Voronoi. El cual indica que la zona de estudio en cuanto a parámetro de Da presenta valores heterogéneos y que a su vez dividen el área en cuatro sectores. Distribuidos en cinco rangos de Da, siendo los más bajos 1,14 g/cm³ a 1,24 g/cm³, en relación con datos altos Da entre 1,66 g/cm³ a 1,85 g/cm³ (Fig. 2).

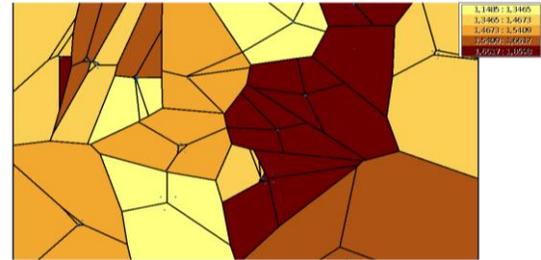


Fig. 2. Mapa o diagrama de Voronoi Da en zona de estudio.

Como muestra la Fig. 3, para dar una mayor confiabilidad de los datos colectados y procesados, crea un histograma ajustado bajo el tipo de transformación Box-CoX, con el cual se corrigió la asimetría denotada por Da y parámetro $\lambda = 0.7$.

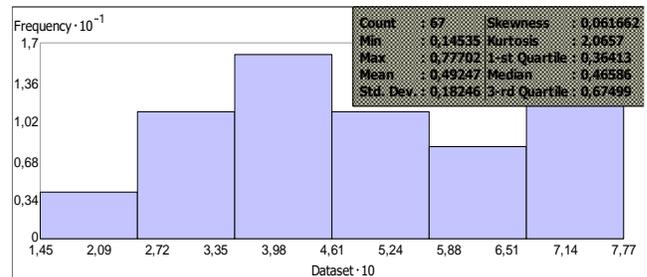


Fig. 3. Histograma con transformación Bos Cox de Da.
 Fuente: Anzoátegui, 2021.

Validados los datos y ajustados se desarrolla semivariograma que indica una alta variación espacial, al comparar el valor del *nugget* respecto a la meseta que tiende a ser una línea horizontal constante, sin embargo, en relación con el rango, en las ubicaciones de cada muestra se observan distancias cortas lo que indica una autocorrelación espacial (Fig. 4).

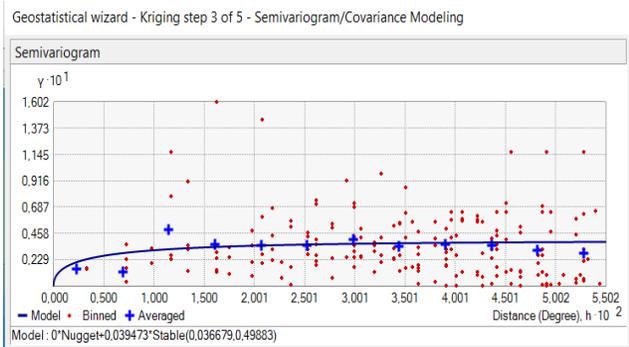


Fig. 4. Modelo Semivariograma Da.
 Fuente: Anzoátegui, 2021

La Fig. 5 muestra el mapa final de distribución espacial de Da, indicando en las veredas Palmita y Vega de Tacare rangos entre 1,57 g/cm³ a 1,63 g/cm³ incluso hasta llegar a valores entre 1,78 g/cm³ a 1,85 g/cm³, lo cual concuerda con coberturas vegetales representativas de ganadería intensiva a libre desarrollo que ayudan en la compactación del suelo, y también definido por tipos de suelos característicos de esta zona, ultisoles y oxisoles. Caso contrario, se identifica en las partes SW de la vereda Pie de Cuesta con valores que oscilan entre 1,14 g/cm³ a 1,40 g/cm³ ideales para el desarrollo de actividades agrícolas y que verificaron en campo con cultivos tales como, plátano, cacao, maíz, entre otros.

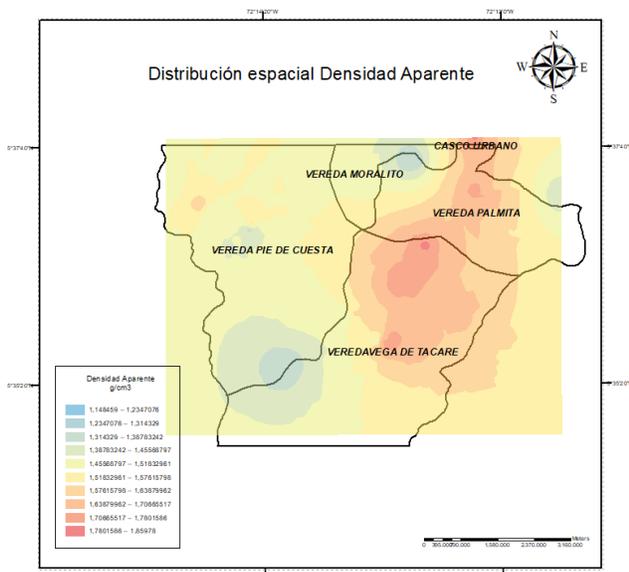


Fig. 5 Distribución espacial Da aplicando Kriging.
 Fuente: Anzoátegui, 2021.

IV. CONCLUSIONES

Con el uso de herramientas SIG y un correcto procesamiento de los datos colectados en campo, se determinó la distribución espacial de densidad aparente en

la parte media de la cuenca del río Tocaría (Casanare), resaltando la heterogeneidad del suelo y los manejos que deben efectuarse para suelos compactados en el sector NE de la vereda Vega de Tacare y el centro en vereda La Palmita.

Los valores de Da con rangos desde 1.6g/cm³ hasta 1.8g/cm³, concuerdan con coberturas vegetales tipo mosaico, pastos y cultivos, con notables procesos erosivos asociados a sobre pastoreo y terraceo.

Con el desarrollo de esta investigación y los comportamientos espaciales de Da, es clara la necesidad de intervención en la zona noreste de la parte media de la cuenca, donde se requiere un manejo integrado, empezando por la recuperación de suelos y haciendo un cambio en el uso de estos, la integración de abonos orgánicos y la recuperación de la microbiología del suelo, y la rotación de actividades que eviten la compactación y sobrecarga.

REFERENCIAS

- [1] D. Ponvert. & A. Quan, “Uso de las imágenes de satélites y los SIG en el campo”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 22, No. 4, pp. 75-80, 2013.
- [2] C. Arbelo, A. Rodríguez, J. Sánchez, J. Notario, L. Recatalá, J. Mora, J. Guerra, C. Armas, “Caracterización en entorno SIG de los suelos del Parque Nacional del TEIDE. Proyectos de investigación en Parques Nacionales: 2005-2008”, de *Proyectos de Investigación en Parques Nacionales: 2005-2008*, Valencia, Organismo Autónomo de Parques Nacionales, 2009, pp. 43-71.
- [3] Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, *fao.org/soils-2015*, 19 de febrero 2015. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>. [Último acceso: 22 septiembre 2021].
- [4] D. Vega, “Egormix”, Recuperación de suelos agrícolas degradados, 11 junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/recuperacion-suelos-agricolas-degradados-t47457.htm>. [Último acceso: 22 septiembre 2021].
- [5] E. Farias, “Propiedades física del suelo importante para la agricultura”, de *Física de suelos*, México, Trillas, 2004, p. 195.
- [6] A. Alvarado & W. Forsythe, “Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica”, *Agronomía Costarricense*, vol. 1, No. 29, pp. 85-94, 2011.
- [7] S. Salazar, R. Medina y A. Álvarez, “Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate ‘Hass’”, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. S.V, No. 13, pp. 2565-2575, 14 febrero 2016.
- [8] I. Novillo, M. Carrillo, “Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador”, *Temas Agrarios*, vol. 23, No. 2, pp. 177-187, 2018.
- [9] J. Valencia, L. Lassaleta, E. Velazquez, J. Nicolau, A. Gomez, “Factors Controlling Compositional Changes in a Northern Andean Paramo (La Rusia, Colombia)”, *Biotrópica*, vol. 1, No. 45, pp. 18-26, 2013.
- [10] J. Álvarez, H. Ruiz & D. Acosta, “Evaluación geoestadística de atributos hidrofísicos del suelo en la granja Tunguavita, Paipa, Colombia”, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 1, No. 31, pp. 127-138, 2021.
- [11] S. Erşahin, T. Askin, C. Tarakcioglu, D. Ozenc, K. Korkmaz, “Spatial variation in the solute transport attributes of adjacent Typic

- Haplusteps, Mollic Ustifluvents, and Lithic Ustipsamments”, *Geoderma*, vol. 289, pp. 107-116, 2021.
- [12] E. Amaro, E. Márquez, J. Llanes, “Diagnóstico inicial evolución de un suelo degradado”, *Avances*, vol. 21, pp. 129-138, 2019.
- [13] A. Perales, O. Loli, J. Alegre, F. Camarena, “Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum L.*)” *Ecología Aplicada*, vol. 8, No. 2, pp. 47-52, 2009.
- [14] M. Villatoro, C. Henríquez, F. Sancho, “Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo”, *Agronomía Costarricense*, vol. 32, No. 1, pp. 95-105, 2008.
- [15] C. Henríquez, J. Méndez y R. Masís, “Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el Análisis kriging y su validación”, *Agronomía Costarricense*, vol. 37, No. 2, pp. 71-82, 2013.
- [16] S. Hodam, S. Sarkar, A. Marak, A. Bandyopahyay y A. Bhadra, “Spatial Interpolation of Reference Evapotranspiration in India: Comparison of IDW and Kriging Methods”, *Journal of The Institution of Engineers*, vol. SV, No. 98, pp. 511-524, 2017.

Capítulo 17. Potencial erosivo de las precipitaciones en el municipio de Nunchía, Casanare, en la década 2009-2019

Erosive potential of rainfall in the municipality of Nunchía, Casanare, in the decade 2009-2019

Johan Santiago Torres Corredor, Laura Victoria Anzoátegui

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Yopal, Colombia

jtorres@unisangil.edu.co
agrovictoria01@gmail.com, lanzoategui@unisangil.edu.co

Palabras clave: Factor R, erosividad, erosión hídrica.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo tiene una inherente variabilidad en todas sus características debida a los factores de formación y a la consecuencia de la interacción de estos factores con el ambiente y el manejo histórico que se le ha dado al suelo [1]. El monitoreo y conocimiento de los recursos naturales ha ido facilitándose gracias a las tecnologías de información, como sucede con el estudio del suelo a través de los sistemas de información geográfica (SIG), que han permitido ampliar, de manera considerable, el nivel de conocimiento que se tiene [2].

Una problemática natural que impacta el recurso suelo y que se agudiza con las actividades antrópicas es la erosión hídrica. Este problema inicia cuando las gotas de lluvia impactan la superficie con una energía suficiente como para desplazar partículas de material sin consolidar, lo cual da lugar al proceso de erosión por salpicadura o erosividad de la lluvia [3]. La estimación de suelo erosionado por la lluvia es importante en las áreas de las ciencias ambientales, agrícolas y forestales, debido a los efectos adversos que puede ocasionar en la cantidad y calidad del suelo, además de ser el agente fundamental en el proceso de producción de material que colmatan las cuencas sedimentarias [4].

La erosión del suelo y otras formas de degradación de las tierras se están acelerando en todos los continentes y cada año provocan una pérdida entre 5 y 7 millones de ha de tierras cultivables [5]. Evaluar la erosión del suelo es posible a través de diversos procedimientos y para el caso de este trabajo es usada la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), la cual comprende componentes como la

intensidad de la lluvia, la erodabilidad del suelo, la topografía, la presencia de prácticas de conservación del suelo y la cobertura del suelo, en relación con el cultivo y su manejo [6].

Por magnitud y severidad de la erosión, Casanare ocupa el puesto 24 dentro de los 32 departamentos de Colombia, situación que no parece alarmante, sin embargo, municipios como Nunchía presenta una afectación del 85% de su área por algún grado de erosión [7]. Los valores alarmantes de magnitud de erosión en el municipio se deben a las actividades socioeconómicas, sumado a los factores climáticos y la topografía del piedemonte, asociado a una heterogeneidad de relieves y pendientes irregulares [8].

El presente trabajo que integra SIG y datos hidroclimatológicos para efectuar el cálculo del factor de erosividad de la lluvia o Factor R, según la ecuación de USLE, tendrá como propósito principal ser fuente de información para toma de decisiones y ejecución de acciones para mitigar la pérdida del recurso suelo debido a la erosión pluvial.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se lleva a cabo en la cuenca media del río Tocaría y la zona norte del municipio de Nunchía, Casanare. El territorio del municipio está distribuido en un 30% por paisaje de montaña, 25% paisaje de piedemonte y 45% paisaje de llanura, sin embargo, el área de estudio seleccionada pertenece exclusivamente a zona de piedemonte. En la Fig. 1 se muestra el área de estudio donde se evidencia la tendencia a aumentar la equidistancia planar de las curvas de nivel en dirección NW-SE, en la

transición de la zona de montaña hasta la zona de llanura, pasando por el piedemonte.

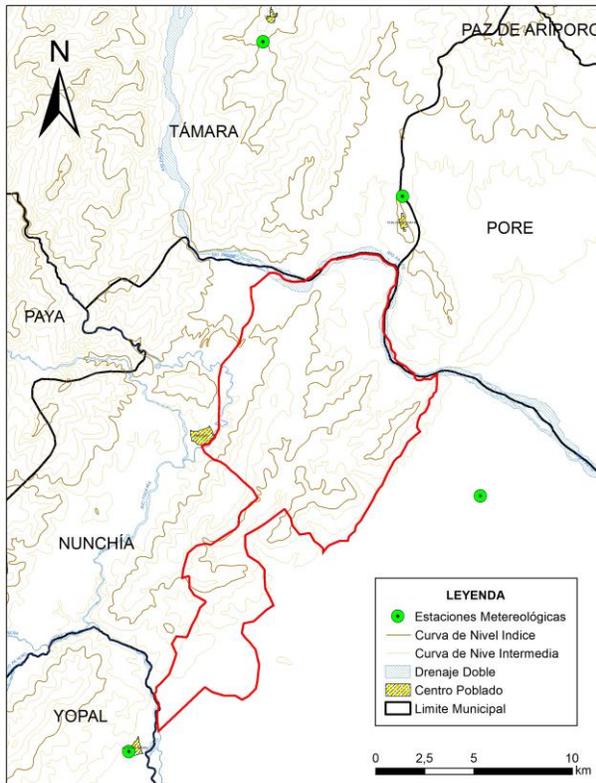


Fig. 1 Delimitación del área de estudio y ubicación de las estaciones meteorológicas

A. Información pluviométrica

Las estaciones meteorológicas fueron seleccionadas considerando el área de influencia del proyecto (Tabla 1). El Ideam suministró la información pluviométrica por un período de 11 años comprendido entre 2009 y 2019 con una periodicidad de información diaria.

TABLA 1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR R

Código de la estación	Nombre de la estación meteorológica	Coordenadas	
		X	Y
35210050	LA CHAPARRERA	-72,229361	5,491889
35210060	HACIENDA EL DESECHO	-72,067806	5,609111
35230030	TABLÓN DE TAMARA	-72,103	5,747194
35235050	TAMARA-AUT	-72,166778	5,818583

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), 2020.

B. Erosividad de la lluvia

El cálculo del índice de erosividad de la lluvia usando SIG es realizado bajo la metodología expuesta por especialistas en SIG y medio ambiente [9]. Se calculan las precipitaciones medias mensual anual, mediante el método aritmético para los datos de cada estación. La erosividad es función de la energía cinética (E) y de la intensidad de la precipitación (I). La primera, relaciona el tamaño y la velocidad de caída de las gotas y la segunda relaciona la cantidad con la duración (Ecuación 1). Por tanto, se trata de un parámetro complejo de calcular, pues relaciona cuatro propiedades (cantidad y duración, diámetro y velocidad de las gotas de lluvia) [10].

$$R = \sum_{j=1}^n (EI30_j) \quad (1)$$

Donde R representa el Índice de Erosividad de la lluvia, n es el número de aguaceros del período considerado, I30 es la intensidad máxima en 30 minutos para cada evento [mm/h] y E es la energía cinética del aguacero que se estima así [MJ/ha].

- Si $I \leq 76 \text{ mm/h} \rightarrow E = 0.119 + 0.0873 \log I$
- Si $I > 76 \text{ mm/h} \rightarrow E = 0.283$

La suma de los EI30 de cada uno de los eventos del año representará el índice de erosividad anual (R) [9]. Para este trabajo se sustituyó la igualdad $R=EI_{30}$ usando el índice modificado de Fournier (IMF) [11], el cual facilita el cálculo y se obtienen resultados similares, pues también considera la precipitación mensual del mes más húmedo y la de los demás meses del año, caracterizando la agresividad de la precipitación mediante la ecuación 2.

$$MF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t} \quad (2)$$

C. Cartografía temática

Usando el índice de erosividad se ejecuta la interpolación de los valores del índice de modificado de Fournier (IMF) y el valor del factor R a través del programa ArcGis v10.5, usando la herramienta ponderación de distancia inversa (IDW) con una potencia de 2 y así espacializar la energía de erosión de la lluvia mediante mapas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos presentados en la Fig. 2 muestran el potencial erosivo año tras año desde 2009 hasta 2019. Es clara la presencia de dos picos y un valle de potencial erosivo. El primer pico en 2011 cerca de los 80

(t/ha)/(Mj*mm/ha*año) y el segundo pico en 2019 cerca de 90 (t/ha)/(Mj*mm/ha*año) denotando, además, un aumento constante desde el 2013. Justo el punto de inflexión en 2013 está enmarcado por el año de lluvias con menor potencial erosivo dentro de la escala de tiempo evaluado, año en que, además, fue noticia la pérdida de innumerables especies de fauna a causa de la fuerte sequía. Así, pues, es claro que el potencial erosivo que tienen las lluvias está directamente relacionado con la cantidad de agua que cae en el área.

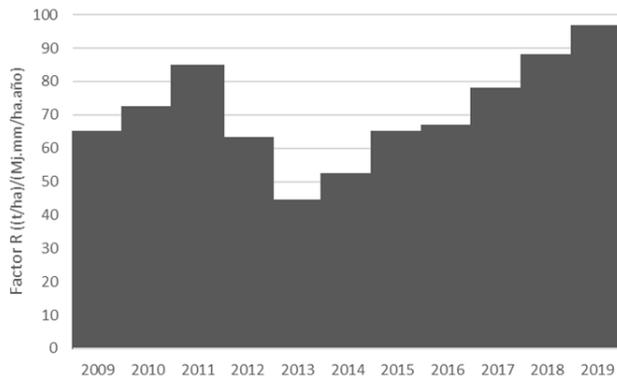


Fig. 2 Potencial erosivo por año en el período 2009 a 2019.

La distribución espacial del potencial erosivo promedio para la década evaluada es presentada en la Fig. 3. Las precipitaciones en el área de estudio presentan energías promedio entre 45 y 65 (t/ha)/(Mj*mm/ha*año), presentando las mayores energías de erosión en la parte noroccidental y disminuye en dirección suroriental. Nunchía es un municipio dividido entre relieves de alta montaña y pie de monte, concentrando en las zonas más altas los valores más críticos de potencial erosivo. La integración de las pendientes y las longitudes de ladera con los índices de erosividad representan un detonante, pues como se evidencia en la Fig. 4, son coincidentes los puntos más altos sobre el nivel del mar y los máximos valores de potencial erosivo, provocando una mayor susceptibilidad a la erosión en las áreas sobrepuestas.

Según [12] valores entre 40 y 50 representan una categoría alta de índice de erosividad y valores encima de 50 una erosividad muy alta. Así pues, las precipitaciones en toda el área de estudio representan valores críticos de potencial erosivo.

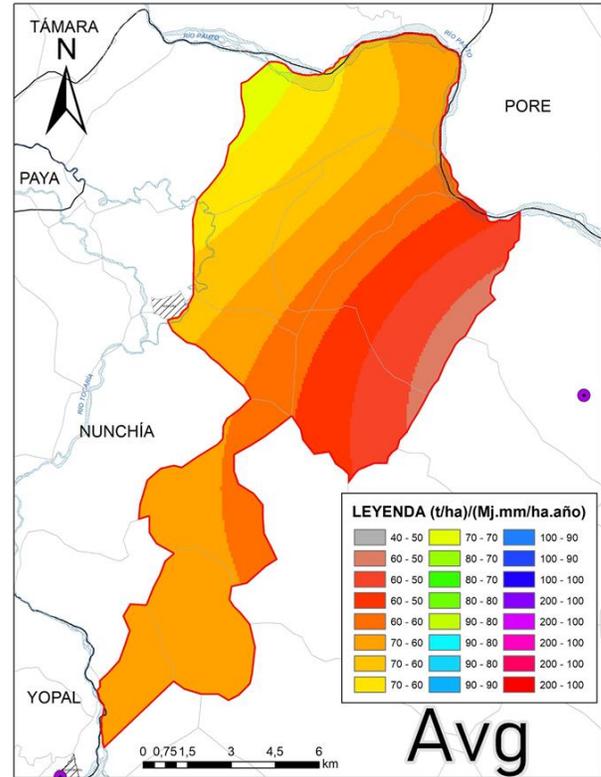


Fig. 3 Distribución espacial del índice de erosividad promedio para el período de tiempo evaluado.

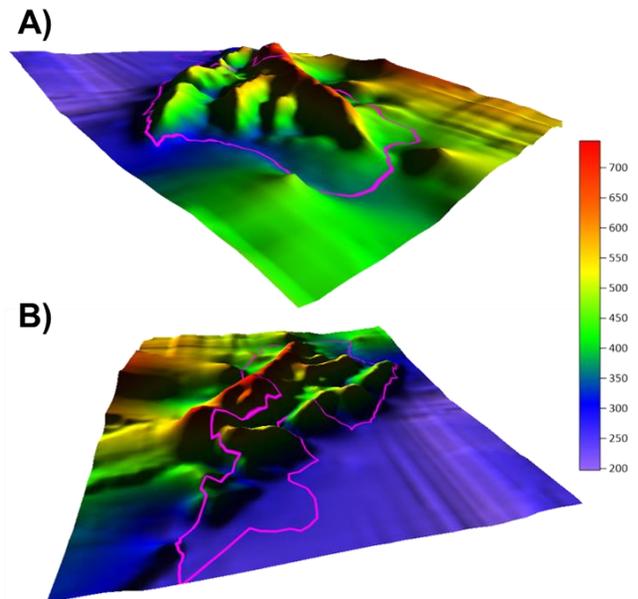


Fig. 4 Modelo digital de elevación (DEM) A. Dirección N-S y B) Dirección SW-NE.

Si bien es importante conocer el potencial erosivo que tienen las lluvias, hace falta integrar esta variable a otras

más que permitirán calcular la cantidad de suelo perdido por área en un determinado tiempo. Factores como el relieve, la erodabilidad del suelo y la cobertura vegetal son fundamentales para lograr la cuantificación de la erosión hídrica.

IV. CONCLUSIONES

El potencial erosivo de las lluvias en el municipio de Nunchía, Casanare, es considerado alto y muy alto según los rangos referidos [12], concentrándose los mayores valores de potencial en las zonas de montaña que sobrepasan los 700 msnm, hecho que potencializa el proceso erosivo dentro del área.

La integración de nuevas tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en procesos de cuantificación de erosión, permite optimizar recursos, integrar mayor cantidad de datos y conocer la distribución espacial en un área.

El producto final de este estudio, en conjunto con una adecuada caracterización del suelo, relieve y coberturas vegetales, permite zonificar las franjas más susceptibles de una región a sufrir procesos de erosión hídrica. Contar con este tipo de resultados permite ordenar los territorios usando los instrumentos de planificación (POMCA, EOT, POT) a partir del conocimiento del riesgo.

REFERENCIAS

- [1] G. Trangmar, B. Yost, R. S., Uehara, “Application of Geostatistics to Spatial Studies of Soil Properties”, 1965 [Online]. Available: [http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-77956815793&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Trangmar&sid=4035490BBF15E3AD55C834729D367DE6.kqQeWtawXauCyC8ghhRGJg:90&sot=b&sdt=b&sl=38&s=FIRSTAUTH\(Trangmar\)+AND+PUBYEAR+=+1986&relpos=2&relpos=2&se](http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-77956815793&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Trangmar&sid=4035490BBF15E3AD55C834729D367DE6.kqQeWtawXauCyC8ghhRGJg:90&sot=b&sdt=b&sl=38&s=FIRSTAUTH(Trangmar)+AND+PUBYEAR+=+1986&relpos=2&relpos=2&se).
- [2] F. A. Sarría, “Sistemas de información geográfica”, *Univ. Murcia*, vol. 239, 2006.
- [3] U. Sudas (Statewide Urban Design and Specifications, “Design Guide and Construction Specifications for National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) Site Runoff”, 2006. [Online]. Available: <http://publications.iowa.gov/4100/1/tr508f.pdf>.
- [4] S. Besteiro, “Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina)”, *Rev. la Fac. Agron. La Plata*, vol. 110, pp. 82–90, Nov. 2011.
- [5] FAO, *Erosión de suelos en América Latina*. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1994.
- [6] Wischmeier W.H., “Use and misuse of the universal soil loss equation”, *Journal-of-Soil-and-Water-Conservation*, vol. 31, No. 1, pp. 5–9, 1976 [Online]. Available: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19760093118>.
- [7] U. Ideam, Mads, *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.: Publicación aprobada por el Ideam, 2015.
- [8] Procuraduría, *Plan estratégico de tecnologías de la información (PETI) 2017-2021, 2 vols*. Procuraduría General de la Nación, 2017.
- [9] GEASIG, “Índice de erosividad de la lluvia con ArcGIS”.

Available: <https://www.geasig.com/indice-de-erosividad-de-la-lluvia-con-arcgis/> (accessed Nov. 03, 2021).

- [10] S. M. S. Yapur, “Determinación de la erosión hídrica potencial de los suelos de la cuenca inferior del río Bermejo, Salta-Jujuy”, Universidad Nacional de Salta, 2010.
- [11] H. M. Arnoldus, “An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation”, in *Assessment of erosion*, D. De Boodst, M., y Gabriels, Ed. Chichester, Gran Bretaña: John Wiley y Sons, Inc, 1978, pp. 127–132.
- [12] D. Michiels, P., Gabriels, “Rain variability indices for the assessment of rainfall erosivity in the Mediterranean region”, in *Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*, Geoforma editions, Ed. Logroño, Spain, 1996, pp. 49–70.

Capítulo 18. El compostaje y el lombricultivo como alternativa de aprovechamiento de residuos en el departamento de Casanare

Composting and vermiculture as an waste reuse alternative in department of Casanare

Juan Carlos Lozano Sierra

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Yopal, Colombia

jclozano@unisangil.edu.co

Palabras claves: Compostaje, Lombricultivo, Vermicompost, Cambio Climático, Casanare.

I. INTRODUCCIÓN

Entender la química del carbono y las consecuencias de la variación en la concentración de este, tanto en el aire como en el suelo, permite identificar como estos procesos pueden ser una alternativa viable en el departamento de Casanare, para aprovechar algunos de los residuos que se producen en la región, y además puede ser una de las medidas para combatir el cambio climático y sus efectos.

II. EL CICLO DEL CARBONO

Cuando se habla del ciclo del carbono, se refiere al flujo de este, desde que se encuentra en la atmósfera como dióxido de carbono (CO₂), pasando por la fijación en las plantas por los procesos fotosintéticos, fluyendo en las diferentes cadenas tróficas en los seres vivos y volviendo nuevamente a la atmósfera luego de la descomposición de los primeros o de estos últimos.

Dicho en otras palabras, el carbono se fija durante la producción de alimentos, pastos y en el crecimiento de las plantas y árboles. Se transfiere a los animales y seres humanos durante la alimentación, y se libera nuevamente a la atmósfera durante los procesos de descomposición de las plantas o de los residuos de la producción agrícola y de la putrefacción de los seres vivos o sus desechos.

Durante miles de años, este ciclo se ha mantenido en equilibrio generando unas variaciones en la temperatura promedio del planeta, que se conocen como estados climáticos, con periodos en que el planeta estuvo completamente congelado hasta periodos como los actuales, de altas temperaturas alrededor del globo.

III. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Aunque algunas personas piensan que el incremento de la temperatura del planeta es una situación normal, otros consideran que en parte es causada por la actividad humana, que ha roto el equilibrio que se mencionó anteriormente y ha elevado significativamente la cantidad de carbono libre en la atmósfera.

En realidad, son más de ciento noventa naciones, incluida Colombia, que se acogieron al acuerdo de París sobre cambio climático, en la cual se compromete a reducir en un veinte por ciento (20%) las emisiones de gases efecto invernadero antes del año dos mil treinta (2030), además de “avanzar hacia la adaptación a los efectos del cambio climático y dirigirse hacia una economía baja en carbono” [1].

De acuerdo con lo publicado en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático - PNACC en el año 2016, dentro de los impactos potenciales en el Casanare se pueden resaltar los siguientes [2].

- Reducción progresiva de la producción de carne y leche, con promedio anual de 6,4% hasta 2040 en Casanare y en Meta de 2%, respecto a la producción del periodo de referencia 1970-2010 [3]. Esto debido a una menor producción de pasturas mejoradas consecuencia de la reducción de lluvias, y superación del umbral de temperatura máxima de 35°C que conlleva a reducción en la producción de biomasa.
- La zona productora de arroz en Casanare presentaría una disminución de 20% promedio anual en el rendimiento (respecto al periodo 2000-2010), a causa de mayor estrés térmico bajo condiciones de irrigación de moderada tecnología.

- Aumento del 15% en el rendimiento de cultivos forestales de la especie *Pinus caribaea* en áreas de baja altitud, y reducción de los turnos forestales pasando de 5,3 bajo condiciones actuales a 6,6. La respuesta positiva estaría asociada con el aumento de las temperaturas.
- Pérdida de productividad de peces: la del bagre sería entre 3% y 4%, debido a la disminución de agua en las corrientes, la afectación de la capacidad migratoria, y la capacidad de reproducción. Si bien esta cifra puede ser mucho mayor si se consideran la alteración de corredores de dispersión de peces, las cargas de sedimentos y la alteración de las condiciones físico-químicas de los ecosistemas acuáticos continentales causados por la sociedad, y que exacerbarían los efectos negativos del cambio climático [3].
- La disminución de productividad conllevaría reducción de la oferta y encarecimiento en el mercado.
- Procesos de desertificación en el bosque basal del Orinoco y en las sabanas arbustivas, con potenciales consecuencias graves en sabanas áridas o semiáridas.

IV. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Ahora bien, de las estrategias para la adaptación al cambio climático establecidas en el PNACC, la estrategia 3B, producción agropecuaria y seguridad alimentaria adaptadas al cambio climático, propone la acción de integrar la adaptación como criterio para el aprovechamiento sostenible de recursos naturales renovables.

El alcance propuesto para este componente es la implementación de iniciativas para la sostenibilidad de la producción de alimentos, y en ella se incentivan entre otras las siguientes acciones:

- Seguridad alimentaria y producción agropecuaria
- Mejorar la eficiencia productiva con criterios de sostenibilidad.
- Implementar innovaciones tecnológicas sostenibles.

Y dentro de estas acciones, es que se considera factible la implementación de los procesos de compostaje y el lombricultivo.

V. EL COMPOSTAJE Y EL LOMBRICULTIVO

El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes [4].

Por otra parte, por lombricultivo se puede encontrar que es la “técnica que consiste en la crianza y manejo de lombrices en condiciones de cautividad, con la finalidad de obtener productos como el humus para fertilizante de uso agrícola y la proteína (carne fresca o harina) como suplemento para raciones animales”.

Ahora bien, teniendo esto claro, se puede concluir que la implementación de estas técnicas, encajan perfectamente dentro de las acciones para adaptación y mitigación del cambio climático requeridas en el departamento de Casanare.

En primer lugar, el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generará los siguientes beneficios.

- Reducción de los volúmenes de materia orgánica que llega a los botaderos y por consiguiente incremento en la vida útil de estos.
- Reducción de las emisiones de efecto invernadero del material vegetal en descomposición que se genera por la poda y mantenimiento de jardines y zonas verdes en los perímetros urbanos.
- Reducción de las descargas contaminantes debida a residuos.
- Aprovechamiento de desperdicios de comida.
- De otra parte, como beneficio de esta actividad se podrán destacar entre otros [5].
- Reducción del consumo de fertilizantes químicos.
- Aumenta la capacidad de retención de la humedad del suelo.
- Reduce el riesgo de erosión.
- Ayuda a regular la temperatura del suelo (temperatura edáfica).
- Reduciendo la evaporación del agua y regulando la humedad
- Aporta macronutrientes, como N, P, K y micronutrientes.
- Aporta organismos (como bacterias y hongos) capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en nutrientes para las plantas y degradar sustancias nocivas.
- Mejora las condiciones del suelo y aportando carbono para mantener la biodiversidad de la micro y macrofauna (lombrices).

Todo esto permite mitigar los posibles efectos del cambio climático en la zona, mejorar la productividad agrícola de

los terrenos y promover la seguridad alimentaria de la región.

VI. CASO DE ESTUDIO

Entendido el problema, y de la observación diaria de lo que se encuentra en la ciudad de Yopal, se pudo establecer que una de las posibles fuentes de materia orgánica necesaria para la implementación de los procesos planteados anteriormente son los residuos de poda de zonas verdes y el material que se recoge durante el barrido de calles, que corresponde principalmente a hojarasca (ver Fig. 1,2,3). A la fecha no se tiene conocimiento de los volúmenes exactos de material que se produce mensualmente en cada una de estas actividades.



Fig. 1 Disposición de residuos de poda sobre la carrera 24 con calle 26, en la ciudad de Yopal.



Fig. 2 Recolección del barrido de la carrera 29 con calle 22, en la ciudad de Yopal, lo cual es enviado al relleno sanitario.



Fig. 3 Mala disposición de residuos de poda sobre la carrera 30 con calle 15, en la ciudad de Yopal.

De otro lado, desde el año 2018, la empresa SUBACASANARE, viene desarrollando el proceso de Compostaje y Lombricultivo a partir de los residuos de estiércol que se depositan en los corrales (ver Fig. 4).



Fig. 4 Material aprovechado en la Subasta Ganadera Casanare S.A.

Este material es compostado y luego sirve de alimento al lombricultivo (Fig. 5), el cual permite producir vermicompost (Humus), para su comercialización como enmienda orgánica (Fig. 6).



Fig. 5 Resultado de la implementación de Lombricultivo en la Subasta Ganadera Casanare S.A.



Fig. 6 Proceso de deshidratación de Vermicompost en la Subasta Ganadera Casanare S.A.

de sabana y por consiguiente el verdadero potencial de aprovechamiento de esta técnica.

REFERENCIAS

- [1] Colombia ratifica el acuerdo de París - Medio Ambiente - Vida - ELTIEMPO.COM. (n.d.). Retrieved October 22, 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/colombia-ratifica-el-acuerdo-de-paris-99848>
- [2] Adaptación, D. E. (n.d.). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático - PNACC
- [3] (2014) Departamento Nacional de Planeación – Banco Interamericano de Desarrollo (DNP-BID).
- [4] Portal terminológico de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (n.d.). Retrieved October 22, 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.fao.org/faoterm/es/?defaultCollId=1>
- [5] Román, Pilar., Martínez, M. M., & Pantoja, Alberto. Manual de compostaje del agricultor: experiencias en América Latina. FAO, 2013.

VII. CONCLUSIONES

Finalmente, con este documento se quiere inducir a las entidades públicas y privadas, para que dentro de sus procesos productivo incorporen alguna de estas técnicas, ya que no solo traen beneficios al medio ambiente, sino que indirectamente, se pueden convertir en una alternativa de ingresos.

De igual manera, que esto sirva como un llamado de atención a la academia (universidades y al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA), para que, dentro de sus centros de investigación, se promueva el trabajo en el área, ya que actualmente se desconocen los volúmenes de generación de residuos en el municipio de Yopal y en los demás municipios del departamento ubicados en la zona

Capítulo 19. Evaluación de enmiendas orgánicas obtenidas a partir del procesamiento de estiércol de ganado en la subasta ganadera de Casanare

Evaluation of organic amendments obtained from processed cattle manure at the Casanare auction

Juan Carlos Lozano Sierra

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Yopal, Colombia

jclozano@unisangil.edu.co

Palabras claves: Compostaje, Lombricultivo, Vermicompost, Enmiendas orgánicas, Casanare.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad ganadera, al igual que toda actividad tiene sus impactos en el medio ambiente. Uno de estos se da debido al estiércol generado en los sistemas ganaderos los cuales provocan impactos ambientales negativos si no existe un control en el almacenamiento, el transporte o la aplicación, debido a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera, metano (60 %), bióxido de carbono (39 %), y trazas (0.2 %) de óxido nitroso y la acumulación de micro y macronutrientes en el suelo y en los cuerpos hídricos superficiales [1].

La Subasta Ganadera Casanare S.A. SUBACASANARE, desde hace varios años viene desarrollando el proceso de compostaje y vermicompost con el estiércol que se produce en los corrales durante los eventos de subasta. Sin embargo, a la fecha no se tienen resultados confiables que permitan establecer la calidad del producto obtenido y la eficacia en la utilización como enmienda orgánica. El presente trabajo muestra los resultados de la utilización del compost y de humus en los procesos de germinación, crecimiento y floración en especies como el Tomate (*Solanum lycopersicum*) y la Itxora. Para esta evaluación, se analizaron siete tratamientos en cada una de las etapas con más de 20 ejemplares en cada uno de los tratamientos y cerca de 8 meses de trabajo. Aunque aún se siguen evaluando las diferentes alternativas de uso del compost y del humus, se puede decir que comparativamente con los abonos comerciales que se encuentran en la zona, el producto muestra mejores resultados.

II. CASO DE ESTUDIO

Desde al año 2018, la empresa SUBACASANARE, viene desarrollando el proceso de compostaje y lombricultivo a partir de los residuos de estiércol que se depositan en los corrales.

Este material es compostado y luego sirve de alimento al lombricultivo, el cual permite producir vermicompost (humus), para su comercialización como enmienda orgánica.

III. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO

El día 9 de junio de 2020 [2] y el 30 de septiembre del mismo año [3], se enviaron al laboratorio Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda., muestras de compost y humus respectivamente, cuyos resultados se resumen en la Tabla 1. De la evaluación comparativa de los resultados de las muestras con la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 [4], se observa que los productos no cumplen en parámetros como humedad ni carbono orgánico oxidable total. Sin embargo y a pesar de que se trata del primer lote de producción, se encuentran valores significativos de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.

TABLA 1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MUESTRAS DE HUMUS Y COMPOST CON RELACIÓN A LA NORMA NTC 5167

Parámetro	Unidad	NTC 5167 Abono orgánico	Resultado 25746 Compost	Cumple/ No cumple Compost	Resultado Humus	Cumple/ No cumple Humus
Densidad aparente seca	g/cm ³	< 0.6	0.46	Cumple	0.79	No cumple
pH en pasta dura	Unidades	De 4 a 9	8.73	Cumple	7.27	Cumple
C.E. en extracto saturación	ds/m		29.6		23	
Humedad	% p/p	< 20	35.26	No cumple	41.14	No cumple
Ceniza	% p/p	< 60	25.34	Cumple	31.37	Cumple
Residuo insoluble en ácido	% p/p		12.98		23.42	
C.I.C.	meq/100g	> 30	60.51	Cumple	55.65	Cumple
Nitrogeno total	% p/p	> 1	1.75	Cumple	1.27	Cumple
Potasio total	% p/p		3.19		0.88	
Calcio total	% p/p		0.65		0.9	
Magnesio total	% p/p		0.47		0.36	
Fósforo total	% p/p		0.453		0.406	
Silicio total	% p/p		4.2		6.6	
Azufre	% p/p		0.35		0.46	
Sodio	% p/p		1.178		0.35	
C. Orgánico oxidable total	% p/p	> 15	9.83	No cumple	9.92	No cumple
ReI (C/N)			5.6		7.76	
Retención de humedad	% p/p	> 100	122.35	pCumple	75.68	No cumple
Pérdidas por volatilización	% p/p		39.4		27.49	
K2O total	% p/p	> 1	3.833	Cumple	1.059	Cumple
CaO total	% p/p		0.91		1.26	
MgO total	% p/p		0.78		0.59	
P2O5 total	% p/p	> 1	1.04	Cumple	0.93	No cumple
SiO2	% p/p		8.99		14.12	
Suma de elementos	% p/p		17.303		19.229	

IV. DISEÑO DE EXPERIMENTO

Para evaluar la efectividad del compost y del humus obtenido, se contempló la utilización de éstos en dos etapas del desarrollo de la planta como es germinación y desarrollo, para lo cual se escogieron especies endémicas de la zona. El tomate fue utilizado para la primera etapa por su acelerado crecimiento y la *Itxora* para el desarrollo, debido a la fácil adaptabilidad y disponibilidad en el municipio de Yopal.

En la Tabla 2 se presentan los diferentes tratamientos que se utilizaron en cada una de las etapas, con el fin de valorar la efectividad de las enmiendas obtenidas en la Subasta Ganadera, en comparación a productos que se comercializan en la zona y un producto sin ningún tipo de fertilización.

TABLA 2. DISTRIBUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL SUSTRATO, PARA LAS DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS

	Arena (%)	Compost (%)	Humus (%)	Tamo (%)
Tratamiento 1	50	25		25
Tratamiento 2	25	50		25
Tratamiento 3	25	25		50
Tratamiento 4	50		25	25
Tratamiento 5	25		20	25
Tratamiento 6	25		25	50
Tratamiento 7	Abono comercial			
Tratamiento 8	Tierra negra			

A. Germinación

Las semillas de tomate se sembraron en un cartón de huevos por cada tratamiento (30 unidades) manteniendo condiciones ambientales como humedad, temperatura y

luminosidad iguales para todos los tratamientos, y se evaluaron variables como número de semillas germinadas, longitud de la plántula y longitud de radícula para cada uno de ellos.

B. Desarrollo

Se realizó con seis (6) plantas de *Itxora* por cada tratamiento, las cuales se encontraban en un estado de desarrollo avanzado entre 10 y 15 centímetros de altura, manteniendo variables ambientales constantes y valorando variables como: aumento del tallo y crecimiento de las hojas.

V. RESULTADOS OBTENIDOS

A. Germinación

Se hizo la siembra de las semillas de tomate de acuerdo con lo establecido en el diseño de experimento, y se hizo seguimiento cada dos días a las variables establecidas durante 10 días, obteniendo los siguientes resultados (Fig. 1):

2G	0	2G	1G	3G	0
3G	4G	4G	3G	1G	2G
2G	3G	1G	5G	1G	7G
3G	4G	7G	2G	6G	3G
5G	2G	7G	5G	5G	1G

Tratamiento 1 Compost
Total de plantas germinadas: 94

1G	0	1G	0	0	0
0	1G	1G	0	0	4G
1G	1G	2G	3G	2G	0
0	8G	8G	0	2G	0
4G	1G	0	0	0	3G

Tratamiento 2 Compost
Total de plantas germinadas: 43

0	0	2G	0	1G	0
0	1G	0	0	2G	1G
4G	5G	2G	4G	4G	0
3G	3G	2G	0	7G	0
3G	3G	1G	5G	0	0

Tratamiento 3 Compost
Total de plantas germinadas: 57

2G	2G	3G	5G	4G	4G
4G	5G	4G	8G	8G	2G
3G	7G	7G	4G	6G	2G
8G	8G	7G	8G	8G	5G
7G	6G	3G	6G	7G	5G

Tratamiento 4 Humus
Total de plantas germinadas: 158

0	2G	3G	0	0	4G
4G	4G	3G	4G	2G	1G
6G	8G	8G	3G	3G	8G
4G	4G	7G	5G	3G	5G
7G	2G	6G	4G	8G	8G

Tratamiento 5 Compost
Total de plantas germinadas: 126

5G	0	6G	2G	0	0
4G	4G	8G	6G	0	0
4G	4G	2G	8G	2G	4G
8G	8G	6G	6G	2G	5G
5G	3G	2G	7G	8G	3G

Tratamiento 6 Humus
Total de plantas germinadas: 122

2G	2G	1G	0	0	1G
2G	4G	1G	4G	3G	3G
4G	2G	8G	5G	3G	5G
5G	6G	2G	4G	2G	6G
3G	5G	6G	5G	5G	5G

Tratamiento abono comercial
Total de plantas germinadas: 104

2G	2G	1G	3G	4G	5G
4G	3G	5G	4G	2G	8G
2G	5G	5G	3G	5G	4G
2G	5G	4G	8G	7G	8G
6G	5G	6G	5G	8G	8G

Tratamiento tierra negra
Total de plantas germinadas: 134

Fig. 1 Resultados del proceso de germinación para los diferentes tratamientos.

El mejor resultado fue el obtenido con el tratamiento 4, arena 50%, humus 25% y tamo 50%, con un total de 158 tomates germinados. A continuación (Fig. 2) se puede observar el resultado después de diez días de sembrado el tomate en el mencionado tratamiento.



Fig. 2 Día 10 de sembrado en el tratamiento 4 arena 50%, humus 25% y tamo 25%:

B. Desarrollo

Siguiendo lo planteado en el diseño de experimento, se realizó seguimiento a las plantas durante doce semanas obteniendo los siguientes resultados (Tabla 3):

TABLA 3. RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DE LAS PLANTAS EN ETAPA DE DESARROLLO PARA LOS TRATAMIENTOS CON COMPOST

Semanas	Compost	Arena (%)	Abono (%)	Tamo (%)	Aumento de tallo (cm)	Crecimiento de las hojas (cm)
1, 2, 3	Tratamiento 1	50	25	25	7,5 a 7,6	1,5 a 1,7
4, 5, 6					7,6 a 8,0	1,7 a 2,0
7, 8, 9					8,0 a 9,0	2,0 a 2,5
10, 11, 12					9,0 a 10,0	2,5 a 2,7
1, 2, 3	Tratamiento 2	25	50	25	9,0 a 9,2	2,3 a 2,4
4, 5, 6					9,2 a 9,7	2,4 a 2,8
7, 8, 9					9,7 a 10,6	2,8 a 3,1
10, 11, 12					10,6 a 12	3,1 a 3,3
1, 2, 3	Tratamiento 3	25	25	50	9,0 a 9,5	2,3 a 2,5
4, 5, 6					9,5 a 10,3	2,5 a 2,6
7, 8, 9					10,3a10,7	2,6 a 2,8
10, 11, 12					10,7a11,5	2,8 a 3,0

De los tres tratamientos que contenían compost, el segundo (25% arena, 50% compost y 25% tamo) fue el que mayor crecimiento de hojas y tallo arrojó (Tabla 4).

TABLA 4. RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DE LAS PLANTAS EN ETAPA DE DESARROLLO PARA LOS TRATAMIENTOS CON HUMUS

Semanas	Humus	Arena (%)	Abono (%)	Tamo (%)	Aumento de tallo (cm)	Crecimiento de las hojas (cm)
1, 2, 3	Tratamiento 4	50	25	25	7,5 a 7,7	2,0 a 2,3
4, 5, 6					7,7 a 8,0	2,3 a 2,5
7, 8, 9					8,0 a 9,5	2,5 a 2,7
10, 11, 12					9,5 a 10,0	2,7 a 3,0
1, 2, 3	Tratamiento 5	25	50	25	7,0 a 8,0	2,0 a 2,5
4, 5, 6					8,0 a 9,5	2,5 a 2,8
7, 8, 9					9,5 a 10,5	2,8 a 3,3
10, 11, 12					10,5 a 12,0	3,3 a 3,5
1, 2, 3	Tratamiento 6	25	25	50	7,0 a 7,5	2,0 a 2,2
4, 5, 6					7,5 a 7,7	2,2 a 2,5
7, 8, 9					7,7 a 8,5	2,5 a 2,7
10, 11, 12					8,5 a 10,0	2,7 a 3,0

Para el caso de los tratamientos con humus, el tratamiento 5 (25% arena, 50% humus y 25% tamo) fue el que mayor crecimiento de hojas y tallo arrojó.

Los resultados con el abono comercial (Tabla 5) fueron semejantes al del tratamiento 5 con humus, mientras que con tierra (Tabla 6), no se observó un crecimiento importante.

TABLA 5. RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DE LAS PLANTAS EN ETAPA DE DESARROLLO PARA LOS TRATAMIENTOS CON ABONO COMERCIAL

Abono comercial		
Semanas	Aumento de tallo (cm)	Crecimiento de las hojas (cm)
1, 2, 3	7	2
4, 5, 6	8,8	2,5
7, 8, 9	1,9	2,9
10, 11, 12	13	3,5

TABLA 6. RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DE LAS PLANTAS EN ETAPA DE DESARROLLO PARA LOS TRATAMIENTOS CON TIERRA NEGRA

Tierra		
Semanas	Aumento de tallo (cm)	Crecimiento de las hojas (cm)
1, 2, 3	6,5	2,0
4, 5, 6	No se observó aumento	No se observó aumento
7, 8, 9	6,7	2,3
10, 11, 12	7,0	2,5

Aunque no fue una variable inicialmente seleccionada en el estudio, se pudo establecer que únicamente en el tratamiento con humus se desarrollaron flores, que se puede explicar por la presencia de nutrientes como nitrógeno, fosforo y potasio en este product (Fig. 3).



Fig. 3 Resultado del desarrollo de Ixora en el tratamiento 5 arena 25%, humus 50% y tamo 25%.

VI. CONCLUSIONES

Aunque los resultados de los análisis de laboratorio muestran que el material producido no cumple con el 100% de los parámetros requeridos por la Norma Técnica 5167 para abonos orgánicos, se considera que es un buen resultado al ser el primer lote de producción. Estos resultados permiten definir las mejoras a implementar en el proceso de producción, con el fin de reducir la humedad y aumentar el contenido de carbono disponible, que corresponden a los parámetros que en este primer análisis no se cumplieron.

Comparativamente con material sin tratamiento o abonos comerciales de la zona, los tratamientos con humus producen resultados semejantes o superiores en los diferentes estados fenológicos de las plantas. Entre el humus y el compost producido, el que mejores resultados presentó fue el humus, aunque el compost en la etapa de desarrollo, presenta crecimientos importantes tanto en tallo como en hojas.

REFERENCIAS

- [1] Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. Retrieved October 24, 2021. [En línea] Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004
- [2] Dr. Calderón. Asistencia Técnica Agrícola Ltda. Análisis de Control de Calidad No CCF 25746. 2020.
- [3] Dr. Calderón. Asistencia Técnica Agrícola Ltda. Análisis de Control de Calidad No CCF 26332. 2020.
- [4] Norma técnica colombiana NTC 5167 productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo, 2004.

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA

Capítulo 20. Herramienta tecnológica que promueva la separación de residuos sólidos en la fuente y permita la administración de los datos resultantes de la recolección en el municipio de Chiquinquirá - Boyacá

Technological tool that promotes the separation of solid waste at the source and that allows the administration of the data resulting from the collection in Chiquinquirá – Boyacá

Edisson Caicedo Rojas, Heidy Vanessa Sánchez Pulido,
Lizeth Camila Ruiz Roldán, Paola Andrea Rojas Vargas

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
Chiquinquirá, Colombia

ercaicedo@unisangil.edu.co, hvsanchez@unisangil.edu.co
lizeth.ruiz@unisangil.edu.co, paolarojas@unisangil.edu.co

Palabras clave: Contaminación, medio ambiente, punto limpio, reciclaje, residuo.

estarían próximos a colapsar de seguir con el mismo ritmo de aumento de residuos [1].

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el tema del medio ambiente ha sido el contenido en debates, ponencias, foros, mesas de diálogo, así como en el proceso de tomas de decisiones en diferentes lugares del planeta. Son diversas las organizaciones a nivel mundial que han desplegado acciones para mitigar el problema de la contaminación ambiental, sin embargo, este se agudiza cada día, prueba de ello es el incremento de generación de desechos que se observa en todo el mundo.

A nivel mundial los bajos niveles de reciclaje y el aumento de los residuos sólidos ocasionan diversas problemáticas como el aumento de la huella de carbono, afectaciones a la salud, la disminución de materias primas y vida útil de los rellenos sanitarios, y el gasto desmedido de recursos naturales finitos.

En Colombia el escenario de aumento de desechos y las problemáticas que esto conlleva ya ha generado alertas, dado que anualmente son generadas un aproximado de 11,6 millones de toneladas de residuos sólidos, y según informes de la Misión de Crecimiento Verde del Departamento Nacional de Planeación (DNP) del total de estos solo se recicla alrededor del 17%, es decir, que el 83% de los desechos que podrían ser aprovechados están siendo depositados en los rellenos sanitarios, los cuales

Asimismo, en el municipio de Chiquinquirá, con una población de 72.274 habitantes, son generadas alrededor de 40 toneladas de basuras al día, según datos proporcionados por la Central Colombiana de Aseo, empresa encargada de la recolección y disposición de los residuos sólidos dentro del municipio, se han producido diversas dificultades frente al aumento de los desechos [2].

Inicialmente, uno de los problemas que enfrenta la ciudad por no reciclar, es el posible colapso de su relleno sanitario ubicado en la vereda Carapacho Alto, dado que de presentarse esta situación el municipio entraría en calamidad pública porque las basuras tendrían que ser trasladadas hasta el municipio de Tunja y no se podría continuar con el horario de recolección que actualmente se maneja, además del aumento en los costos del servicio de aseo que han sido motivos de queja y reclamos por parte de los usuarios. De igual manera, se observa la difícil situación que pasan los recuperados, puesto que, al no tener un modelo de separación de residuos sólidos, son ellos los que deben realizar este proceso al momento que los ciudadanos dejan las bolsas de basura en la calle, lo que los expone a lesiones y enfermedades, denigrando así su valiosa labor.

Teniendo en cuenta la situación planteada en la descripción del problema se ha generado la siguiente pregunta con el propósito de darle una respuesta a este: ¿Cómo promover un modelo de separación de residuos en la fuente que

aporte a la disminución de la problemática actual en el municipio de Chiquinquirá ocasionada por los bajos niveles de reciclaje?

Por otra parte, para el desarrollo de cada una de las actividades propuestas dentro del proyecto se definió el uso de la metodología de investigación aplicada con un enfoque cuantitativo, donde por medio de las herramientas e instrumentos de recolección de información se identificarán los requisitos por los cuales la herramienta sería óptima y factible dentro del municipio. Además, el manejo de teorías como la educación ambiental, la conciencia ciudadana, el método de las tres r, y elementos legales, los artículos 35 y 38 del Decreto – Ley 2811 de 1974.

Para el diseño de la aplicación descrita, se empleó la técnica de desarrollo *Open Up*, la cual por sus preceptos y sus fases es idónea para el desarrollo de este tipo de proyectos, permitiendo tener una programación sumamente ordenada y fomentando la comunicación entre los *stakeholders*, facilitando así los posibles cambios dentro del desarrollo del proyecto. Durante las cuatro fases se utilizarán herramientas de diseño y programación como Quasar, un *framework* basado en Vue.js, de código abierto y con licencia MIT, y una base de datos NoSQL, desarrollada en la plataforma Firebase.

II. ENFOQUE TEÓRICO

Los estilos de vida modernos han llevado a adoptar patrones de consumo que afectan el medio ambiente debido a la generación en aumento de residuos sólidos, y el bajo nivel de aprovechamiento de estos.

Sin embargo, no solo se presentan problemáticas a nivel ambiental por no reciclar, sino que también hay factores económicos, por ejemplo, Juan Carlos Gutiérrez, gerente de la empresa Eko Red, estima que Colombia deja de recibir \$2 billones como ingreso a su PIB por no reciclar desechos plásticos, esto debido a que si del porcentaje de generación de residuos se pudiera reciclar al menos la mitad, sería un mercado muy grande, porque generaría nuevos negocios emergentes como casas de reciclaje donde se transformarían los desechos recibidos en materias primas y otros productos, lo que a su vez generaría más plazas de empleo y ayudaría a aumentar el número de los contribuyentes y el pago de impuestos.

Ante las alarmantes cifras y la preocupante situación, son los ciudadanos quienes deben empezar a tomar medidas y aportar desde el reciclaje individual, compartiendo este conocimiento con quienes los rodean, pues el reciclaje

debe estar inmerso en las actividades cotidianas del hogar, el empleo y la escuela.

Por ello, se vio la necesidad de la creación de una plataforma tecnológica que le permita a la comunidad chiquinquireña el conocer cómo debe ser la separación y el tratamiento de los residuos sólidos, y la manera en la que pueden aportar a la ciudad y a ellos mismos realizando este proceso. Lo anterior, por medio de módulos informativos que muestren al usuario una guía clara de reciclaje con el propósito de generar educación ambiental en hogares e instituciones, las rutas de recolección y puntos verde que muestran los horarios por barrio y las estadísticas de los datos de reciclaje en el municipio.

A. Antecedentes

Red Post Consumo: Esta aplicación brinda a sus usuarios información de los distintos tipos de residuos, programas y campañas de posconsumo. De igual manera, brinda especificaciones sobre los contenedores para saber en cuál debe ir cada elemento según su clasificación. Esta aplicación tiene como objetivo fomentar mecanismos de recolección para que los materiales aprovechables tengan una mayor valorización, sean dispuestos apropiadamente y no generen impactos negativos. Se encuentra disponible para los sistemas operativos Android e IOS [3].

Prototipo de una aplicación móvil instructiva, para el manejo y disposición de desechos sólidos: En esta aplicación se muestra información generalizada del proceso de reciclaje que sufrirá el desecho; está orientada por las diferentes cartillas de reciclaje como “Bogotá basura cero”, y tiene algunas funcionalidades sobre cómo brindar información y qué materiales se pueden reciclar en Bogotá y dónde los reciben. Los puntos de acopio serán mostrados al usuario de manera georreferenciada, de modo que se mostrarán por cercanía [4].

Reciclar: En Argentina la Fundación ProYungas junto a la Universidad Nacional de Tucumán desarrollaron la versión web de la aplicación Reciclar, la cual muestra un mapa interactivo del lugar donde se reciben materiales para reciclar en la Provincia de Tucumán. En esta página, se encuentran identificados lugares para llevar tapas, plástico, vidrio, papel, cartón, eco ladrillos, entre otros. A partir del mismo mapa, se pueden sumar nuevos eco puntos e ir completando los sitios que reciben materiales para reciclado en toda la provincia [5].

Reciclapp: Es una aplicación que tiene como objetivo poner a disposición de los recicladores la información de la base: cartones, latas, botellas de vidrio y todo el material reciclable que las personas acumulan en sus casas, a través

de rutas específicas donde pueden identificar los puntos de retiro. La app puede ser descargada de forma gratuita en Android o IOS por cualquier persona que quiera contribuir al medio ambiente, y solo tienen que inscribirse y anotar el día y horario que le acomoda que vaya un recuperador a buscar el material acumulado [6].

Reciclaje 5.0: Es una aplicación web donde los usuarios pueden tomar una fotografía de los envases que van a depositar en los contenedores, estos tienen dispuestos un código QR para validar las imágenes. De esta manera, consiguen los llamados “reciclos”, los cuales son incentivos o puntos con los que el ciudadano puede participar en diferentes sorteos, y están siempre relacionados con el medio ambiente o el deporte, esta aplicación cuenta con tecnología incorporada en contenedores y papeleras para que el ciudadano pueda “conectarse” a través de su móvil y de esta manera contabilizar las veces que ha reciclado [7].

Junta, Entrega y Recicla (JERApp): Es una innovadora plataforma “Smart City” que ofrece una alternativa de servicio tanto al ciudadano como a la empresa de acopio, consiste en el reúso y reciclaje de productos que ya no se utilizan [8].

B. Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados en la presente investigación, y de acuerdo con las características de la solución propuesta, se definió hacer uso de la metodología de investigación aplicada con un enfoque cuantitativo, puesto que este permite la representación de procesos secuenciales y probatorios [9].

III. RESULTADOS

Al ser una aplicación híbrida (aplicación que funciona en la web y dispositivos móviles) es perentorio el uso de más de un lenguaje de programación para lograr una correcta adaptabilidad, para esto se implantaron los siguientes:

HTML: Acrónimo de Hypertext Markup Language o lenguaje de marcado y etiquetado, el cual es utilizado para el diseño de páginas web (Fig. 1), actualmente para el desarrollo de entornos web la versión disponible es la 5; este lenguaje de etiquetado se basa en el uso de etiquetas (<HTML>), atributos y valores que permiten modificar los elementos vistos en pantalla.



Fig. 1 Pantalla inicial de la aplicación.

CSS: Cascading Style Sheets, que en español traduce hojas de estilo en cascada, lenguaje que permite aplicar estilo a las páginas web a través del uso de reglas incorporadas a través de los documentos en HTML [10].

JavaScript: Lenguaje de programación interpretado orientado a objetos, usado comúnmente para el desarrollo del lado del usuario (se ejecuta sin necesidad de un servidor web) el cual se ejecuta en navegadores web y es usado comúnmente por los desarrolladores para mejorar la interfaz de las páginas web, haciéndolas interactivas y dinámicas.

VueJs: Marco de trabajo (*framework*) basado en el lenguaje de programación orientado a objetos JavaScript, que permite construir interfaces de forma dinámica y gradualmente adaptable.

Quasar: Marco de trabajo (*framework*) ideal para el desarrollo de sitios web de forma rápida cumpliendo con los estándares de las páginas web adaptables (*responsive design*).

Continuando con la etapa del diseño de la herramienta tecnológica, es preciso realizar un bosquejo o maqueta para visualizar cómo será el diseño final de la aplicación, a esto se le denomina como Mockup o bosquejo, lo que permite emular en un entorno controlado el posible comportamiento de cada una de las funciones, basado en los diagramas visualizados con anterioridad.

Versión web: Diseño previo de la versión disponible para navegadores web tales como Google Chrome, Mozilla, Safari, Internet Explorer, entre otros.

Resultado de la aplicación de lenguajes de programación, etiquetado y herramientas de modelación, así como sistemas gestores de bases de datos, se obtuvo la aplicación híbrida la cual puede ser usada en dispositivos móviles y en computadores de diferentes características.

Se puede apreciar en la Fig. 2, donde se muestra videos y textos que explican la importancia del reciclaje, los cuales pueden ser actualizados en cualquier momento.



Fig. 2 Pantalla reciclamos.

A partir de la información recolectada, es posible definir rutas de reciclaje las cuales serán mostradas en un mapa de la ciudad, como se hace referencia en la Fig. 3.



Fig. 3 Pantalla rutas de reciclaje.

Una vez registrada la información de reciclaje por barrios y elementos, el administrador podrá consultar estos datos para verificar la cantidad de kilogramos recuperados, filtrando dichos datos por tipo de elemento y barrio (Fig. 4).

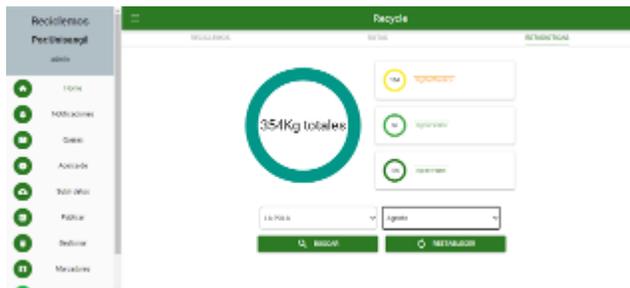


Fig. 4 Página estadística de reciclaje.

IV. CONCLUSIONES

La recolección e identificación de información sobre la separación y tratamiento de los residuos sólidos fueron de gran importancia, debido a que permitió sentar las bases para representar en la herramienta el proceso más óptimo y de mayor entendimiento para el usuario.

Los datos obtenidos acerca de las cifras son objetivos y precisos dado que se recogieron utilizando métodos normalizados como la entrevista, y se analizaron mediante técnicas estadísticas.

Teniendo en cuenta el auge de la tecnología en la época, y las múltiples soluciones que esta ha otorgado para las necesidades humanas, se ve factible el desarrollo de una herramienta tecnológica implementada inicialmente en el municipio de Chiquinquirá, que le muestre al usuario consejos para la separación y tratamiento de los residuos sólidos.

Gracias a herramientas como Firebase, que garantizan la seguridad de la información y una comunicación eficiente y estable, además de permitir añadir nuevas funciones a un muy bajo costo, por otra parte, su estructura basada en Vue.js, encapsula en módulos las funciones y vistas, permitiendo realizar cambios estructurales profundos, únicamente en las secciones del proyecto que lo requieren sin afectarlo a nivel general.

REFERENCIAS

- [1] MinAmbiente, “Normatividad. 2019, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible”, 2020. [En línea] Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-asuntos-ambientales/2216-ministro-de-ambiente-invita-a-fomentar-sistemas-urbanos-de-reciclaje-inclusivo>.
- [2] Alcaldía Municipal Chiquinquirá, “Datos de interés”, 2020. [En línea] Disponible en: <http://www.chiquinquira-boyaca.gov.co/Paginas/default.aspx>.
- [3] MinAmbiente, “Redposconsumo”, 2017. [En línea] Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/temas-tecnologias-de-la-informacion/2874-red-posconsumo-tecnologia-al-servicio-de-la-ciudadania-empresas-y-sector-ambiental>.
- [4] ProYungas, “Reciclar”, 2015. [En línea] Disponible en: <http://proyungas.org.ar/?p=2102>.
- [5] Residuos profesional, “Reciclapp”, 2017. [En línea] Disponible en: <https://www.residuosprofesional.com/chile-reciclapp-aplicacion-reciclaje/>.
- [6] Ecoembes, “Reciclos: Ecoembes y el reciclaje del futuro”, 2019. [En línea] Disponible en: <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/sobre-nosotros/proyectos-destacados/reciclos>.
- [7] JER, “Junta, entrega y recicla”, 2018. [En línea] Disponible en: <https://www.juntaentregayrecicla.com.mx/>.
- [8] Condominios verdes, “Una aplicación que conecta recogedores de basura con quienes desean reciclar”, 2018. [En línea] Disponible en: <https://www.condominiosverdes.com.br/es/una-aplicacion-que-conecta-recogedores-de-basura-con-quienes-desean-reciclar/>.
- [9] J. Padron, “Investigar, reflexionar y actuar en la práctica docente”, 2006. [En línea] Disponible en: <http://padron.entretemas.com.ve/InvAplicada/index.htm>.
- [10] W3School, “CSS”, 2020. [En línea] Disponible en: <https://www.w3schools.com/css/default.asp>.

Capítulo 21. Deshidratación de café y cacao por radiación infrarroja controlada

Dehydration of coffee and cocoa by controlled infrared radiation

Camilo Andrés Arenas Vera, Manuel Fernando Lozano Rodríguez,
Juan David Ortiz Viviescas, Sebastián Alexander Torres,
William Guerrero Salazar, Yudid Andrea Ojeda

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
San Gil, Colombia

camiloarenas@unisangil.edu.co, manuellozano@unisangil.edu.co
jortiz1@unisangil.edu.co, sebastiantorres@unisangil.edu.co
wguerrero@unisangil.edu.co, yudidojeda@unisangil.edu.co

Palabras clave: Deshidratación, radiación infrarroja, temperatura, café, cacao.

I. INTRODUCCIÓN

La deshidratación o secado de todo tipo de granos es el método más antiguo de conservación de los productos perecederos [1]. En la actualidad una gran cantidad de productos son sometidos a estos procesos por diversas razones como la preservación, la reducción de peso o volumen, el mejoramiento de su estabilidad. Estos procesos siempre han brindado las suficientes garantías en la conservación de los alimentos en condiciones estables y seguras para así, de esta forma, poder mantener un producto inocuo.

Todas las variedades de alimentos necesitan, de alguna forma, ser conservadas principalmente para reducir o detener deterioros, para mantenerlos disponibles durante un período determinado de tiempo, para mantener propiedades nutricionales y obtener productos con valor agregado.

A. Técnicas de deshidratación o secado

Los granos de café y cacao están incluidos en el grupo de los llamados cuerpos de escaso volumen, los cuales al estar juntos guardan espacios libres entre sí, este fenómeno facilita el proceso de deshidratación o secado, pero en el caso de los granos de café pergamino y cacao es necesario que lentamente se halle el equilibrio entre la humedad que contiene el grano y el medio ambiente que la rodea.

B. Métodos usados para el proceso de deshidratación o secado

Los métodos más implementados se dividen en dos categorías, una que es la parte convencional y otra que es la parte mecánica.

Convencional

En esta categoría se emplea el sistema Casa Elbas que son plataformas de madera o metal; y también los patios generalmente fabricados con concreto o cerámica (Fig. 1). El tiempo de secado al sol depende del clima imperante, del espesor de la capa de café y de la frecuencia con que este se mezcle. Necesita en promedio de 7 a 15 días siempre y cuando la capa del grano no pase de cuatro centímetros; este sistema tiene como ventaja el no necesitar combustible [2].



Fig. 1 Casa Elbas y patios de secado.

Los secadores mecánicos utilizan aire caliente por medio de intercambiadores de calor, que calientan el aire de secado por medio de los gases de combustión provenientes del horno, que funcionan con varios tipos de combustible (Fig. 2). Es importante tener presente que la temperatura del aire no debe sobrepasar los 50 °C durante el proceso de secado, para no dañar el grano. Se necesitan, en promedio, de 25 a 30 horas para la culminación del proceso [3].



Fig. 2 Silos y guardiolas.

C. Infrarrojo (IR) y sus aplicaciones

El infrarrojo es un tipo de radiación electromagnética cuya longitud de onda es más larga que la de la luz visible, pero más corta que la de las microondas [2].

La energía infrarroja (IR) es la fuente de energía más antigua utilizada para el secado, al considerar la energía radiante del sol utilizada con este fin [2]. Esta involucra el uso de generadores de radiación IR, como lámparas eléctricas o paneles de metal o cerámica calentados por electricidad o gas.

II. METODOLOGÍA

A. Documentación

Como punto de partida se realiza una indagación bibliográfica sobre las diversas aplicaciones que tiene la radiación infrarroja sobre el deshidratado o secado de alimentos en especial los granos; mediante antecedentes de propuestas y proyectos relacionados a nivel internacional y nacional. De la misma manera, profundizar en el marco teórico, información basada de fuentes respaldadas y confiables.

B. Caracterización

Dentro de la identificación de elementos que se obtuvieron para la realización de la automatización se tiene (Fig. 3):

- 1 tapa cilindro rotativo, 2 salida de aire, 3 ruedas SG.
- 4 bandeja de salida, 5 cilindro rotativo, 6 extractor de aire.
- 7 láminas protectoras, 8 entrada de aire, 9 eje de soporte.
- 10 motor reductor, 11 totalizador, 12 control de potencia.
- 13 protección, 14 variador de frecuencia, 15 PLC (controlador lógico programable), 16 parada de emergencia, 17 estación de mando, 18 lámparas radiación infrarroja, 19 caja de control.

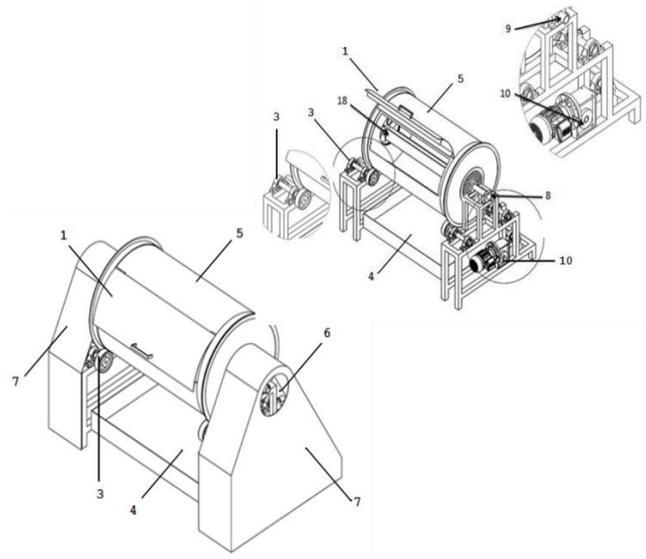


Fig. 3 Estructura lógica de control del equipo.

C. Automatización del banco

El prototipo inicialmente fue diseñado con el fin de deshidratar panela para la pulverización. Lo que se realizó fue un análisis general del estado en el cual se encontraba el equipo y sus componentes eléctricos y electrónicos, extrayendo un balance general de las fallas funcionales.

D. Modelación y programación

La automatización del equipo utilizado para la deshidratación de los granos de café y cacao está basada en la implementación de un PLC, como unidad de procesamiento central. Cuenta con un *software* de control configurado con la interacción del PLC, conectado a una HMI donde corre una aplicación denominada Visilogic que permite al usuario interactuar directamente con la

programación y supervisión del mismo funcionamiento del programa a ejecutar.

El controlador PID (proporcional, integral y derivativo) (Fig. 4), es un controlador de lazo cerrado cuyo objetivo es hacer cero el error entre *set-point* (SP) y la variable de proceso (VP), durante el estado estable [1].

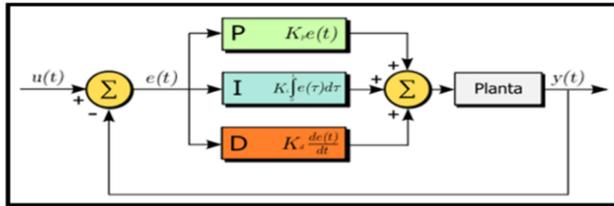


Fig. 4 Esquema PID.

III. PRUEBAS

Se efectuaron una serie de pruebas al equipo con los granos seleccionados para corroborar el funcionamiento de la máquina (Fig. 5,6). Los resultados de los experimentos arrojan los datos para la construcción de las curvas de secado de café y cacao. A continuación se describe el proceso realizado de cada producto.



Fig. 5 Prueba realizada para café.



Fig. 6. Prueba realizada para cacao.

IV. RESULTADOS

Para cada tratamiento de deshidratación o secado se utilizaron tres muestras de los granos de café y cacao respectivamente; para obtener las curvas pertinentes. Con el valor promedio de MR en relación con el tiempo (horas), se obtuvieron las curvas para cada tratamiento. Hasta obtener un producto con un 10% de humedad para el grano de café (Tabla 1) y un 5% para el grano de cacao (Base húmeda) (Tabla 2). Los tiempos para cada tratamiento fueron los siguientes.

TABLA 1. TIEMPOS IMPLEMENTADOS PARA SECADO DESHIDRATADO DE CAFÉ

<i>Tiempo implementado en la deshidratación del café hasta un 10% de humedad en la muestra de 500 g</i>		
35°C	45°C	55°C
21,5 horas	19 horas	15 horas

<i>Tiempo implementado en la deshidratación del café hasta un 10% de humedad en la muestra de 200 g</i>		
35°C	45°C	55°C
22 horas	19,5 horas	15 horas

TABLA 2. TIEMPOS IMPLEMENTADOS PARA SECADO O DESHIDRATADO DE CACAO

<i>Tiempo implementado en la deshidratación del cacao hasta un 5% de humedad en la muestra de 200 g</i>		
50°C	55°C	60°C
16 horas	13,5 horas	13 horas

<i>Tiempo implementado en la deshidratación del cacao hasta un 5% de humedad en la muestra de 200 g</i>		
50°C	55°C	60°C
16 horas	14,5 horas	13 horas

A partir de estos resultados se deduce que mientras mayores sean las temperaturas y potencias de infrarrojo aplicadas al proceso de secado, menores son los tiempos requeridos para deshidratar los granos.

A continuación, se presentan las gráficas (Fig. 7,8) del factor adimensional MR correspondientes a los procesos de deshidratado o secado de los granos de café y cacao.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}$$

Ecuación 1: Factor adimensional.

Donde:

- MR: es la razón de humedad.
- M_i : es la humedad en base seca.
- M_e : es la humedad de equilibrio.
- M_o : es la humedad inicial.

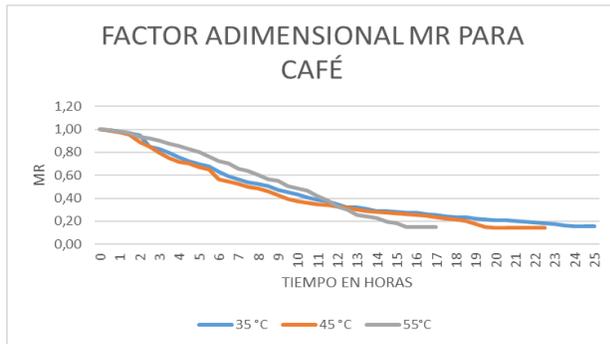


Fig. 7 Factor adimensional para café.

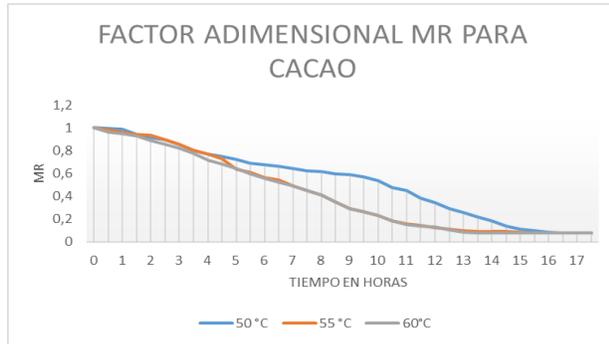


Fig. 8 Factor adimensional para cacao.

Para el secador por infrarrojos, el consumo de energía está dado por la suma de la lámpara infrarrojos, el ventilador usado para arrastrar el vapor producido por el secado de la muestra dentro de la cámara y el motorreductor (Tabla 3).

TABLA. 3. CONSUMO ENERGÉTICO

	Potencia	Horas	Precio Kw/h	Total
Lámparas IR	22,092	16,5	\$ 600	\$13,252.2
Extractor	4,9368	16,5	\$ 600	\$2,962.08
Motorreductor	14,52	16,5	\$ 600	\$ 8,712
Costo promedio en el proceso de deshidratación por ir en 16,5 horas				\$24,926.28

V. CONCLUSIONES

El secado asistido infrarrojo permite reducir los tiempos de secado en forma considerable en comparación con el secado convencional. Para los granos de café y cacao el ahorro en el tiempo de secado alcanzó un máximo de 40% comparando resultados de investigaciones realizadas por parte de cenicafé y fedecacao.

Fue posible deshidratar los granos de café y cacao en forma satisfactoria utilizando un secado asistido infrarrojo, lo que constituye una alternativa para el secado de granos. En la operación de deshidratado o secado, es importante controlar la temperatura del producto en función del tiempo. El producto no se puede secar en su totalidad, ya que se estaría afectando su naturaleza y, por lo tanto, cambiarían sus propiedades.

La máquina al ser dinámica permite un secado homogéneo del producto, evitando la aparición de granos húmedos, en donde se concentren residuos de agua evaporada.

La radiación infrarroja es una tecnología muy económica y muy eficiente que ayuda a generar calor sin necesidad de utilizar ningún tipo de contaminante, producto de alguna combustión, como lo son el caso del gas o el cisco implementados en los silos y guardiolas.

REFERENCIAS

- [1] Mejía Terán, A. L. (2011). Efecto de la deshidratación por radiación infrarroja sobre algunas características fisicoquímicas de interés comercial del aloe vera (*Aloe barbadensis*). 77. [En línea] Disponible en: <http://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/1249?locale-attribute=en>.
- [2] Jurado, J., Montoya, E., Oliveros, C. & García, J. (2009). Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Revista Cenicafé*, 60(2), 135–147. [En línea] Disponible en: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2015/12/Mtodo-para-medir-el-contenido-de-humedad-del-cafe-pergamino.pdf>
- [3] Coronado, A. P., Mejía, G. Roa, Tascon, Carlos Eugenio Oliveros & Uribe, Juan Rodrigo Sanz. (2017). Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino (pp. 456, 453, 603).
- [4] Autotune, P. I. D. F. B. (2004). PID FB + Autotune.
- [5] Departamento de Física de la Universidad Nacional de la Plata. (2017). Ley de Ohm - Potencia y Energía Eléctrica. Reconocer magnitudes eléctricas. Conocer los principios básicos de los circuitos eléctricos.
- [6] G. M., M. A., J. G. & M. S. (2017). Modelación de las cinéticas de deshidratación de jitomate y nopal por dos métodos de secado (aire caliente y radiación infrarroja). 2, 537–543.
- [7] Jiménez C., V. C. (2009). Diseño de un sistema de secado de café. 95. [En línea] Disponible en: <http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/6752/1/TEG.pdf>.

Capítulo 22. Sistema de adquisición de datos para registro de magnitudes asociadas a la calidad del agua

Data acquisition system for register of magnitudes associated to water quality

Juan Guillermo Naveros Jiménez, Milton Javier Muñoz Neira

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
San Gil, Colombia

juannaveros219@unisangil.edu.co
mmunoz@unisangil.edu.co

Palabras clave: Sistema de Adquisición de Datos, Sistema Embebido, calidad del agua.

I. INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable hace parte de uno de los objetivos de desarrollo sostenible fijados por la ONU para la humanidad en el 2030 [1]. Las comunidades que carecen de dicho suministro, en especial las más pobres, se ven expuestas a enfermedades gastrointestinales e incluso la muerte, en dependencia del tipo de bacteria que se encuentre en el agua.

Los métodos tradicionales empleados para determinar la calidad del agua se basan en la detección de bacterias E. Coli [2] [3], pero, por lo general, no consideran de manera adicional, el monitoreo, registro y almacenamiento *in situ* de otras magnitudes relevantes como el pH, la conductividad o la turbidez del agua, elementos que pueden contribuir a una detección rápida de indicadores de calidad y, en consecuencia, a una generación temprana de alarmas que mitigue los riesgos para la salud humana.

Diversos trabajos han abordado el montaje de sistemas que faciliten un monitoreo *in situ* y en tiempo real de magnitudes asociadas a las propiedades del agua ([4] [5]). En efecto, el desarrollo de sistemas de adquisición de datos (SAD) para medición de la calidad del agua (MCA) es un tema de recurrente interés científico, como puede evidenciarse de las publicaciones afines al tema referidas por la base de datos SCOPUS en los últimos años (Fig. 1) Algunos trabajos específicos son los expuestos por las referencias [6] [11]. Dichos trabajos consideran, de manera general, como variables de estudio las variaciones de pH, de la turbidez, de la conductividad y de la temperatura del agua, sin embargo, ninguno de estos trabajos, ha incluido la lectura de una señal que esté correlacionada con la presencia de E. Coli como indicador de contaminación

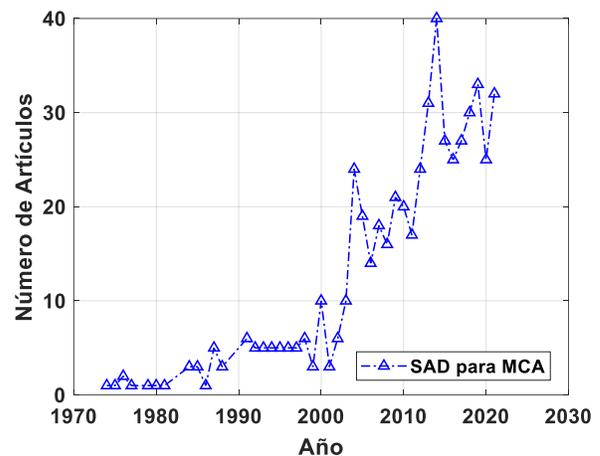


Fig. 1 Artículos registrados en la base de datos SCOPUS relacionados con SAD para medición de la calidad del agua.

La tecnología de sensores disponible y utilizada actualmente no permite que la información que se colecta de los diferentes sensores sea almacenada en un sistema de memoria. Por esta razón, los datos relevantes no se pueden enviar a través de señales eléctricas y moduladas, para posteriormente ser observados por el usuario.

A partir de estas consideraciones se planteó el proyecto de diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos, para la adquisición, almacenamiento y transmisión de las señales relacionadas con indicadores de contaminación microbiana en agua, entre ellas temperatura, pH, conductividad y voltaje generado por una celda microbiana. El sistema fue dotado de un sistema de alimentación fotovoltaica que le brinda autonomía de operación en entornos donde no existe interconectividad eléctrica.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La Fig. 2 muestra los distintos sensores y módulos usados, junto con la arquitectura del sistema implementado, desarrollada a partir de una plataforma Arduino Mega. Por su parte, la tabla 1 detalla la instrumentación esencial empleada en el sistema. Antes de la integración de todos los componentes, se realizaron pruebas individuales de funcionamiento, junto con las calibraciones de los sensores. Los medidores de pH y electro conductividad fueron calibrados a partir de muestras de laboratorio estándar, y el sensor de temperatura con base en una sonda Fluke 80PK-22 con exactitud de $\pm 2.2^{\circ}\text{C}$. Posterior a las pruebas individuales y a la calibración, se realizó la integración general del sistema, y fue acoplada la alimentación fotovoltaica. Con el equipo ensamblado se realizaron pruebas en laboratorio para la adquisición de señales, el almacenamiento de datos y la transmisión de alarmas, para muestras de agua contaminada con bacterias, y para muestras de agua pura. Finalmente, el equipo fue probado en campo, con distintas muestras de agua.

III. RESULTADOS OBTENIDOS

La Fig. 3 muestra, como ejemplo, la curva de calibración para el sensor de pH, y la ecuación 1 con la función de ajuste (donde V es el voltaje entregado por el sensor). Dado que los cambios más rápidos de las señales a adquirir están en el orden de las horas (2 a 3 horas), se asumió un tiempo de muestreo global ajustable en el orden de minutos (1 a 15 minutos). En el proceso de adquisición, un filtro tipo mediana (ecuación 2, donde l es cada lectura realizada segundo a segundo, a_i la ponderación de cada lectura, N la ventana de tiempo a filtrar, y t el tiempo) fue ajustado por software, a partir del promedio de una ventana de 60 muestras tomadas cada segundo. De este modo, los datos almacenados cada tiempo de muestreo global, correspondían a los promedios de cada 60 lecturas realizadas cada segundo. La Fig. 4 muestra el ejemplo de los resultados de un proceso de adquisición para las magnitudes temperatura del agua y voltaje de la celda microbiana.

Para el diseño del sistema de alimentación fotovoltaico, se estimó un consumo total de 1A/h, una autonomía de 8 horas, una descarga máxima de la batería del 50% y una eficiencia de 70% (para una batería de ciclo profundo). A partir de estos parámetros se evaluó necesario un panel solar de 30W, una batería de 12V – 5A/h, y un controlador de 3 A.

El equipo final, el cual es mostrado en la foto 1, consume un máximo de 12W/h, y pesa 0.6 Kg.

La programación fue desarrollada siguiendo una estructuración modular. El pseudocódigo general del sistema se detalla en la tabla 2.

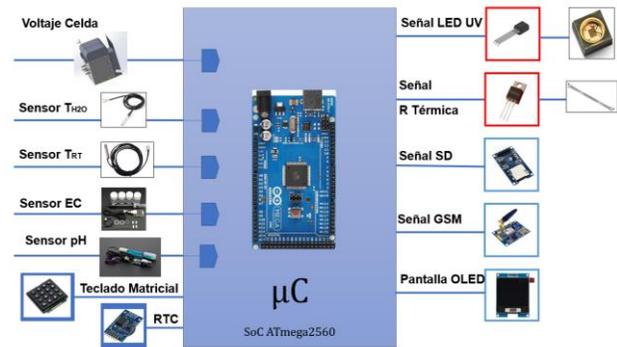


Fig. 2 Materiales y arquitectura del sistema de adquisición.

TABLA 1. INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA

Dispositivo	Referencia	Comunicación
pH	SKU SEN 0161	Analógica 0-5V
Electro conductividad (EC)	V2 K10	Analógica 0-5v
Temperatura	DS18B20	One-Wire
GSM	SIM 800C	UART
Memoria almacenamiento	Módulo microSD	SPI
Reloj	RTC DS3231	I2C
Pantalla	OLED 128x64	I2C
Teclado	Mecánico 4x4	I2C

$$pH = 2.041V + 3.538 \quad (1)$$

$$s(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} a_i l(t-i) \quad (2)$$

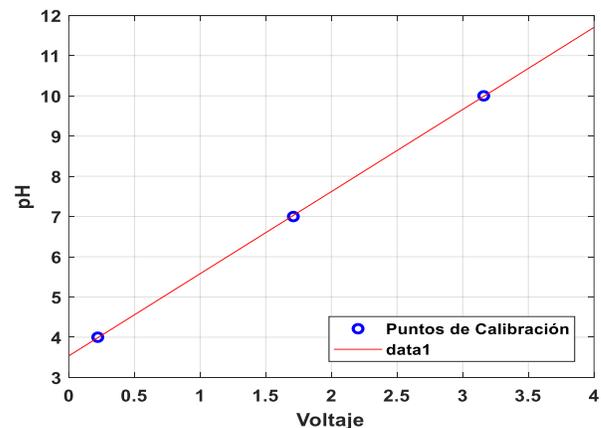


Fig. 3 Calibración sensor pH.

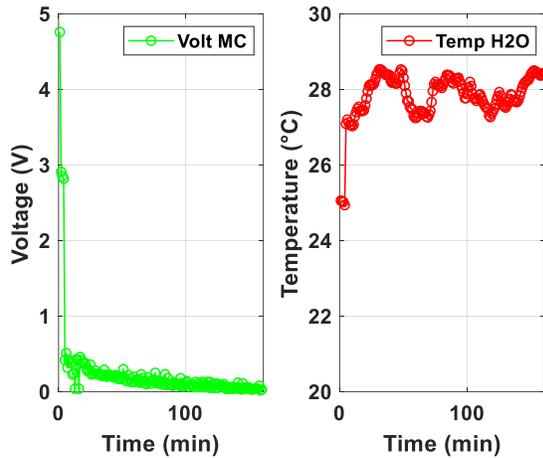


Fig. 4 Resultados adquisición voltaje celda y temperatura del agua.

TABLA 2. PSEUDOCÓDIGO DEL SISTEMA

Función SAD Celda Microbiana Devuelve Datos temperatura, pH, conductividad, voltaje CM, alarmas indicadores contaminación

Entradas: Tiempo de muestreo. Indicador activación LED UV. Señales temperatura, pH, conductividad, voltaje CM.

Hacer:

1. **Fijar.** Tiempo de muestreo, parámetros PID
2. **Activar.**
Si activación LED UV es solicitada, activar LED UV.
Activar control de temperatura para resistencia IR
3. **Iniciar lectura.** Activar lectura de ADC y sensor One-Wire.
Reportar tiempo de inicio a SD y GSM. Almacenar datos en SD
4. **Determinar Alarmas.**

(Prom., Indicadores) ← INDICADOR (calcular indicadores)

3. **Emitir Alarmas.** Reportar por GSM promedios superiores a los determinados como normales y/o indicadores de contaminación.
5. **Mostrar en pantalla lecturas.**

Si Lectura es solicitada en pantalla, mostrar lectura actual.

Si tiempo de lectura no ha terminado, continuar lectura.

5. **Terminar lectura.**

Si tiempo de lectura terminó o se ha solicitado fin de lectura, terminar lectura y reportar al sistema GSM.



Foto. 1 Equipo final

De las pruebas realizadas en laboratorio y en campo, se pudo verificar la autonomía de operación del equipo, hasta por 10 horas de lectura continua. Las variables medidas (temperatura del agua, pH, electro conductividad y voltaje en la celda microbiana), se pudieron registrar de manera permanente, en tiempos de muestreo configurables. De igual manera, la generación de alarmas se evidenció a través de la recepción de mensajes GSM en un teléfono celular. Se comprobó así mismo la versatilidad del equipo en cuanto a la reprogramación de los rangos que pueden considerarse como indicadores de riesgo. Y aunque, de acuerdo con las frecuencias máximas de cambio de cada señal, el tiempo de muestreo máximo para cada variable fue estimado en 15 minutos, de los distintos ensayos realizados, se evidenció que un tiempo de muestreo de un minuto es más adecuado para el análisis y comparación de todas las señales obtenidas.

IV. CONCLUSIONES

Se implementó un sistema de adquisición de datos para el monitoreo de magnitudes asociadas a la calidad del agua, con capacidad para leer señales de pH, electro conductividad, temperatura, y voltaje generado por una celda microbiana. El sistema permite el registro y almacenamiento de las variables en tiempos configurables de hasta 10 horas. A partir de un módulo GSM, el equipo diseñado posibilita la generación de alarmas a partir del análisis de máximos y mínimos en las variables leídas y el reporte de ellas a un móvil celular. El equipo construido cuenta con autonomía energética máxima de 12 horas. Los resultados obtenidos representan una alternativa y una innovación tecnológica que se encuentra en un nivel de maduración tecnológica TRL5. A partir del sistema construido, es posible proyectar aplicaciones que faciliten, complementen y/o reduzcan los tiempos de determinación de la calidad del agua, en beneficio de las comunidades más vulnerables.

REFERENCIAS

- [1] M. del P. Martínez A., “Objetivos de desarrollo sostenible (ODS, 2015-2030) y agenda de desarrollo post 2015 a partir de los objetivos de desarrollo del milenio (2000-2015) M^a del Pilar Martínez Agut Universitat de València”, *Quadernsaminacio.net*, No. 21, p. 16, 2015.
- [2] M. O. Navarro, “Determinación de escherichia coli y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar Chromocult”, *Ideam*, vol. 3, p. 17, 2007.
- [3] J. M. Obón de Castro, “Análisis microbiológico del agua”, *Man. Pract. Lab. Microbiol.*, pp. 1–29, 2018.
- [4] E. L. De Medeiros, F. B. S. De Carvalho, J. M. M. Villanueva, C. D. S. Moreira, and C. A. De Souza Filho, “Data Acquisition System Using Hybrid Network Based on LoRa for Hydraulic Plants”, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 70, 2021.
- [5] A. Murphy, I. Seymour, J. Rohan, A. O’riordan, and I. O’connell, “Portable Data Acquisition System for Nano and Ultra-Micro Scale Electrochemical Sensors”, *IEEE Sens. J.*, vol. 21, No. 3, pp. 3210–3215, 2021.

- [6] D. Mo, Y. Zhao, and S. Chen, “Automatic measurement and reporting system of water quality based on GSM”, *Proc. - 2012 Int. Conf. Intell. Syst. Des. Eng. Appl. ISDEA 2012*, pp. 1007–1010, 2012.
- [7] P. Ganguly, A. Bose, K. Chakraborty, A. Chakrabarti, and A. K. Dasgupta, “Development of a multi-fog based water quality monitoring system using bio-sensing platform”, *Proc. - 2018 IEEE 4th Int. Symp. Smart Electron. Syst. iSES 2018*, pp. 223–228, 2018.
- [8] I. Syamsu and D. Mahmudin, “An Application for Shrimp Aquaculture Data Collection and Automation”, pp. 111–115, 2015.
- [9] R. Kshirsagar, R. P. Mudhalwadkar, and S. Kalaskar, “Design and development of IoT based water quality measurement system”, *Proc. Int. Conf. Trends Electron. Informatics, ICOEI 2019*, no. Icoei, pp. 1199–1202, 2019.
- [10] S. R. Khaire and R. M. Wahul, “Water quality data analysis and monitoring system in IoT environment”, *Proc. 3rd Int. Conf. Contemp. Comput. Informatics, IC3I 2018*, pp. 326–330, 2018.
- [11] G. Wiranto, G. A. Mambu, Hiskia, I. D. P. Hermida, and S. Widodo, “Design of online data measurement and automatic sampling system for continuous water quality monitoring”, *2015 IEEE Int. Conf. Mechatronics Autom. ICMA 2015*, pp. 2331–2335, 2015.

Capítulo 23. Optimización del diseño mecánico de una turbina eólica portátil de eje horizontal tipo hawt mediante el uso de tecnologías CAD-CAE

Optimization of the mechanical design of a portable horizontal axis hawt-type wind turbine using CAD-CAE technology

Carlos Alberto Castillo Suárez¹, Freddy Alexander Jara Mora²

Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL
San Gil, Colombia

carloscastillo1@unisangil.edu.co
fjara@unisangil.edu.co

Palabras clave: — Turbina eólica, optimización, CAD, CAE, CFD, diseño experimental, análisis de rentabilidad.

I. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se refiere al tema de energías renovables que son fuentes de energías limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero -causantes del cambio climático- ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural.

El crecimiento de las energías renovables es imparable, como queda reflejado en las estadísticas aportadas anualmente por la Agencia Internacional de la Energía [1]. Según las previsiones de la AIE, la participación de las renovables en el suministro eléctrico global pasará del 26% en 2018 al 44% en 2040, y proporcionarán 2/3 del incremento de demanda eléctrica registrado en ese período, principalmente a través de las tecnologías eólica y fotovoltaica.

De acuerdo con la AIE, la demanda mundial de electricidad aumentará un 70% hasta 2040, elevando su participación en el uso de energía final del 18% al 24% en el mismo período -espoleada principalmente por regiones emergentes (India, China, África, Oriente Medio y el sureste asiático).

El informe de progreso en materia de energía proporciona un registro mundial del progreso relativo al acceso a la energía, la eficiencia energética y la energía renovable. Evalúa el progreso conseguido por cada país en estos tres pilares y ofrece una panorámica del camino que queda por recorrer para conseguir las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 [2].

Colombia, como un país en vía de desarrollo, debe aprovechar las energías renovables en forma práctica; si bien el país dispone de buenas fuentes para la generación de energía, como es el caso de las hidroeléctricas; también puede tener en cuenta su impacto sobre el medio ambiente y sobre las poblaciones cercanas a este. En algunos casos las fuentes de energía actuales tienen efectos positivos, pero es una realidad que dichas fuentes no son eternas; en consecuencia, es prioridad del gobierno avalar el buen aprovechamiento de las energías renovables, para bien de la sociedad y su entorno, con una naturaleza sostenible, con cobertura total y, sobre todo, de acuerdo con la nueva visión global de un mundo limpio y libre de emisiones nocivas.

Lo que en este proyecto se logra son los valores de las variables que intervienen en el diseño de la turbina eólica de eje horizontal mediante una simulación dinámica computacional de fluidos o CFD (del inglés: Computational Fluid Dynamics); un análisis financiero de la mejora, para evaluar la factibilidad del ejercicio de optimización; el ahorro generado por la optimización del torque y la potencia generada, y es comparada con la inversión requerida para mejorar estos parámetros de funcionamiento.

¹ Ingeniero de Mantenimiento UNISANGIL

² Docente, UNISANGIL. Ingeniero Mecánico UIS, PMP®, Especialista en Evaluación y Gerencia de Proyectos UIS.

II. METODOLOGÍA

En la tabla 1 se describen por cada fase los objetivos y resultados planteados como metodología del proyecto.

TABLA 1. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

FASES	OBJETIVOS	RESULTADOS
1. MARCO CONCEPTUAL	Explicar los conceptos fundamentales de la tecnología eólica necesarios para el diseño mecánico	El resultado de esta fase llevara a cabo el inicio de la fase 2 luego de la identificación de los conceptos y parámetros para la optimización.
2.OPTIMIZACION	Optimizar un prototipo virtual de turbina eólica portátil usando tecnología CAD-CAE y CAE CFD(dinámica de computacional de fluidos)	El resultado de la fase 2 es pasar de una turbina establecida (base) y optimizar su diseño para obtener un comparativo de dichas turbinas.
3. COSTO BENEFICIO	Se evaluará de una manera técnica y financiera el impacto real que tiene el proceso de optimización	Con la información obtenida en la fase 2, se procederá a realizar un análisis de los datos emanados y estructurar la viabilidad costo beneficio, del resultado obtenido.

III. OPTIMIZACIÓN

Los parámetros que se utilizaron para el desarrollo del proyecto salen de simulaciones CFD realizadas a los modelos de la línea base y a la propuesta mejorada. Estos parámetros son:

- Torque en el eje.
- Fuerza normal en las aspas.
- Velocidad de flujo del viento.
- Ángulo de ataque de las aspas.
- Rotación de las aspas de la turbina HAWT.

El proceso de optimización se toma de la siguiente manera:

1. Se investigan los datos de una turbina típica promedio (datos típicos de una turbina HAWT grande).
2. Se aplica una relación dimensional para reducir dimensionar una turbina típica HAWT grande, a una de tamaño portátil, cuya necesidad es la de ser más asequible por su menor tamaño y costo.
3. Se investigan datos de velocidad del viento, recopilados de la estación meteorológica de UNISANGIL para establecer una velocidad representativa para las simulaciones.
4. Con los datos de velocidad del viento y la información del redimensionamiento de las aspas, se realizan varias corridas de simulación CFD de la siguiente manera:

4.1. Para la velocidad del viento seleccionada, se definen varios ángulos de aspa y se mide el torque generado para cada ángulo.

4.2. Se traza una gráfica de torque versus ángulo, determinando cuál es el valor de máxima eficiencia de la turbina.

5. Se propone un rediseño de la forma del aspa con los resultados de la presión sobre el aspa, detectando puntos “calientes” (presión alta) y puntos “fríos” (presiones bajas), de tal modo que se maximice la diferencia de presiones entre las dos caras opuestas del aspa; al mantener esta diferencia lo más grande posible, aumentará el torque y, por tanto, aumentará la generación de energía. Para llegar a ello, se deben realizar los siguientes pasos:

5.1. Realizar un diseño experimental que determine, en función de los parámetros principales (geometría, velocidad sobre el perfil alar) para que se determine el ángulo de ataque más eficiente que aumente el torque en la turbina.

5.2. Realizar otra simulación CFD del diseño optimizado, para comprobar los datos mejorados de torque y determinar el aumento de potencia generada.

6. Con el aumento de eficiencia de la turbina, se efectúa un cálculo aproximado de costo-beneficio comparando varias alternativas de uso de la turbina optimizada.

IV. EVALUACIÓN. DEL PROYECTO

En la tabla 2 se presentan los valores comparativos del torque línea base y optimizado. Asimismo, en la Fig. 1 se presenta el resultado comparativo de las simulaciones antes y después de la optimización.

TABLA 2. VALORES COMPARATIVOS DEL TORQUE LÍNEA BASE Y OPTIMIZADO

	LÍNEA BASE	OPTIMIZADA	UNIDADES
Torque Z simulado =	-0.00400	-0.00400	N*m
Rotación =	50	54.1	rad/s
No. Palas =	3	3	-
Potencia =	0.6000	0.6492	W

Aumento = 8.2%

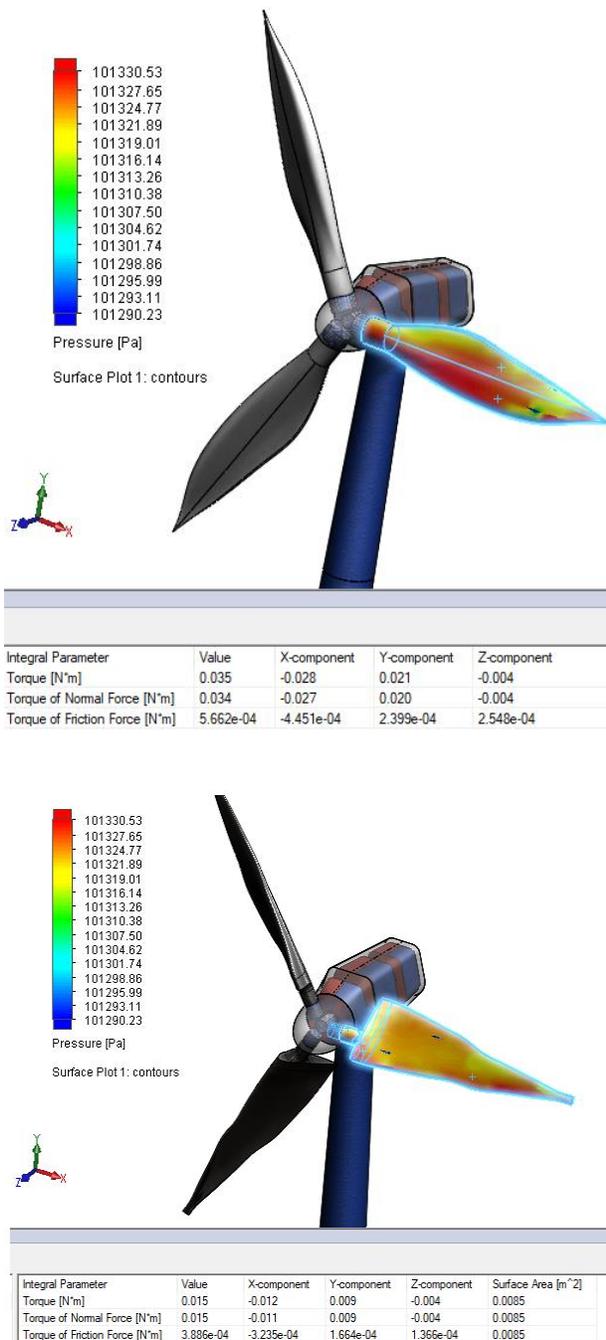


Fig. 1 Resultado comparativo de las simulaciones antes y después de la optimización.

Análisis costo/beneficio:

- Inversión en la nueva turbina. Se considera que la adecuación de las nuevas aspas con la geometría optimizada cuesta un aproximado de \$250.000 (pesos colombianos) haciendo una impresión 3D. El resto de la turbina se deja intacta, por tanto, no se tiene en

cuenta el costo total de la turbina, ya que es un análisis incremental.

- Costos de mantenimiento, transporte, importación no se tienen en cuenta, ya que este monto no varía entre la línea base y la versión optimizada, al tratarse de un análisis incremental.
- Ingresos por ahorro energético. Se tuvo en cuenta bajo el supuesto de un punto de operación de la turbina con una velocidad del viento máximo de 4 m/s durante 24 horas al día. El costo del kilovatio hora está en \$550 (pesos colombianos).
- Horizonte del proyecto: 5 años.
- Depreciación del activo: a 10 años.
- Desinversiones: se asume un valor de salvamento de 20% por encima del valor en libros.
- Se asume una tasa de descuento del 20%.

Para evaluar este impacto en la mejora, se tuvieron en cuenta las variables de las siguientes tablas 3, 4 y 5.

TABLA 3. VARIABLES TÉCNICAS DEL MODELO

Kilovatio hora	550	\$
Potencia eléctrica ahorrada	0.049	W
Segundos al año	31536000	s
Energía al año	1551571.2	W*s=J
Energía al año	0.430992	kWh
Energía al año	157.31208	kWh

TABLA 4. FLUJO DE CAJA DEL ANÁLISIS FINANCIERO DE LA OPTIMIZACIÓN

Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Ingresos		\$237	\$237	\$237	\$237	\$237	
Costos y gastos		\$ 25 000	\$ 25 000	\$ 25 000	\$ 25 000	\$ 25 000	
Inversiones	\$250 000						\$150 000
Flujo de caja	-\$250 000	\$ 237	\$ 237	\$ 237	\$ 237	\$ 237	\$150 000

TABLA 5. INDICADORES FINANCIEROS DEL MODELO

TIO	20%
VPN	-\$199 056
TIR	-8.1%

En el modelo financiero propuesto se puede observar que, a pesar de hacer una optimización del +8.2%, este incremento no es significativo para recuperar la inversión en la optimización de las palas, ya que el retorno es del -8.1%. Por otro lado, al asumirse que la turbina tiene que trabajar en el tercer cuartil de velocidad, la inversión es prácticamente inviable desde el punto de vista financiero. No obstante, como proceso de optimización, en la parte técnica es totalmente válido.

V. CONCLUSIONES

Se ha logrado la optimización del diseño del aspa de la turbina eólica tipo HAWT portátil, aumentado la potencia de salida en 8.2%, y conseguido que algunas zonas de ineficiencia pudieran ser eliminadas.

Desde el punto de vista técnico, se han obtenido una optimización positiva de la potencia de salida de la turbina; esta información está representada en planos, modelo CAD de la optimización, así como archivos de simulación CFD que pueden ser utilizados para posteriores ejercicios de optimización.

Desde el punto de vista financiero, el ejercicio de optimización no es lo suficientemente rentable, ya que comparando la potencia adicional del 8.2% en energía eléctrica producida y la inversión requerida para auspiciar esa mejora, tarda mucho tiempo en recuperarse, teniendo en cuenta que las aspas deben elaborarse con la nueva geometría.

Una optimización de una turbina de mayor tamaño podría ser factible financieramente, si se tiene en cuenta el factor de escala y que la turbina línea base tendría las mejoras u optimizaciones ya embebidas, lo que reduciría la inversión inicial a cero.

REFERENCIAS

- [1] Agencia Internacional de Energía. Extraído el 1° de junio de 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.preciopetroleo.net/aie-agencia-internacional-de-la-energia-2018.html>.
- [2] ONU. (2019). Extraído el 1° de junio de 2021 [En línea] Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- [3] Chain y Sapag. (2011). Extraído el 15 de mayo de 2021 [En línea] Disponible en: <http://www.utntyh.com/wp-content/uploads/2013/03/Preparacion-Y-Evaluacion-De-Proyectos-Sapag-Sapag.pdf>
- [4] ESSA. (2019). Electrificadora de Santander S.A. Extraído el 14 de abril de 2021. [En línea] Disponible en: <http://eee.essa.com/site/portals/0/documentos/misfacturas/tarifas/2020.pdf>
- [5] Glauret (1948). Extraído de Google Books el 12 de marzo de 2021. [En línea] Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=ML7uDAAAQBAJ&pg=PA133&lpg=PA133&dq=teoria+Glauret+en+1948&source=bl&ots=wKcY5YifEx&sig=ACfU3U25NLHzLO68a5Ds0kT3fnEr2piSyA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjuk77n7KTxAhWzGVkFHcl3DjoQ6AEwBXoECBQQAw#v=onepage&q=teoria%20Glauret%20en%201948&f=false>
- [6] ICFD. (2019). Defrost module. Extraído el 1° de junio de 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.danfoss.com/en/products/dcs/valves/icf-flexline-valve-station/icfd-defrost-module/>
- [7] Maryland Design. (2017). Extraído el 12 de marzo de 2021. [En línea] Disponible en: <https://peytonhomedesign.com/>
- [8] Tecnoeólicaenergía. (2018). Calvo. Extraído el 20 de mayo de 2021. [En línea] Disponible en: <https://sites.google.com/site/tecnoeolicaenergia/>
- [9] Talayero y Telmo. (2011) Extraído de Google books el 15 de marzo de 2021 sitio web: <https://books.google.com.cu/books?id=ML7uDAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- [10] UNISANGIL. (2018). Extraído de la estación meteorológica de la Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL.