

#GSHOG

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

ISSN: 2346 - 139X

EDICIÓN 16

cin

Corporación Unificada Nacional
de Educación Superior

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*“La ciencia puede descubrir lo que es cierto,
pero no lo que es bueno, justo y humano”*

MARCUS JACOBSON

#GshTag

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

EDICIÓN 16



Corporación Unificada Nacional
de Educación Superior

VIGILADA MINEDUCACIÓN

Jaime Alberto Rincón Prado

Rector

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN

Diana Patricia Camargo Ramirez

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Evy Fernanda Tapias Forero

Directora Nacional de Investigación y Extensión

#ashtag

Edición No. 16
ISSN (e) 2346 - 139X
Periodicidad: Semestral

© Junio, 2020. Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN
Bogotá, Colombia.

Composición de carátula y diagramación: Lina Guevara Buitrago
Imagen de carátula: JJ Ying en Unsplash

Primera edición: febrero de 2013

Reservados todos los derechos.

Se prohíbe el uso comercial y sin autorización del material intelectual contenido en esta obra. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida por ningún medio sin permiso del editor.

Equipo editorial

Darío Fernando Cortés

Editor en jefe

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN

Magíster en Electrónica y Telecomunicaciones

Daniela Lorena Rojas Galván

Correctora de estilo

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN

Magister en Filosofía

Juan David Acosta

Corrector de estilo

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN

Magister en Filosofía

Comité científico

Dante Sterpin Buitrago

Magister en Ingeniería de Sistemas y Computación

Pontificia Universidad Javeriana

Leila Ramírez Castañeda

Magister en Ingeniería Industrial

Universidad de los Andes

Roberto Ferro Escobar

Doctor en Ciencias de la Computación

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Yesid Díaz Gutiérrez

Magíster en Ingeniería de Software

Corporación Unificada Nacional de

Educación Superior - CUN

Sebastian Soto Gaona

Ingeniero Mecatrónico

Corporación Unificada Nacional de

Educación Superior - CUN

Yury Vanessa Nieto

Magíster en Tecnologías de la Información

Corporación Unificada Nacional de

Educación Superior - CUN

Contenido

1. El aprendizaje automático en la educación superior como herramienta para optimizar los índices de deserción y detectar los factores que la ocasionan

William Ruiz Martínez

Pág. **8**

2. Estudio de alternativa técnica para la estructuración empresarial de un sistema regional de aseo para la provincia de Rionegro, Cundinamarca, Colombia

Manuel Alberto Salgado Alba

Pág. **17**

3. Propiedades fisicoquímicas y nutricionales en la pre y poscosecha de la guayaba feijoa (*acca sellowiana*)

Leidy Daniela Rosero, Daniela Alexandra Hernández, Diana Paola Ortiz

Pág. **32**

4. Monitor de radiación ionizante aplicando principios de la industria 4.0

Erwin Alexander Aguirre Ordoñez, Bryan Leandro Quiroga Gavilán

Pág. **44**

5. Machine Learning como estrategia pedagógica lúdica para planeación de producción

Leila Nayibe Ramírez, Ana María Villamil,

Andrea Patricia Vásquez, & Mariluz Osorio

Pág. **65**

.....

EDITORIAL

UN NUEVO PARADIGMA PARA LA CIENCIA

Las circunstancias vividas en el año 2020 nos dieron una amarga prueba de humildad; durante el último siglo la humanidad se vanaglorió de sus avances en temas de salud, ciencia y desarrollo, y nos condujo a pensar que estábamos en el pináculo de la historia y que nuestro estilo de vida nos permitiría dedicarnos a la contemplación, según el ideal aristotélico, o a temas más trascendentales, como la recuperación del planeta o los objetivos de desarrollo sostenible, sin tener que preocuparnos por una epidemia a escala global.

En lo corrido de este año, hemos sido testigos de cómo lo que dábamos por sentado se puede esfumar en cuestión de semanas; pasamos de los rumores, la incredulidad y el total desconocimiento —a principios del 2020— a contabilizar las muertes por miles, en la medianía del año.

Ante este panorama, han aflorado los más profundos sentimientos religiosos, al tiempo que se le exige una respuesta a la ciencia. Nos vimos sometidos a un confinamiento, primero voluntario y luego obligatorio; al abandono de las mascotas, por el temor a una posible fuente de contagio; al empleo de soluciones como el dióxido de cloro, que tiene más de mística que de científica. Todo eso, mientras un ámbito de la ciencia pone el pecho a la situación, con la fabricación de respiradores artificiales, para tratar de mitigar la sobresaturación en las unidades de cuidados intensivos y la búsqueda de una vacuna combativa, que necesita de un proceso científico meticuloso, para encontrar muestras de candidatos, realizar pruebas y —finalmente— demostrar su eficacia, tal como lo obliga el método científico, creado por Galileo, hace más de 400 años.

La presente edición de Hashtag, recopila una selección de artículos sobre nutrición, tratamiento de basuras, machine learning, ciberseguridad y formación investigativa. En conjunto, siguen ese mismo camino señalado por Galileo, para llegar a la verdad científica y hacer su minúsculo aporte al bienestar de la humanidad. El tiempo de pandemia y pos pandemia, exigen de la rigurosidad de la ciencia, para emerger del pasaje espantoso y ser resilientes con las experiencias vividas .

Dario Fernando Cortés

Editor

El aprendizaje automático en la educación superior como herramienta para optimizar los índices de deserción y detectar los factores que la ocasionan

Machine learning in higher education as a tool to optimize dropout rates and detect the factors that cause them

William Ruiz Martínez*

Recibido: 13 - 03 - 2020 / Aceptado: 21 - 04 - 2020 / Publicado: 26 - 06 - 2020

Resumen:

La deserción escolar se ha convertido en una de las grandes preocupaciones de las instituciones de educación superior ya que de la permanencia de sus estudiantes depende en cierto grado su propia sustentabilidad económica. Para nadie es un secreto que la actual situación económica del país, y otros factores como la reticencia de los estudiantes a cursar programas educativos extensos, cada vez llaman menos la atención de los estudiantes. Atenuantes como el difícil y exigente panorama laboral y los elevados costos de matrículas de ciertas instituciones educativas contribuyen a desincentivar el ya minado y reducido mercado estudiantil. Es por ello que las universidades deben reinventarse y plantear nuevas alternativas y métodos de educación donde la realidad laboral coincida y sea congruente con los conocimientos impartidos en las aulas de clase. Para poder estar seguro de cuáles son las causas de la deserción escolar no basta con presumir, sino que se deben comprobar los verdaderos factores de la deserción. Consecuentemente el objetivo del presente artículo es presentar una revisión de diferentes estudios relacionados con la deserción escolar en ámbitos de educación superior y establecer cómo se puede predecir dicha deserción basándose en la aplicación de diferentes modelos y algoritmos de aprendizaje.

Abstract:

School drop-out has become one of the main concerns of higher education institutions since the permanence of their students depends to a certain extent on their own economic sustainability. It is not a secret that the current economic situation in the country, and other factors such as the reluctance of students to pursue extensive educational programs, are less and less striking. Mitigating factors such as the difficult and demanding job landscape and the high tuition costs of certain educational institutions contribute to discourage the already undermined and reduced student market. Therefore it is necessary to reinvent universities and plan new alternatives and methods of education where the market reality coincides and is consistent with the knowledge taught in classrooms. In order to be sure of the causes of dropping out it is not enough to assume the relevant factors, but the true factors must be verified, which is why the objective of this article is to present a review of different studies related to dropping out of schools of higher education and establish how such dropout can be predicted based on the application of different learning models and algorithms.

Palabras clave:

datos, inteligencia, negocios, modelos predictivos, transformación.

Cómo citar: Ruiz Martínez, W. (2020). El aprendizaje automático en la educación superior como herramienta para optimizar los índices de deserción y detectar los factores que la ocasionan. *Hashtag*, (16), 8-16

Keywords: data, intelligence, business, predictive models, transformation

Declaración de conflictos

de interés: el autor declara no tener ningún conflicto de interés

* Magister en dirección estratégica de Ingeniería de software, UNINI, Especialista en Gerencia de proyectos, Ingeniero de Sistemas, Docente asociado del programa de Ingeniería de Sistemas, miembro del grupo de investigación Axón, william_ruizmar@cun.edu.co - Bogotá/Colombia

Introducción

Una de las grandes problemáticas que se vienen presentando en los distintos programas de educación superior en todo el territorio es la deserción escolar; Dicho factor se ha convertido en una de las principales causas de que muchos de nuestros educandos no continúen sus estudios, claro que es pertinente aclarar que este no es el único factor asociado a las altas tasas de deserción escolar. Por otra parte tenemos otros factores: bajos ingresos, altos costos en las matrículas, imposibilidad de acceso a créditos educativos equitativos y justos, poco o nulo acceso al exigente y discriminativo mundo laboral, falta de claridad al seleccionar el programa de estudio, desinterés y poca motivación en el desarrollo de actividades escolares, etc. Es importante aclarar que cuando un estudiante deserta de un programa académico no solo es un impacto económico y motivacional para él no poder optar por un título tecnológico o profesional, sino que además representa un impacto que causa desequilibrio y desmotivación para el alumno. Por otra parte, también se considera un fracaso para la institución de educación superior, el perder un alumno que más tarde hubiera podido ser un gran profesional aportando conocimientos y experiencias no solo al país, sino a la institución donde se formó. Por razones como las anteriormente presentadas se hace necesario adoptar prácticas y metodologías de apoyo en base al contexto del alumno teniendo en cuenta aspectos como su ambiente familiar y su entorno económico y social. Para expertos como el PhD Dursun Delen, de la Oklahoma State University, "Es evidente que se debe apuntar hacia la retención estudiantil como un mecanismo que haga parte de muchos modelos de gestión de matrículas, debido a que este se convierte en un factor de influencia en las clasificaciones de las universidades a nivel local, regional, nacional e internacional, además de afectar la reputación y sus estados financieros". (Delen, 2010)

El profesor Delen se basó en una muestra de cinco años de datos institucionales y desarrolló una se-

rie de modelos que pretendían analizar y explicar las posibles causas que incidían en la deserción de los estudiantes de primer año. Entre sus principales conclusiones se pudieron evidenciar variables como las educativas, en términos de no asimilar contenidos y temáticas por parte de los estudiantes, y como las financieras, que no permitían dar continuidad a los estudios o que no permitían que el dinero para financiar los estudios llegara o se consiguiera en los tiempos estipulados por las instituciones. Estas variables anteriormente descritas se consideraban los principales predictores en las deserciones.

Este tipo de estudios cuenta con varias aplicaciones de tipo práctico. Con un algoritmo apropiado, aunados a la entrega adecuada de datos, el Machine Learning permite:

- Detección anticipada de estudiantes que presentan alto riesgo de deserción.
- Determinar y clasificar los factores de riesgo que ocurren con más frecuencia.
- Diseñar y presentar informes sobre las principales causas y factores de riesgo que inciden en la deserción estudiantil.

Lastimosamente la deserción estudiantil es una situación que no se puede evitar del todo, con la que toda institución de educación superior tiene que aprender a convivir y que se puede ver representada a través de indicadores de deserción. En unas instituciones estos indicadores pueden ser más altos que en otras, pero al fin y al cabo muestran que los alumnos han dejado de asistir a clase; este tipo de situaciones causan de un modo u otro un impacto en los resultados que obtienen estas instituciones de educación superior en cada periodo académico y terminan por convertirse en una avalancha de efectos colaterales para futuras adecuaciones, proyección de nuevos espacios de clase, ampliaciones de infraestructura y otros atenuantes de gran significado para la institución

y los estudiantes. Sin embargo, se trata de un reto que presenta diversas variantes y como tal debe de ser abordado. En este caso, los enfoques basados en el análisis de datos y en los modelamientos de tipo predictivo han confirmado ser efectivos para identificar posibles causas o factores de índole temprana que pueden causar afectaciones o incidir en la deserción escolar de modo tal que se puedan diseñar y elaborar planes de acción que permitan identificar a los alumnos que muestran una mayor tendencia hacia la deserción en sus respectivos programas de estudio.

Este proceso toma un primer acercamiento cuando se puede identificar en forma temprana a los alum-

nos que más posibilidades presentan de ser candidatos a desertores. Mediante el entrenamiento de modelos predictivos a través de técnicas de predicción se pueden llegar a identificar patrones de deserción en cada uno de los alumnos. A continuación, se sigue con la definición de acciones de retención que ya se encuentran estandarizadas según las causas, motivos o circunstancias que pueden dar origen a la deserción y se realiza un monitoreo y control a través de tableros de control que permiten resaltar o dar una mayor visibilidad a los estudiantes o grupos que planean desertar y resaltan la efectividad de las acciones aplicadas para que esta situación no ocurra.

Materiales y métodos

Para la obtención de las referencias documentales se utilizaron varios tipos de fuentes. Entre las principales búsquedas bibliográficas se utilizaron bases de datos como: Microsoft Academic, Google escolar, Redalyc y Base. Una vez obtenido el material se procedió a una evaluación y clasificación del

material obtenido y se seleccionaron solo aquellos documentos que tuvieran una relación directa con la aplicación de algoritmos y modelos de aprendizaje para la predicción de posibles factores y causas en la deserción escolar.

La deserción estudiantil y sus factores más relevantes

la deserción estudiantil se puede interpretar como el cese o receso de los estudiantes para con la institución educativa que originalmente los acogió y que surge debido a una combinación de factores que se presentan en diferentes contextos y situaciones, entre los más representativos: La familia, la sociedad, el ambiente escolar y la percepción individual de esta situación. (Guadalupe, Dorantes, y Can Valle, 2019).

De acuerdo con la cita anterior este tipo de contextos en la mayoría de los casos implican un abandono parcial y muchas veces definitivo

de una institución educativa o una universidad después de haberse matriculado y, por lo tanto, impiden la finalización del nivel o grado de estudio para el cual el estudiante había realizado su inscripción. Según lo expuesto por Felizzola (2018) "el abandono o deserción escolares de forma prematura es un fenómeno de gran complejidad que involucra varios factores en el ámbito social, económico, familiar, psicológico y académico del estudiante". Teniendo como base estudios previos del Ministerio de Educación Nacional (MEN), estos indican que entre los factores más concluyentes sobre la deserción se han encontrado los siguientes: género, estrato socioeconómico, nivel educativo

de los padres, ingresos económicos de la familia, clasificación según el SISBÉN, resultados de las Pruebas de Estado Saber 11°, ocupación del joven y número de personas que componen el núcleo familiar. En instituciones de educación superior donde la mayoría de los estudiantes provienen de estratos 1 y 2 esta situación se trata de manejar en el factor económico mediante el ofrecimiento de descuentos bastante representativos en las matrículas hasta del 35%. (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2009, p. 129)

El MEN define la deserción de la siguiente manera:

“Un tipo de escenario al que se ve abocado un estudiante al realizar un proyecto educativo y no poderlo culminar en forma exitosa, en este tipo de situaciones se considera como desertor a aquella persona que siendo estudiante de una institución de educación superior no ha presentado ningún tipo de actividad de índole académico por el espacio de dos semestres en forma consecutiva, lo cual representaría un año de inactividad académica”.(Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2009, p. 79)

Pueden por lo tanto presentarse dos tipos de deserción: una que se puede encauzar en el factor tiempo y otra que puede ser encausada en el espacio. Con relación al factor tiempo la deserción o abandono escolar se clasifican como: abandono prematuro, deserción temprana y tardía. Con relación a la deserción espacial, esta se puede clasificar en deserción institucional o en deserción del programa interno que se encuentra cursando el estudiante. Si de deserción prematura hablamos, esta puede ser definida como aquella donde el alumno ha sido admitido en un programa de formación en una institución de educación superior, pero aún no se encuentra matriculado. En cuanto a la deserción temprana, esta puede ser considerada como el abandono de los estudios por parte del estudiante en los primeros semestres de la carrera. En cuanto a este último tipo de deserción

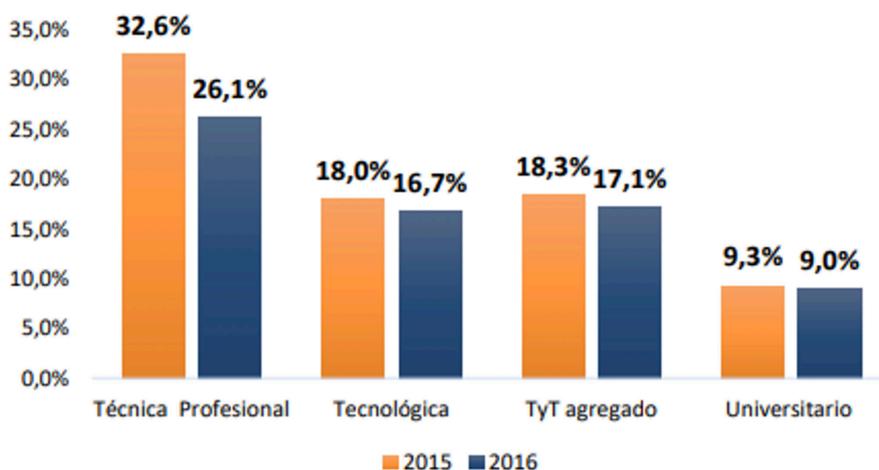
se ha encontrado que muchos de los estudiantes tenían una percepción muy diferente del programa de formación en relación a los conocimientos y temáticas vistas en el aula de clase, o simplemente se dieron cuenta de que el programa de formación no cumplía las expectativas que se habían trazado inicialmente sobre él. La deserción tardía puede ser considerada como el abandono de los estudios en los últimos semestres de la carrera (Tinto, 1982), este tipo de deserción es la menos común y se encuentra relacionada con problemas muy específicos para los cuales es bastante complejo encontrar una solución a corto plazo por parte del estudiante. En vista de la complejidad del problema y las repercusiones a gran nivel que genera en el entorno social, académico y laboral las instituciones de educación superior se encuentran muy interesadas en planear y diseñar un conjunto de estrategias para intervenir en estos casos específicos con la finalidad de disminuir las tasas de deserción. La gran problemática es que muchas de estas estrategias propuestas adolecen de efectividad y certeza en su diseño y aplicación debido a que no tienen en cuenta el origen y diversidad de las causas presentadas. Desde otro punto de vista, se hace necesario que la información presentada sea confiable y precisa de forma tal que permita caracterizar a la población objeto de estudio para identificar los posibles casos de deserción antes de que estos ocurran, esto permite el poder diseñar, planear y ejecutar verdaderas acciones preventivas que realmente permitan disminuir las tasas de deserción en forma eficaz (Felizzola, 2018).

Según el Banco Mundial, el 42% de los jóvenes que logran ingresar a la universidad o a una institución de enfoque técnico o tecnológico terminan por abandonar sus estudios. Es tan preocupante el panorama que esta situación ha llevado a nuestro país a ocupar el para nada honroso segundo lugar en el ranking de deserción en la región de Latinoamérica, superado por Bolivia y seguido muy de cerca por Ecuador y Panamá, en tercer y cuarto lugar respectivamente. (Semana, 2018)

Se presentan propuestas que tratan de dar u ofrecer una solución al problema de la deserción, una de las propuestas consiste en aplicar una evaluación estandarizada y homogeneizada que permita identificar el grado de aprendizaje de sus alumnos. Para poder evaluar los resultados, el 70% de la calificación estaría enfocado en el formato mismo de la prueba y el otro 30% estaría a cargo de cada uno de los docentes mediante el desarrollo de pruebas cortas, trabajos en clase, investigaciones fuera del aula de clase o simplemente el mecanismo de

evaluación que el docente considere más pertinente (Ministerio de Educación Nacional, 2016). Otra de las herramientas propuestas es el crear un mercado de competencias, de modo tal que los docentes puedan demostrar sus capacidades y habilidades, así como su experiencia en la orientación de las temáticas propuestas para desarrollar y orientar en forma idónea un área o asignatura específica. En la figura 2 podemos apreciar las tasas de deserción a nivel nacional por ciclos pedagógicos.

Figura 1: Tasa de deserción por nivel de formación



Fuente: Ministerio de Educación Nacional 2016

El aprendizaje de máquina

El aprendizaje automático o Machine Learning se puede considerar como una disciplina que a través del uso de dispositivos computacionales, puedan aprender a extraer un conjunto de patrones y similitudes que hay en nuestros datos por sí solos, es decir que se plantea que estos modelos permiten al computador a aprender de los mismos datos que se encuentra procesando. La idea es que dichos patrones puedan ser usados posteriormente para predecir comportamientos y puedan tener gran validez en el proceso de toma de decisiones (Telefónica educación digital, 2019).

En resumen, podríamos concluir que el aprendizaje de máquina es una técnica para recopilar y analizar datos que para su funcionamiento se basa en el estudio y forma en que se han comportado datos históricos de transacciones o procesos y su posterior comparación con una serie de patrones o incidencias que permitan establecer o predecir el comportamiento de estos datos en el futuro.

Los autores Russo, Ramón, Alonso, Cicerchia, Esnaola y Tessore Introdusen el concepto de aprendizaje de máquina como una de las ramas

de la inteligencia artificial que abarca una serie de técnicas que posibilitan el aprendizaje automático mediante el entrenamiento a través de grandes volúmenes de datos (Russo et al., 2016). Es por ello que en la actualidad se plantea el uso de diferentes modelos que hacen uso de esta técnica y permiten lograr una precisión en sus resultados muy por encima de los estándares que los seres humanos obtienen en las tareas similares, uno de los ejemplos más dicientes es el del reconocimiento de

objetos en una imagen. La construcción de modelos de aprendizaje automático requiere sus propias adaptaciones debido a situaciones como el origen, formato y naturaleza de los datos o los problemas a los que se aplica el modelo para resolver una problemática en especial. Por tanto, se plantea la necesidad de investigar las diferentes técnicas que permitan obtener resultados precisos y fiables en un tiempo razonable y bajo condiciones similares.

Modelos predictivos

Delen (2010) presentó un enfoque apoyado en los factores de retención tomando como punto de referencia los estudios de marketing y minería de datos "churn analysis", en este análisis se analizaron datos mediante analítica descriptiva en relación con un lapso de cinco años de datos históricos. Para dicho proceso se hizo uso de herramientas de minería de datos tales como las máquinas de soporte vectorial, redes neuronales artificiales, árboles de decisión (C5) y regresión logística, Lo que permitió obtener como resultado una capacidad predictiva promedio del 80% y, consecuentemente, permitió demostrar que factores como los académicos y financieros son los más relevantes en la aplicación de este modelo.

Zhang, Oussena, Clark y Hyeonsook (2010) Llevaron a cabo un sistema de minería de datos que contemplaba aspectos académicos y el análisis de deserción con las variables que presenta Tinto (1982). Para ello recolectaron datos de 3 años de registros universitarios sobre una población de 5,458 estudiantes. En dicho estudio hicieron uso de herramientas de minería de datos, como el algoritmo de Naive Bayes, la máquina de soporte vectorial y el árbol de decisión; posteriormente se pudo concluir que el algoritmo de Naive Bayes fue el que ofreció una mejor precisión con una efectividad del (89,5%).

Heredia, Amaya y Barrientos (2015) Construyeron un modelo predictivo relacionado con la deserción

escolar de un grupo de estudiantes en la universidad Simón Bolívar. El objetivo de dicho modelamiento permitía predecir la probabilidad de que un alumno termina desertando de un programa de estudio. Para el estudio en cuestión los autores utilizaron herramientas relacionadas con minería de datos como los algoritmos ID3, el algoritmo C4.5 y los árboles de decisión, logrando una precisión hasta del 92.9%.

Ji-Wu y Mareboyana (2013) se dieron a la tarea de proponer algoritmos que pudieran ser empleados para monitorear la retención en estudiantes de programas de pregrado. El estudio también permitió realizar un conjunto de mejoras a algoritmos de clasificación ya conocidos como las máquinas de soporte vectorial (SVM), los árboles de decisión y las redes neuronales. De las tres técnicas empleadas en el estudio se pudo obtener un mejor conjunto de resultados con las redes neuronales con una efectividad del 94.16%.

Formia, Lanzarini y Hasperue (2013) presentaron un modelo que se encargaba de predecir la probabilidad de un grupo de estudiantes en la Universidad Nacional de Rio Negro (UNRN), En este modelo se tomó como referente del análisis la sede atlántica de dicha institución y como programa objeto de estudio la licenciatura en sistemas. Para lograr su fin los autores emplearon herramientas de

minería de datos como el algoritmo C4.5 con una tasa de precisión del 71.65%.

Fischer y Ángulo (2012) nos presentan la propuesta de una metodología para identificar mediante modelos de aprendizaje automático los estudiantes que presentaban el riesgo más elevado de deserción en los programas de Ingeniería de la Universidad de las Américas. Para poder llevar a cabo este proyecto se tomó como referente la metodología CRISP-DM, la cual es una metodología especializada en proyectos de ciencia de datos y permite estructurar el proceso en seis fases que interactúan entre ellas mediante un modelo iterativo. En cuanto al modelamiento como

tal se aplicaron redes neuronales, árboles de decisión y clúster K-medianas, los cuales eran los encargados de analizar la conducta de los estudiantes y así mismo permitían la evaluación de factores como el promedio obtenido en la prueba inicial de selección universitaria conocida como PSU. También se tuvieron en cuenta otros datos como el promedio de notas obtenidas en la formación de enseñanza media, la fecha de ingreso a la universidad y el género de los estudiantes. La precisión de los modelos es calculada teniendo como punto de partida un conjunto de datos de prueba, lo que finalmente indicó que ninguno de los modelos predictivos arrojó resultados positivos.

Conclusiones

La deserción estudiantil es una de las grandes problemáticas de las universidades y demás instituciones de educación superior, debido a que de la permanencia de sus estudiantes depende en cierto grado de su propia sustentabilidad económica.

Encontramos una gran diversidad de factores en contextos sociales, familiares y de tipo individual que inciden en la deserción escolar, lastimosamente estos contextos implican un abandono parcial o definitivo de la institución y, lógicamente, pérdida de tiempo y recursos económicos por parte de la familia y el estudiante.

Se pudo evidenciar que muchas de las políticas, planes de acción o estrategias desarrollados por las instituciones de educación superior para erradicar la deserción estudiantil no tienen éxito ya que se enfocan solo en uno o unos de los posibles factores, pero no tienen en cuenta el contexto individual de cada uno de los estudiantes.

El aprendizaje de máquina es una disciplina o área que forma parte de la inteligencia artificial y que busca que los dispositivos que posean algún tipo de capacidad computacional puedan aprender a prede-

cir futuras situaciones o comportamientos mediante el análisis de patrones e información histórica.

El uso de modelos predictivos ha demostrado ser una herramienta invaluable en el proceso de análisis de la deserción mediante la aplicación de diferentes algoritmos, unos con mayor precisión en los resultados que otros. En los diferentes estudios presentados utilizando modelos predictivos se encuentran la aplicación de algoritmos como el de Bayes, o el uso de árboles de decisión, redes neuronales y máquinas de soporte vectorial, con capacidades predictivas entre el 71,65% y el 94,16%.

En cada uno de los modelos y algoritmos presentados, se presenta la posibilidad de que al inicio del estudio los resultados o predicciones arrojadas no sean las ideales, se mejoran estos escenarios dependiendo de los modelos y algoritmos utilizados en cada situación hipotética. Es decir que no siempre un algoritmo o modelo funciona de forma adecuada con un conjunto de datos, es por ello que se deben generar y aplicar diferentes modelamientos y algoritmos de aprendizaje para establecer cuál de ellos es el más ideal en cada contexto específico.

Referencias

- Delen, D. (2010). A comparative analysis of machine learning techniques for student retention management. *Decision Support Systems* 49(4), 498–506. doi:10.1016/j.dss.2010.06.003
- Felizzola, H., Jaime, A., Pedroza, F., y Castillo, A. (2018). Modelo de predicción para la deserción temprana en la facultad de Ingeniería de la Universidad de la Salle. En C. Lozano (Presidencia), *Gestión, calidad y desarrollo en las facultades de ingeniería*. Conferencia llevada a cabo en el congreso Encuentro Internacional de Educación Superior ACOFI (págs. 21-29). Cartagena de Indias, Colombia.
- Fischer, E. (2012). *Modelo para la automatización del proceso de determinación de riesgo de deserción en estudiantes universitarios* (Tesis de maestría). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Formia, S., Lanzarini, L. C., & Hasperue, W. (2013). *Caracterización de la deserción universitaria en la UNRN utilizando minería de datos*. *Revista Iberoamericana de Tecnología En Educación y Educación En Tecnología*, 11, 92-98.
- Guadalupe, A., Dorantes, A., y Can Valle, A.R. (2019). Factors that influence in school dropout in higher education students from a perspective. *International journal of Advanced Research*, 7(12), 23-29. doi: 10.21474/IJAR01/10119
- Heredia, D., Amaya, Y., y Barrientos, E. (2015). Student Dropout Predictive Model Using Data Mining Techniques. *IEEE Latin America Transactions*, 13(9), 3127-3134.
- Ji-Wu, J., y Mareboyana, M. (2013). Machine Learning Algorithms and Predictive Models for Undergraduate Student Retention. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. Conferencia llevada a cabo en el World congress on Engineering & Computer science 2013. San Francisco, Eu.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2009). *Deserción estudiantil en la educación superior colombiana*. Recuperado de https://www.mineduacion.gov.co/sistemas-deinformacion/1735/articles-254702_libro_desercion.pdf
- Ministerio de Educación Nacional. (2016). *Reporte sobre deserción y graduación en educación superior año 2016*. Recuperado de <https://bit.ly/3HbqVm9>
- Russo, C.C., Ramón, H.D., Alonso, N., Cicerchia, B., Esnaola, L., y Tessore, J. P. (2016). Tratamiento masivo de datos utilizando técnicas de machine learning En *XVIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación; WICC 2016* (pp. 131-134). Entre Rios, Argentina: Facultad de Ciencias de la Administración.
- Semana. (2018, abril, 11). ¿Cómo puede Colombia reducir la deserción universitaria?. Semana. Recuperado de <https://bit.ly/3oU1wXs>

Telefónica educación digital. (14 de 03 de 2019). MiriadaX. Recuperado de: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/educacion-y-competencias-para-la-era-digital-la-necesidad-de-mejorar-nuestras-habilidades-y-volver-a-capacitarnos/>

Tinto, V. (1982). Limits of Theory and Practice in Student Attrition. *The Journal of Higher Education*, 53(6), 687-700.

Zhang, Y., Oussena, S., Clark, T., y Hyeonsook, K. (2010). Using data mining to improve student retention in higher education. En J. Cordeiro (Presidencia). Ponencia realizada en *International Conference on Enterprise Information Systems ICEIS*. Lisboa

Estudio de alternativa técnica para la estructuración empresarial de un sistema regional de aseo para la provincia de Rionegro, Cundinamarca, Colombia

Technical alternative study for the business structuring of a regional sanitation system for the province of Rionegro, Cundinamarca, Colombia

Manuel Alberto Salgado Alba*

Recibido: 20 - 02 - 2020 / Aceptado: 21 - 05 - 2020 / Publicado: 26 - 06 - 2020

Resumen

En la actualidad la estructuración de los Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento en Colombia se ajusta, entre otros, a la implementación efectiva de esquemas de regionalización del manejo de residuos sólidos, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley 1450 de 2011. En consecuencia, se realizó el diseño y selección de una alternativa técnica para la operación de transporte a disposición final y aprovechamiento de residuos sólidos. Ello funcionó como base para la estructuración empresarial de un sistema regional de aseo para la provincia de Rionegro, Cundinamarca (Colombia).

Summary

Nowadays, the structuring of the Departmental Plans for the Business Management of Water and Sanitation Services in Colombia is adjusted, among others, the effective implementation of regional schemes for solid waste management, in accordance with Law 1450 of 2011. Consequently, the design and selection of a technical alternative for the operation of transport to final disposal and use of solid waste was made as a basis for the business structuring of a regional cleaning system, for the province of Rionegro, Cundinamarca (Colombia).

Palabras clave: disposición final, relleno sanitario, planta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, planta de transferencia, gestión integral de residuos sólidos, Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento.

Cómo citar: Salgado Alba, M. (2020). Estudio de alternativa técnica para la estructuración empresarial de un sistema regional de aseo para la provincia de Rionegro, Cundinamarca, Colombia. Hashtag, (16), 17-31

Keywords: Final Disposal, Sanitary Landfill, Organic Solid Waste Management Plant, Transfer Plant, Solid Waste Integral Management, Departmental Plans for The Business Management of Water and Sanitation Services.

Declaración de conflictos de interés: el autor declara no tener ningún conflicto de interés

* Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Especialista en Ingeniería Ambiental, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Master of Business Administration, Broward International University, Estados Unidos de América. Afiliación: Investigador de la Dirección Nacional de Investigaciones y docente del Área de Ciencias Básicas de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior – CUN, Bogotá, D.C., Colombia. E-mail: ingmanuelsalgado@yahoo.es y manuel_salgado@cun.edu.co

Introducción

En Colombia, la Ley 1450 de 2011 establece que la estructuración y funcionamiento de los Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento, PDA, se ajustarán a las características locales, la capacidad institucional de las entidades territoriales y personas prestadoras de los servicios públicos y la implementación efectiva de esquemas de regionalización. Esto ha incentivado el diseño y estudio de esquemas de

regionalización del servicio de aseo que disminuyan costos y eleven el estándar de prestación de dicho servicio. El objetivo de la investigación fue diseñar y seleccionar una alternativa técnica para la operación de transporte a disposición final y aprovechamiento de residuos sólidos, con miras a la estructuración empresarial de un sistema regional de aseo para la provincia de Rionegro.

Materiales y métodos

Se recolectó información acerca de los residuos sólidos de cada uno de los ocho municipios de la provincia de Rionegro. Esos datos se obtuvieron a través de trabajo de campo y por la información disponible al público en los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, de cada municipio (Gobernación de Cundinamarca, 2019). También se pudo acceder a ello a través del Sistema Único de Información, SUI, de la Superintendencia de Servicios Públicos. Se elaboraron alternativas para el transporte y aprovechamiento de residuos sólidos a nivel regional y se seleccionó la más viable para cada región.

Para el desarrollo del estudio técnico se contemplaron tres fases de acuerdo con el siguiente orden metodológico. La fase I consistió en dos etapas. La primera de ellas fue de verificación en campo que incluyó la recolección de información técnica sobre gestión, infraestructura y equipo para la operación en cada componente de la prestación del servicio de aseo, en los municipios de Pacho, El Peñón, La Palma, Paime, San Cayetano, Topaipí, Villa Gómez y Yacopí, de la Provincia de Rionegro, Cundinamarca. Una segunda etapa incluyó la recopilación y análisis de información de los PGIRS de cada municipio (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Minvivienda, s.f) e información de cada uno existente en las Empresas Públicas de Cundi-

namarca, EPC. Una tercera etapa consistió en la elaboración del estado del arte.

La fase II de estructuración de alternativas incluyó una etapa de construcción de escenarios y una etapa de selección del mejor escenario. Esta fase contempló elaboración de esquemas técnicos de operación regional de cada componente del servicio de aseo (segregación en la fuente, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final) para cada alternativa. Con base en una matriz comparativa, se definió cuál de los escenarios conformados es el de mayor factibilidad.

La fase III consistió en la selección, desarrollo y documentación de la mejor alternativa. Entre los aspectos que se revisaron para el esquema técnico están los siguientes:

- Generales. Hace referencia a la población objetivo.
- Aprovechamiento. Aspecto relacionado con la infraestructura y el equipo existente.
- Recolección y transporte. Este refiere a las características de los vehículos de recolección y transporte: tipo (compactador, volqueta, tractor), propiedad (dependencia mu-

nicipal a la que pertenece), marca, modelo, cilindraje (centímetros cúbicos), capacidad de carga (toneladas), estado (operativo, en adecuación, no operativo)

- Caracterización de residuos sólidos. En este se consideran las cantidades y los porcentajes de los siguientes tipos de residuos: orgánicos, vidrio, papel, cartón, chatarra, plástico, madera, icopor, sanitarios, textil y otros; y parámetros como: sólidos totales, sólidos volátiles, contenido de humedad, cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo
- Cobertura del servicio de aseo. Se contempla el área total del municipio (hectáreas), el área rural y urbana servidas; así como el porcentaje del área total servida, el del área rural servida y el del casco urbano servidos.
- Tipo de usuario. Medido en el número de usuarios en los estratos residenciales (estrato bajo, estrato medio-bajo, estrato medio,

estrato medio-alto), comercial, industrial e institucional

- Cantidades de residuos sólidos. Medido en toneladas por mes de los siguientes residuos: generados, enviados a disposición final, aprovechados (orgánicos y reciclados) y reciclables. También se revisó la producción per cápita de residuos sólidos o PPC (Kilogramos / habitante * día)
- Barrido y limpieza de áreas. Considera los kilómetros de vías y kilómetros equivalentes de áreas públicas barridos en áreas urbana y rural, así como los correspondientes porcentajes respecto al total de vías municipales.
- Disposición final. Medido en el número de viajes a relleno, tiempo promedio de viaje a relleno sanitario, distancias a relleno sanitario, distancias a plantas de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, número de peajes en recorridos

Consideraciones éticas

A cada uno de los municipios indagados se le envió comunicación por escrito con información sobre la naturaleza del estudio, fechas de visita y los correspondientes instrumentos de captura de datos. En campo se obtuvo la firma del consentimiento informado y en posteriores reuniones de socialización,

llevadas a cabo en la EPC, se comunicaron los hallazgos del proceso y los resultados finales. Estos se entregaron en documento físico (aproximadamente 1000 folios) y en medio magnético a la EPC para su disposición y consulta.

Metodología

Requerimientos preliminares

Con base en la información obtenida en campo sobre aspectos técnicos y de política pública en el manejo del servicio de aseo de cada municipio, se establecieron los siguientes requerimientos preliminares para la estructuración del servicio de aseo regional:

- En los municipios que conforman cada provincia debe ser obligatoria la separación en la fuente establecida, mediante un programa de segregación continuado que asegure la recolección de residuos orgánicos y reciclables en recipientes diferentes y, si es necesario, en días diferentes.

Dado el dominio político sobre los empleos que genera la prestación del servicio de aseo en cada municipio, así como la connotación social que esto conlleva, cada municipio se encargaría de la recolección interna de los residuos sólidos para el establecimiento de un esquema regional, sin el perjuicio de que posteriormente haga expresa su intención de que la empresa regional asuma dicha operación.

- En caso de ruta selectiva de orgánicos, la recolección debe efectuarse mínimo 2 veces por semana y en lo posible antes del mediodía.
- Debido al estado de las vías de conexión y el ancho de trocha requerido para la operación de recolección y transporte en la región de Rionegro, es posible utilizar compactadores de 12 yd³, 16 yd³; máximo 20 yd³ entre los municipios, y de 25 yd³ entre Pacho y el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo.

Identificación de la variable de impacto

El análisis de información permitió identificar el tema del transporte a disposición final como el principal factor de impacto en el costo del servicio de aseo en cada municipio de la provincia de Rionegro, por lo que se decidió hacer un análisis

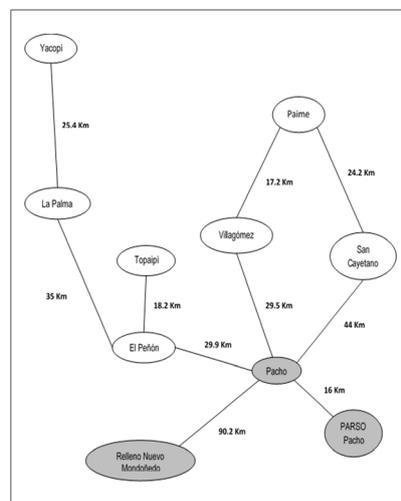
bajo los siguientes parámetros:

- Establecimiento del tipo y cantidad de residuos generados, aprovechable (orgánico y reciclable) y dispuesto en relleno.
- Verificación de la infraestructura de transporte y aprovechamiento de residuos sólidos
- Verificación del estado actual en cuanto a número de vehículos utilizados para la disposición final, la cantidad de residuos dispuestos, las distancias en los recorridos y los tiempos de recorrido
- Planteamiento y análisis de alternativas de reorganización del transporte regional a través de rutas (selectivas u ordinarias) que adicione los residuos de dos o más municipios en el trayecto.

Formulación de alternativas

Inicialmente se trazó el siguiente esquema de disposición geográfica de cada municipio de la provincia de Rionegro, con respecto a la Planta de Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos, Parso, y al relleno sanitario.

Figura 1. Esquema de distribución geográfica de municipios de la provincia de Rionegro.

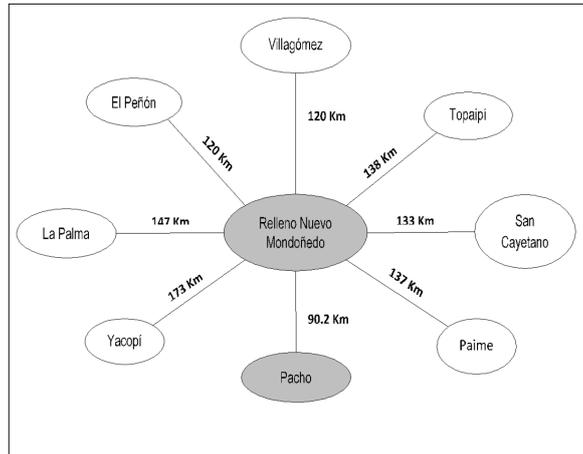


Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps.

Con base en esta disposición geográfica se construyó el siguiente esquema de las distancias de las

cabeceras municipales de la provincia de Rionegro al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo.

Figura 2. Esquema de distancias de cabeceras municipales de la provincia de Rionegro al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo

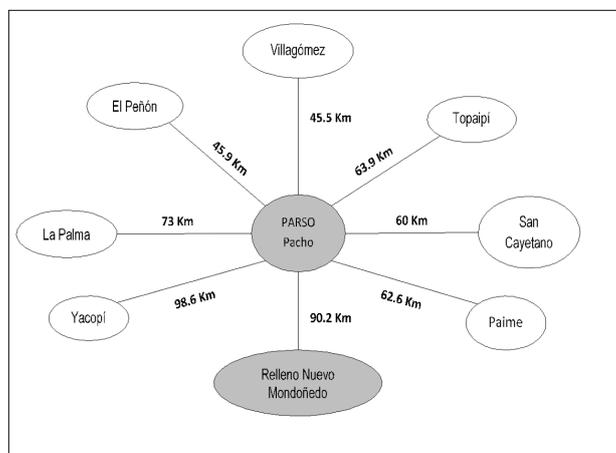


Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps

Se observa que son considerables las distancias de cada municipio al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo, lo que conllevó a una revisión de las distancias de cada uno a la Parso que actualmente opera en ju-

risdicción del municipio de Pacho, a 16 km del casco urbano de éste municipio. La siguiente ilustración representa esquemáticamente estas distancias.

Figura 3. Distancias de cabeceras municipales de la provincia de Rionegro a la Parso de Pacho



Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps

Se observa que las distancias desde las cabeceras municipales a la Parso del municipio de Pacho son muy inferiores a las que hay de estas al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo. Con base en la información técnica recabada y en el análisis de la disposición geográfica regional, se establecieron diferentes alternativas y se evaluó en cada caso el

número de vehículos requeridos para la operación de transporte, las distancias recorridas, los tiempos involucrados y la cantidad de residuos a disposición final, incluyendo los correspondientes porcentajes de ahorro en relación con el esquema actual de funcionamiento. La siguiente tabla resume dicha información.

Tabla 1. Alternativas analizadas para la provincia de Rionegro con respecto a la situación actual

Provincia de Rionegro	
Estado Actual	Actualmente los residuos generados en la provincia de Rionegro son conducidos en su totalidad por cada municipio a disposición final en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo. Las excepciones son el municipio de Pacho, que cuenta con su propia Planta de Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos; el municipio de Yacopí, que lleva sus residuos al relleno en jurisdicción de la Dorada; y el municipio de La Palma, que dispone parte de sus residuos en jurisdicción de la Dorada.
Alternativa 1 Sin planta regional.	Aprovechando los compactadores existentes, se regionaliza el servicio de transporte de residuos sólidos a disposición final en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo. De ese modo los municipios dueños de los compactadores se hacen socios al aportar sus vehículos a través de rutas que, partiendo de sus cabeceras, adicionan los residuos de dos o más municipios que se encuentren en el trayecto al relleno, para posteriormente regresar a éstos. En este escenario se disponen en relleno la misma cantidad de residuos que actualmente se disponen sin aprovechamiento en planta (a excepción de Pacho). Solo se busca generar ahorro en el transporte
Alternativa 2. Incluyendo planta regional.	Aprovechando los compactadores que ya existentes, se regionaliza el servicio de transporte llevando a cabo una ruta selectiva de residuos orgánicos dos veces por semana a la Parso del municipio de Pacho. El resto de los residuos se llevarán a disposición final en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo. En este escenario, los municipios dueños de los compactadores se hacen socios aportando los vehículos, a través de rutas que, partiendo de sus cabeceras, adicionen los residuos de dos o más municipios que se encuentren en el trayecto al relleno, para posteriormente regresar a éstos. Solo se busca generar ahorro en el transporte.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Alternativas analizadas para la provincia de Rionegro con respecto al número de vehículos operativos

Provincia de Rionegro	Vehículos		
	Operativos	A relleno	Ahorro
Estado Actual	En la actualidad operan 15 vehículos para la operación de recolección y transporte de residuos sólidos. Entre estos hay 4 compactadores, de los cuales 3 están operativos y uno está en adecuación. También están disponibles 11 volquetas, de las cuales 5 prestan el servicio de recolección y transporte a disposición final. Es decir que 9 vehículos se usan en transporte a disposición final	9	0 %
Alternativa sin planta regional	Se requerirían 4 compactadores. De ellos, uno de 12 yd ³ va a ser entregado próximamente y dos de 12 yd ³ y uno de 25 yd ³ ya operan. Cada municipio hace su recolección.	4	55,56 %
Alternativa 2 Incluyendo planta regional	Se requerirían 4 compactadores de los cuales uno de 12 yd ³ va a ser entregado en un futuro. Están ya en operación uno de 12 yd ³ , uno de 16 yd ³ y uno de 25 yd ³ . Cada municipio hace su recolección	4	55,56 %

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Comparativo entre alternativas analizadas respecto a la situación actual en la disposición final y la distancia a relleno

Provincia de Rionegro	Disposición final		Distancia a relleno		Tiempo a relleno	
	ton/sem	Ahorro	km/sem	Ahorro	h/sem	Ahorro
Estado Actual	81,82	0 %	3610,6	0 %	131,48	0 %
Alternativa 1 sin planta regional	81,82	0 %	2519,4	30,22 %	110,51	15,95 %
Alternativa 2 con planta regional	61,49	24,85 %	2545,9	29,49 %	111,83	14,95 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Comparativo entre las alternativas analizadas con respecto a la situación actual en tiempo gastado a relleno sanitario

Provincia de Rionegro	Tiempo a relleno	
	h/sem	Ahorro
Estado Actual	131,48	0 %
Alternativa 1 sin planta regional	110,51	15,95 %
Alternativa 2 con planta regional	111,83	14,95 %

Fuente: elaboración propia con base en información suministrada por la Oficina de Servicios Públicos e información de Superservicios, SUI

Resultados

Desde el punto de vista técnico, la opción más viable para la regionalización del servicio de aseo en la provincia de Rionegro es la alternativa 2, que incluye planta regional, en la que, aprovechando los compactadores, se regionaliza el servicio de transporte, a través de una ruta selectiva de residuos orgánicos dos veces por semana a la Parso del municipio de Pacho que, en este escenario, actuaría como planta regional. El resto de los residuos se llevarán a disposición final en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo.

Así las cosas, los municipios dueños de los compactadores se hacen socios al aportar los vehículos

y a través de rutas que, partiendo de sus cabeceras, adicionan los residuos de dos o más municipios que se encuentren en el trayecto al relleno para posteriormente regresar a éstos. Solo se busca generar ahorro en el transporte.

En la siguiente tabla se discriminan las cantidades de residuos sólidos orgánicos con base en un 50 % de aprovechamiento del total de residuos orgánicos generados. Igualmente se discriminan las cantidades de residuos sólidos enviadas a disposición final y las correspondientes frecuencias.

Tabla 5. Cantidades de residuos sólidos orgánicos y ordinarios

Municipio	Orgánicos aprovechables 50 %				Disposición si se aprovechara el 50 % orgánicos			
	ton/mes	ton/sem	veces/sem	ton/viaje	ton/mes	ton/sem	veces/sem	ton/viaje
Pacho	82.28	20.57	2	10.28	164.88	41.22	4	10.31
La Palma	23.88	5.87	2	2.99	48.71	12.18	3	4.06
Yacopí	14.42	3.60	2	1.80	27.86	6.96	1	6.96
El Peñón	4.74	1.18	2	0.59	8.49	2.12	2	1.06
Paimé	4.36	1.09	2	0.55	8.42	2.10	1	2.10
Villagómez	1.24	0.31	2	0.16	6.28	1.57	1	1.57
Topaipí	2.02	0.51	2	0.25	4.60	1.15	1	1.15
San Cayetano	2.82	0.70	2	0.35	4.58	1.14	1	1.14
Total	135.76	33.94			273.81	68.45		

Fuente: cálculos propios con base en información suministrada por SUI de la Superintendencia de Servicios Públicos

Una consideración bajo este esquema es que no vale la pena incluir en la ruta selectiva de residuos orgánicos a Paimé, Villagómez y San Cayetano, porque la cantidad de orgánicos por frecuencia (1.05 ton/viaje equivalente a 2.1 ton/sem) no justifica la distancia involucrada para llevar a la Parso regional (146.9 km/viaje). Igualmente, en el esquema no se considera el desplazamiento de residuos ordinarios (resto) desde Yacopí al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo ni la utilización de su compactador

de 16 yd³ para estos residuos, por lo que se recomienda que Yacopí siga remitiendo sus residuos al relleno sanitario en jurisdicción de Dorada, Caldas. En la siguiente tabla se discriminan tanto las cantidades de residuos orgánicos enviadas a la Parso de Pacho, como las enviadas a disposición final en el relleno Nuevo Mondoñedo. Igualmente se presenta el cronograma de las rutas selectivas semanales, el compactador a utilizar y la carga en cada ruta. Se discrimina cada vehículo por un color.

Tabla 6. Cronograma de ruteo semanal de orgánicos

Municipio	Ruta selectiva orgánicos		
	Martes	Sábado	Total
	ton	ton	ton
Pacho	10.28	10.28	20.57
La Palma	2.99	2.99	5.97
Yacopí	1.80	1.80	3.60
El Peñón	0.59	0.59	1.18
Paima			0.00
Villagómez			0.00
Topaipí	0.25	0.25	0.51
San Cayetano			0.00
Total	15.92	15.92	31.84
Cantidad (ton)	10.28	10.28	20.57
Distancia (km)	32	32	64.00
Tiempo (h)	1.6	1.6	3.20
Cantidad (ton)	5.63	5.63	11.27
Distancia (km)	249	249	498.00
Tiempo (h)	12.45	12.45	24.90

Fuente: Cálculos propios con base en información suministrada por la Oficina de Servicios Públicos e información del SUI de la Superintendencia de Servicios Públicos

Tabla 7. Cronograma de ruteo semanal de residuos a disposición final

Municipio	Ruta resto de residuos sólidos a disposición final						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total
	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton
Pacho	10.31		10.31	10.31	10.31		41.22
La Palma		4.06		4.06		4.06	12.18
Yacopí							0.00
El Peñón		1.06		1.06			2.12
Paime			2.10				2.10
Villagómez			1.57				1.57
Topaipí						1.15	1.15
San Cayetano			1.14				1.14
Total	10.31	5.12	15.12	15.43	10.31	5.21	61.49
Cantidad (ton)	10.31		10.31	10.31	10.31		41.22
Distancia (km)	180.4		180.4	180.4	180.4		721.60
Tiempo (h)	5.15		5.15	5.15	5.15		20.62
Cantidad (ton)			4.82				4.82
Distancia (km)			295.3				295.3
Tiempo (h)			14.77				14.77
Cantidad (ton)		5.15		5.15		5.15	15.45
Distancia (km)		310.2		310.2		346.6	967.00
Tiempo (h)		15.51		15.51		17.33	48.35
Total ton/sem							93.32

Fuente: Cálculos propios con base en información suministrada por la Oficina de Servicios Públicos e información del SUI de la Superintendencia de Servicios Públicos

En la siguiente tabla se describe en detalle la ruta que debe seguir cada vehículo, incluyendo la cantidad de residuos a recoger en cada municipio y las distancias a recorrer bajo el esquema considerado.

Tabla No. 8. Detalle del ruteo semanal tanto de orgánicos como de disposición final

Días	Rutas	Totales	
Carro 1. Compactador de 25 yd ³ - 11.09 ton pertenece a Pacho			
Martes y sábado	Ruta selectiva orgánica. De Pacho (10.28 ton) 16 km a Parso 16 km a Pacho origen. Total 32 km/viaje y 1.6 h/viaje (2 viajes)	Cantidad (ton/sem)	20.57
		Distancia (km/sem)	64
		Tiempo (h/sem)	3.20
Lunes, miércoles, jueves y viernes	Ruta resto. De Pacho (10.31 ton) 90.2 km a Nuevo Mondoñedo 90.2 km a Pacho origen. Total 180.4 km/viaje y 5.15 h/viaje (4 viajes)	Cantidad (ton/sem)	41.22
		Distancia (km/sem)	721.60
		Tiempo (h/sem)	20.62
Carro 2. Compactador 16 yd ³ - 7.10 ton pertenece a Yacopí			
Martes y Sábado	Ruta selectiva orgánica. De Yacopí (1.8 ton) 25.4 km a La Palma (2.99 ton) 35 km a El Peñón 18.2 km Topaipí (0.25 ton) 18.2 km a El Peñón (0.59 ton) 29.9 km a Pacho 90.2 km a Nuevo Mondoñedo 90.2 km a Pacho 29.9 km a El Peñón 35 km a La Palma 25.4 Yacopí. Total 249 km/viaje y 12.45 h/viaje (2 viajes)	Cantidad (ton/sem)	11.27
		Distancia (km/sem)	498
		Tiempo (h/sem)	24.9
Carro 3. Compactador 12 yd ³ - 5.32 ton pertenece Villagómez			
Miércoles	Ruta resto. Villagómez 17.2 km Paimé 24.2 km San Cayetano 44 km Pacho 90.2 km Nuevo Mondoñedo 90.2 km Pacho 29.5 km Villagómez origen	Cantidad (ton/sem)	4.82
		Distancia (km/sem)	295.3
		Tiempo (h/sem)	14.77
Carro 4. Compactador 12 yd ³ - 5.32 ton de La Palma			
Martes y Jueves	Ruta resto. La Palma (4.06 ton) 35 km a El Peñón (1.06 ton) 29.9 km a Pacho 90.2 km a Nuevo Mondoñedo 90.2 km a Pacho 29.9 km a El Peñón 35 km a La Palma (origen). Total 310.2 km/viaje y 15.51 h/viaje (2 viajes)	Cantidad (ton/sem)	10.24
		Distancia (km/sem)	967
		Tiempo (h/sem)	48.35
Sábado	Ruta resto. La Palma (4.06 ton) 35 km a El Peñón 18.2 km Topaipí (1.15 ton) 18.2 km a El Peñón 29.9 km a Pacho 90.2 km a Nuevo Mondoñedo 90.2 km a Pacho 29.9 km a El Peñón 35 km a La Palma (origen). Total 346.6 km/viaje y 17.33 h/viaje (1 viaje)	Cantidad (ton/sem)	5.21
		Distancia (km/sem)	346.6
		Tiempo (h/sem)	17.33

Fuente: elaboración propia con base en información suministrada por la Oficina de Servicios Públicos e información del SUI de la Superintendencia de Servicios Públicos

En la siguiente tabla se discrimina el total de las operaciones consideradas. cantidades, distancias y tiempos requeridos para

Tabla 9. Cantidades, distancias y horas a la semana para cada tipo de residuos sólidos

Dimensión	Orgánicos aprovechables	Disposición final	Total
Total ton/sem	31.84	61.49	93.32
Total km/sem	562.00	1983.90	2545.90
Total h/sem	28.10	83.73	111.83

Fuente: elaboración propia con base en información suministrada por la Oficina de Servicios Públicos e información de Superintendencia de Servicios Públicos, SUI.

Aunque las distancias son apreciables entre los municipios de la provincia de Rionegro y el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo, esta alternativa sí considera un viaje de residuos orgánicos desde Yacopí en su compactador de 16 yd³ a la Parso de Pacho, en virtud de que la distancia de este municipio al relleno de la Dorada es mayor (147 km según PGIRS), a la distancia hasta la Parso de Pacho (106.3 km).

En comparación con el esquema actual de prestación del servicio de aseo en la Provincia de Rionegro, la alternativa de regionalización más viable proporcionaría un ahorro del 55,56 % en el número de vehículos de transporte a relleno, un ahorro de 24,85 % en la disposición final de residuos sólidos; un ahorro de 29,49 % en el recorrido y un ahorro de 14,95 % en el tiempo de transporte.

Conclusiones

En este aparte se relacionan las conclusiones del estudio de estructuración empresarial de un sistema regional de aseo para la Provincia de Rionegro, tanto en su fase diagnóstica como en las etapas de estudio de alternativas y selección del mejor escenario. En la etapa diagnóstica, se encontraron inconsistencias en las fechas de reporte de la producción per cápita, PPC, puesto que los municipios no son explícitos en el año para el cual se efectúa el

cálculo. Tampoco se expresa qué fracción de población proyectada del Dane (u otra, en caso del Sisben) utilizan con base en la población servida, para los cálculos que sustentan la PPC. Dichos cálculos, para el caso de algunos municipios, no corresponden con los de este informe. Se recomienda tener en cuenta este aspecto para solicitud en futuros estudios por parte de los municipios.

En los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, revisados se observan incongruencias en la expresión de unidades dimensionales (m, km, km², Ha) y el manejo de separadores (m, km) para la presentación de los datos, así como contradicciones en la expresión de horarios y tiempos de recolección (Carmen de Carupa) y duplicidad en los textos. Algunos PGIRS no sustentan de manera explícita el cálculo de la producción per cápita de residuos y no referencian la proyección utilizada, hecho que, sumado a que varios encabezados, no hacen alusión a la fecha del mismo. Ello da lugar a interpretaciones erradas respecto de los datos presentados y las bases de cálculo que los sustentan. Por lo anterior se recomienda elaborar una guía de presentación de los datos del PGRIS, que sea complementaria a la metodología reglamentada en la Resolución 754 de 2014, además de amigable y simple, con el fin de conseguir mayor uniformidad, sencillez, versatilidad y menos extensión en los documentos.

En los PGIRS se evidenció duplicidad de datos tan particulares como la producción per cápita para cada municipio, que se registra con un valor de 0.41 kg/hab-día para varios municipios, lo que es poco probable. Esto responde a que varios PGIRS fueron elaborados por una misma entidad, como se observó durante la revisión de los documentos. Por lo anterior, se recomienda actualizar los PGIRS con una mayor participación en la elaboración y con base en los criterios de la guía de presentación de datos anteriormente sugerida.

Tanto la información técnica y financiera que se carga al SUI, como la incluida durante la elaboración y actualización de los PGIRS, en la mayoría de los casos se encuentran en manos de contratistas externos, lo que dificulta su obtención y, en ocasiones, no es del alcance técnico para el funcionario encargado. Por esta razón es necesario incorporar formatos explícitos y amigables que permitan hacer seguimiento de los datos técnicos por parte de la autoridad o de un interesado, pues estos son datos públicos.

Al momento de revisar la información del SUI, se encuentra que muchos municipios no cuentan con la información actualizada o es deficiente en su calidad. Por esta razón se debe instar a los municipios a actualizar esa información y a reportar regularmente teniendo en cuenta las sanciones que podría ocasionar no hacerlo, conforme a lo establecido en el artículo 81 de la Ley 142 de 1994.

Etapas de estudio de alternativas y selección del mejor escenario

Desde el punto de vista técnico, la opción más viable es la Alternativa 2 (ver tablas 1, 2 y 3), que incluye planta regional, en la que, aprovechando los compactadores existentes, se regionaliza el servicio de transporte, a través de una ruta selectiva de residuos orgánicos dos veces por semana, a la Parso del municipio de Pacho. Esta actuaría como planta regional. El resto de los residuos se llevarán a disposición final en el relleno sanitario Nuevo Mondoño. En este escenario, los municipios dueños de los compactadores se hacen socios aportando los vehículos, a través de rutas que, partiendo de sus cabeceras, adicionen los residuos de dos o más municipios que se encuentren en el trayecto al relleno, para posteriormente regresar a estos.

A excepción del municipio de Pacho, los demás municipios de la Provincia de Rionegro no cuentan con segregación de residuos orgánicos en la fuente. Implementar esta práctica a nivel regional, además de requerir inversión, requiere programas de socialización y entrega de materiales, que pueden entregar retornos efectivos en volumen de orgánicos en aproximadamente 5 años. Es absolutamente inviable llevar a cabo cualquier proyecto que involucre construir una planta de aprovechamiento sin de antemano segregar los residuos.

Si actualmente se llevará a cabo la segregación de residuos orgánicos en la fuente, el potencial de residuos sólidos orgánicos de la Provincia de Rionegro sería de apenas 135.76 toneladas (un 52.4 %) de las 259.03 requeridas. Por ello, desde el punto de vista

de las cantidades de materia prima para el funcionamiento de una Parso, una planta para la Provincia de Rionegro es inviable. Sin embargo, llevando a cabo una reorganización del transporte de residuos, es posible conseguir un ahorro en el transporte de residuos en comparación con las condiciones actuales de funcionamiento (ver cuadros comparativos).

La alternativa es aprovechar que, para trasladarse al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo, los municipios de la Provincia de Rionegro (inclusive otros que no pertenecen a dicha provincia) tienen que pasar obligatoriamente por Pacho. Por ello, se sugiere que algunos municipios incorporen frecuencias selectivas de orgánicos, para que no tengan que hacer el desplazamiento hasta el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo y, por el contrario, se aho-

rran aproximadamente 180 km (90.2 km solo ida desde Pacho) llevando los residuos apenas hasta la Parso de Pacho.

El potencial promedio de residuos sólidos aprovechables mediante procedimientos de reuso, reciclaje (vidrio, papel, cartón, chatarra, plástico) o transformación de materiales (huesos) asciende a 34.67 %. El porcentaje de residuos sólidos no aprovechables entre otros las fracciones de rechazos de compostaje, madera, icopor, sanitarios, textil, hospitalarios, cerámica, escombros, caucho y cuero, asciende a 6.49 %. En conclusión, el 93.47 % de los residuos de la Provincia de Rionegro son de algún modo aprovechables y solo el 6.49 % debería llevarse a disposición final.

Referencias

- Congreso de Colombia (2011). Ley 1450: por la cual se expide el plan nacional de desarrollo 2010-2014. D.O: 48.
- Gobernación de Cundinamarca (2019). Gestión Integral de Residuos Sólidos en el departamento de Cundinamarca (PGIRS). Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5e29f9d0e2cda.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [Minvivienda] (s.f). Planes de gestión integral de residuos sólidos. Recuperado de: <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/gestion-institucional/gestion-de-residuos-solidos/planes-de-gestion-integral-de-residuos-solidos>

Propiedades fisicoquímicas y nutricionales en la pre y poscosecha de la guayaba feijoa (*acca sellowiana*)

Physicochemical and nutritional properties in the pre and post-harvest of Guayaba feijoa (*acca sellowiana*)

Leidy Daniela Rosero*, Daniela Alexandra Hernández**, Diana Paola Ortiz***

Recibido: 22 - 02 - 2020 / Aceptado: 27 - 03 - 2020 / Publicado: 26 - 06 - 2020

Resumen:

La feijoa (*Acca Sellowiana*) es una fruta originaria de Suramérica con alta capacidad de adaptación a diferentes zonas climáticas. El objetivo de la presente investigación es describir los principales cambios fisicoquímicos y nutricionales en la pre y poscosecha de la feijoa producida en el corregimiento de San Juan, Nariño. Se analizaron las propiedades fisicoquímicas y nutricionales con técnicas de la Asociación Internacional de Químicos Analíticos (AOAC), espectrofotometría y cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC, por sus siglas en inglés). Los resultados indican que en los parámetros físicos se evidencia pérdida de peso y tamaño, y las características químicas determinan el grado de madurez y las características organolépticas, ocasionados por la concentración de los sólidos solubles y la acidez. En el componente nutricional este fruto se caracteriza por su alto contenido de vitamina C, azúcares, fibra, calcio y yodo, estos componentes sufren una serie de cambios tanto de síntesis como de degradación durante la poscosecha tales como la conversión de almidones en azúcares y la disminución del contenido de vitamina C, fibra y calcio. Se concluye que la guayaba feijoa, al ser una fruta climatérica, experimenta una serie de cambios: en estado de precosecha sus propiedades organolépticas no se han alcanzado en su totalidad, sin embargo, el componente nutricional es más alto con una variación mínima en comparación con el estado de poscosecha.

Abstract:

Feijoa (*Acca Sellowiana*) is a fruit native to South America with a high adaptive capacity to different climatic zones. The objective of the research is to describe the main physicochemical and nutritional changes in the pre and postharvest of the feijoa produced in the township of San Juan, Nariño. The physicochemical and nutritional properties were analyzed with AOAC techniques, spectrophotometry and HPLC chromatography. The results show that in the physical parameters there is evidence of loss of weight and size, and the chemical characteristics determine the degree of maturity and the organoleptic characteristics caused by the concentration of soluble solids and acidity. Regarding the nutritional component this fruit is characterized by its high content of vitamin C, sugars, fiber, calcium and iodine. These components undergo a series of changes both in synthesis and in degradation during postharvest such as the conversion of starches into sugars and the reduction of the content of vitamin C, fiber and calcium. It is concluded that the guava feijoa, being a climacteric fruit, undergoes a series of changes; In the pre-harvest state its organoleptic properties have not been fully achieved, however, the nutritional component is higher with a minimal variation when compared to the post-harvest state.

Palabras clave:

características; madurez; composición; fruta.

Cómo citar: Rosero, L., Hernández, D. y Ortiz, D. (2020). Propiedades fisicoquímicas y nutricionales en la pre y poscosecha de la guayaba feijoa (*acca sellowiana*). *Hashtag*, (16), 32-43

Keywords: features; maturity; composition; fruit.

Declaración de conflictos de interés: las autoras declaran no tener ningún conflicto de interés

* Universidad Mariana, Ciencias de la Salud, Nutrición y Dietética, Cl 18 ##34-104, Pasto, Colombia, correo electrónico: leydrosero@umariana.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-2502-6368>

** Universidad Mariana, Ciencias de la Salud, Nutrición y Dietética, Cl 18 ##34-104, Pasto, Colombia, correo electrónico: danhernandez@umariana.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-9136-965X>

*** Universidad Mariana, Ciencias de la Salud, Nutrición y Dietética, Cl 18 ##34-104, Pasto, Colombia, correo electrónico: dortiz@umariana.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-3806-7935>

Introducción:

La guayaba feijoa es una fruta que pertenece a la familia Myrtaceae, conocida científicamente como *Acca sellowiana*, un arbusto subtropical originario del sur de América. La guayaba feijoa se caracteriza por su amplia capacidad de adaptación en zonas tropicales y en la región andina colombiana, encontrándose en cultivos comerciales con altitudes sobre 1.800 y 2.650 msnm y temperaturas entre 13°C y 21°C. En condiciones subtropicales y estacionales la guayaba feijoa presenta una cosecha anual, mientras que en zonas tropicales puede producirse de forma continua durante todo el año, favoreciendo al país en la producción de este fruto. En Colombia los principales departamentos productores de la fruta son: Boyacá, Caldas, Cundinamarca, Santander y Norte de Santander (Parra y Fischer, 2013).

La feijoa presenta grandes características nutricionales y resalta por la concentración de vitamina C en la cáscara y en la pulpa. La feijoa también es reconocida por sus propiedades medicinales al ser anticancerígena, antiinflamatoria, antiviral, antimicrobiana, hepatoprotectora, tener efectos sobre la osteoporosis, ser antihipertiroidea, antioxidante, inmunomoduladora, y prevenir la gastritis y las úlceras (González, Coronel y Cruz, 2018).

Al ser la feijoa una fruta climatérica, su proceso de maduración continúa aún después de ser cosechada (Silveira, Oyarzun, Zaccari y Rivas 2015) por lo que experimenta una serie de cambios, tanto físicos como químicos, que involucran el cambio de peso, firmeza, producción de compuestos volátiles, acu-

mulación de azúcares, disminución de algunas propiedades nutricionales, entre otros (Fischer 2003). Es así que en las etapas finales del crecimiento y desarrollo ocurre el proceso de maduración en dos pasos: primero, la madurez fisiológica, que es cuando el fruto alcanza su máximo tamaño y el mayor vigor de las semillas; y segundo, la madurez de consumo, donde los cambios del fruto incluyen la modificación del color a través de la alteración en el contenido de clorofilas, carotenoides y la acumulación de los flavonoides; la modificación de la textura y la modificación de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles que afectan la calidad nutricional, el sabor y el aroma del fruto (Silveira et al., 2015).

Cuando la feijoa entra en proceso de maduración ocurren cambios en la composición, especialmente en los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable total (ATT), donde el comportamiento de los SST y de la ATT de los frutos durante la poscosecha, además de depender de la temperatura de almacenamiento, va a depender de sus contenidos en el momento de la cosecha, los cuales están influenciados por las condiciones climáticas del lugar de procedencia del fruto.

Debido a que en muchas ocasiones se encuentra la fruta en el mercado sin conocer su estado de madurez, el objetivo de la investigación es analizar el desarrollo en la pre y poscosecha de la feijoa teniendo en cuenta los cambios físicos, químicos y nutricionales que se presentan en el proceso de maduración.

Materiales y métodos:

La investigación obedece a un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo. La guayaba feijoa analizada se obtuvo de la finca "La Feijoa" ubicada en el kilómetro 42 vía Ipiales — San Juan de Pasto, en el corregimiento de San Juan perteneciente al municipio

de Ipiales, en el departamento de Nariño. El lote seleccionado del cultivo de Feijoa está constituido por 800 árboles, de los cuales 20 presentan una condición productiva continua. Para la obtención de la muestra se aplicó el método de Muestreo Simple

Intencional, esta técnica permite seleccionar casos característicos de una población limitando la muestra sólo a estos casos. Dicho método se utiliza en escenarios en los que la población es muy variable y consiguientemente la muestra es pequeña. (Otzen y Manterola, 2017).

Para la investigación se tomaron 20 árboles que están produciendo la fruta todo el año, siendo esta una muestra pequeña apta para su uso en este tipo de muestreo. Así mismo, se hizo el señalamiento

del terreno de la finca, teniendo en cuenta la ubicación y número de árboles. La selección de la muestra se realizó tomando los puntos en forma de cruz con el fin de que cada árbol tuviese la misma probabilidad de ser seleccionado. Para el desarrollo de la investigación se tomaron 4,4 kilos de feijoa de primera clase, El 50% de las feijoas en estado pre cosecha y el 50% restante en poscosecha.

Las variables evaluadas se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Métodos y equipos para medición de propiedades fisicoquímicas y nutricionales

Variable o Respuesta	Método de medición	Equipo	Reactivos
Peso	Pesaje directo	Balanza analítica de marca Radwag modelo AS-220/C/2	-
Diámetro	Pie de rey (largo y ancho)	Calibrador (pie de Rey)	-
Potencial de hidrógeno	Método potenciométrico (Norma AOAC 981.12) *	Potenciómetro Digital Portátil Schott Handylab pH 11	-
Sólidos solubles	Refractometría (Norma AOAC 932.12)*	Refractómetro de marca Optibrix - Labbrands modelos 38-A1	-
Acidez titulable	Volumetría (Norma AOAC 942.15A/1965)*	Titulación por volumetría con bureta	NaOH 0.1N, fenolftaleina
Humedad	Medición directa con analizador de humedad	Analizador de humedad marca Radwag modelo PMR- 210.	-
Carbohidratos	Espectrofotometría	Espectrofotómetro de marca Thermo Scientifi - GENESYS 10S.	Glucosa, NaOH 0.5N, fenol 5% V/V, H ₂ SO ₄
Almidón	Espectrofotometría	Espectrofotómetro de marca Thermo Scientifi modelo GENESYS 10S.	Éter de petróleo- etanol (1:1), etanol al 96 % V/V, antrona al 2 % m/V, ácido perclórico al 50 % V/V.
Fibra	Gravimétrico	Bomba de vacío de marca Welch modelo Dryfast 2014	Agua destilada, etanol 96 % V/V, ácido sulfúrico 0.25 N.
Calcio	Gravimétrico	Balanza analítica de marca Radwag modelos AS- 220/C/2, plancha de calefacción	HCl 6 N, H ₂ SO ₄ , rojo de metilo 1 % m/V, NH ₄ OH 2 % m/V, oxalato de amonio al 5 % m/V, KMnO ₄ 0.1 N.
Vitamina C	Espectrofotometría	Espectrofotómetro de marca Thermo Scientifi modelo GENESYS 10S.	KIO ₃ (0.01 M), KI (0.01 M), HCl, almidón (1 % m/V), Na ₂ S ₂ O ₃ (0.01 M).
Compuestos fenólicos totales	Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)	Thermo Scientific HPLC modelo UltiMate 3000	Etanol al 96% V/V, Reactivo de Folin, NaHCO ₃

Fuente: Horwitz y Latimer, 2016

Resultados

La tabla 2 representa los cambios en los resultados obtenidos de la guayaba feijoa evaluada al comparar su estado pre y poscosecha. Los resultados in-

dican que la guayaba feijoa sí experimenta cambios en sus componentes fisicoquímicos y nutricionales.

Tabla 2. Parámetros Fisicoquímicos y Nutricionales de la Guayaba Feijoa en pre y poscosecha

Parámetros Fisicoquímicos		
	Precosecha	Poscosecha
Peso	147 g	109 g
Diámetro	Ancho:54.75 mm Largo: 105.55 g	Ancho: 62 mm Largo: 98 g
pH	3.28	4.06
Acidez titulable	0.5 %	0.3 %
Humedad	85 %	82 %
Sólidos solubles	8.10 %	11.80 %
Parámetros nutricionales		
Carbohidratos	8.41 g	10.9 g
Almidón	0.54 mg/dl	0.47 mg/L
Fibra	6.6 g	5.4 g
Calcio	34 mg	31 mg
Actividad antioxidante	0.041 Mm Trolox/g	0.035 Mm Trolox/ gr
Vitamina C	0.48 mg	0.37 mg

Fuente: Horwitz y Latimer, 2016

Según los parámetros fisicoquímicos se evidencia una disminución de 38 g y el diámetro de largo presenta un comportamiento similar siendo menor

por 7.5 mm, sin embargo en el diámetro de ancho se ve un incremento de 7.2 mm. En el estado de poscosecha la acidez sufre una disminución que

se puede evidenciar con el aumento de pH y un menor contenido de la acidez titulable con una disminución de 0.13 %. La humedad en estado de poscosecha tiende a disminuir en un 3.5 %, contrario al contenido de sólidos solubles que sufre un incremento de diferencia de 3.76%. Los aspectos nutricionales se encuentran en valores superiores en estado de precosecha, mientras que en estado de poscosecha disminuyen. En el contenido de carbohidratos hay un incremento de 2.49 g, a diferencia

del contenido de almidón en el que hay una disminución muy mínima de 0.07 mg/dl. La cantidad de fibra presente en estado de poscosecha disminuye, con una diferencia de 1.2 g en comparación a la precosecha; el mismo comportamiento lo presenta en el contenido de calcio que disminuye 3 mg. Con respecto a la actividad antioxidante que presenta la fruta hay una disminución de 0.006 mM/Trolox/g, similar a los cambios que tiene en el contenido de vitamina C, con una disminución de 0.11 mg.

Discusión

Los resultados evidencian que, según los parámetros físicos, la guayaba feijoa presenta un peso mayor en la precosecha. En comparación con el estudio de Rodríguez, Arjona, Fischer, Campos y Chaparro. (2010), en los cultivos del fruto se encuentra que también existe una disminución de peso después de la cosecha. La pérdida de peso se debe al proceso de transpiración por el que pasa la fruta en el estado de maduración, ocasionada por la pérdida de agua libre, dando lugar a un deterioro de la fruta. En relación con el aspecto del brillo y la textura de la fruta se evidencia que las frutas en la etapa de crecimiento tienen un abastecimiento abundante de agua a través del sistema radicular de la planta. No obstante, con la cosecha este abastecimiento de agua se corta y el producto debe sobrevivir por sus propias reservas, lo anterior hace referencia a la transpiración, y la baja actividad acuosa de la feijoa causa supresión de peso en la poscosecha. (Arias y Toledo, 2000).

De igual forma, cuando se encuentra una pérdida de peso hay variación en las medidas de la fruta. En la investigación el diámetro de ancho de la feijoa presentó un incremento de tamaño, mientras que en la medida de largo de la fruta se evidenció una disminución en la época de poscosecha; este comportamiento descendente concuerda con los resultados de Fischer (2003) donde reporta diámetros

semejantes en la maduración. El descenso del tamaño de la feijoa, según Arias y Toledo (2000), indica que la reducción ocurre en un principio por la pérdida de firmeza y grosor de la cáscara, acompañadas del aumento del índice de madurez. Las frutas se hacen más blandas como respuesta fisiológica al estrés, se deterioran físicamente y en algunos casos empiezan a adquirir presencia de patógenos, por lo que se produce una reducción de tamaño. Cuando ocurren diferencias significativas en algunos casos es porque hay factores que afectan la calidad y tamaño. García, Váquiro y Solanilla (2016) expresan que otras de las causas que se pueden relacionar, son la falta de suministro de agua, las condiciones agroecológicas y la fertilidad del cultivo.

Según los parámetros químicos se reporta un pH disminuido en la precosecha y un aumento en la poscosecha, el cambio que se produce es similar en comparación con lo planteado por García et al. (2016) quienes afirman que el pH de la fruta varía desde 2.8 hasta 3.6 en la maduración. En el texto de García et al. se menciona también que en otros estudios la feijoa en la poscosecha reporta un pH entre 3.1 y 3.5. El aumento de pH se da por factores como las condiciones de almacenamiento y el proceso de maduración, debido a que se genera una degradación de los ácidos orgánicos; asimismo, Torres, Montes, Pérez y Andrade (2013), indican

que en las frutas tropicales el índice de madurez se relaciona con el pH ya que a medida que la fruta entra en estado de maduración los azúcares en la fruta se elevan y hay un descenso de los ácidos orgánicos, dando lugar a un aumento leve de pH. En cuanto a la acidez titulable total (ATT) y los Sólidos Solubles Totales (SST) se registraron los resultados mostrados a continuación. Mientras que en la acidez titulable se presenta un descenso, el contenido de los sólidos solubles se incrementa. En contraste con el estudio de Maduración del fruto de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4 a temperatura ambiente en Bogotá, Rodríguez, Arjona y Galvis (2006) refieren que la acidez total titulable disminuyó en la feijoa durante la maduración, bajó de 2.37% a 0.87 % Parra (2014). Según el análisis en ambos casos se presenta una disminución en la poscosecha, en la anterior investigación se habla de una pérdida de la intensidad respiratoria, peso y sabor de la fruta; Parra, Fischer y Camacho (2019) plantean que se debe a una pérdida de las características de la fruta por una posible degradación de los ácidos orgánicos y afirman que el valor nutricional de la feijoa está relacionado en gran parte con el contenido de las sustancias orgánicas por la capacidad de mantener el sabor y otras características de la fruta. La acidez titulable total tiene una relación inversamente proporcional con los sólidos solubles; Parra y Ficher (2013), expresan que desde la precosecha hasta la poscosecha se aumentan en gran medida los valores de sólidos solubles lo que provoca mayor intensidad del sabor y el olor de la fruta, por lo anterior se deduce que una baja cantidad de este SST significa una pérdida de sabor y por consiguiente una degradación de azúcares. Los sólidos solubles se elevan en la poscosecha para determinar la calidad de los frutos; así mismo las condiciones climáticas y de altitud se relacionan con la etapa de poscosecha, por esta razón los frutos que estén a mayor altitud tienen más contenido de estos. La muestra que se tomó para la presente investigación se obtuvo de un cultivo del corregimiento de San Juan, el cual está ubicado en una altura de 2,400 a 2,800 metros

sobre el nivel del mar, por lo que se identifica una cantidad considerable de SST en la feijoa.

En cuanto a la determinación de humedad, en el estudio se reporta un contenido menor en la poscosecha. En contraste con el documento del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (2018) en la tabla de Composición de Alimentos Colombianos se registra un resultado similar al obtenido con la feijoa en estado óptimo de maduración. Castellanos, Herrera y Herrera (2014), refieren que los porcentajes de humedad en el fruto sufrieron un descenso en la poscosecha, sin embargo, los valores de la precosecha son mayores a los reportados en este estudio. Según lo anterior, se evidenció una pérdida de humedad con el transcurso del tiempo, lo cual según Romojaró et al. (2007) indica que la disminución de humedad puede estar relacionada con la pérdida de peso y cambios en la temperatura del ambiente del cultivo, donde el factor de la humedad puede limitar el reparto de agua al fruto y por lo tanto afectar a la partición de Calcio y Boro, lo que provocaría alteraciones nutricionales que darían lugar a desórdenes fisiológicos no solo en el fruto recién recolectado sino también durante la poscosecha, por lo que es una de las características que influye en la producción y calidad de la fruta. En el componente nutricional de la guayaba feijoa se determinó el contenido de carbohidratos presente en la fruta. Se puede identificar que en la poscosecha hay mayor proporción de carbohidratos en la feijoa, a diferencia del contenido de almidón que se encuentra disminuido en la maduración. En comparación con la tabla de composición de Alimentos Colombianos, realizada por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, (ICBF, 2018) se observa una ligera diferencia con los valores de carbohidratos presentados, sin embargo en el estudio de García et al. (2016) se plantea que los valores de carbohidratos en la feijoa presentan un aumento en la época de poscosecha, lo cual se puede dar en parte por la temperatura donde se encuentra el cultivo, dado que a mayor temperatura se evidencia un incremento en los procesos metabólicos para la maduración.

Según lo expuesto por Rodríguez, Arjona y Campos (2006) hubo un descenso de los niveles de almidón en la maduración de la feijoa. similarmente, Parra, et al. (2019) señalan que la feijoa presenta altos niveles de almidón en el momento de la cosecha, el cual se hidroliza durante la maduración en poscosecha y produce un aumento de los Sólidos Solubles Totales (SST) (°Brix); los azúcares más abundantes durante el proceso de maduración de la feijoa son la fructosa, sacarosa y glucosa. Dados los resultados finales de los estudios y de la presente investigación, se considera que los valores son similares y el comportamiento que ocurre con el almidón justifica el aumento de carbohidratos en la poscosecha. Según Peñuela (2004) los frutos en los primeros estados de desarrollo contienen muy pequeñas cantidades de azúcar y grandes cantidades de almidón, ácidos y fenoles, los cuales no proporcionan los atributos sensoriales para su consumo. En la mayoría de los frutos cuando se alcanza la madurez las células de la pulpa se alargan considerablemente y los contenidos de azúcar se incrementan. El aumento de los carbohidratos se relaciona con la disminución del almidón debido que estos se hidrolizan por la maduración y pasan a transformarse en carbohidratos, los cuales hacen referencia a los azúcares presentes en el fruto, por esta razón también se incrementa las características organolépticas del fruto.

La Feijoa se destaca por tener una cantidad considerable de fibra. En la investigación los resultados del contenido de fibra muestran una disminución en la poscosecha, pero no se evidencia una gran pérdida. En el estudio de Carvajal (2015) sobre la actividad antioxidante de la feijoa se presenta un valor similar de fibra en la poscosecha, y también afirma que la condición ambiental del cultivo se ve reflejado en el contenido de fibra en la fruta. González, Guerra, Coronel y Cruz (2018) describen que la feijoa cultivada en Veracruz es parecida a la producida en Colombia en cuanto a carbohidratos y fibra, sin embargo los valores que presenta de la precosecha en comparación a la poscosecha son menores en los cultivos de México. Por otro

lado, García et al. (2016) manifiesta que en su estudio hubo una disminución del contenido de fibra en la feijoa, la cual presentaba una cantidad considerable en la precosecha y con el tiempo hasta llegar a la maduración esta empezó a descender; el descenso se relaciona con una pérdida de firmeza del fruto debido a que hay un ablandamiento en los tejidos y mayor acumulación de azúcar. En el mismo estudio se destaca que las frutas ácidas con contenido de fibra tienden a favorecer la reducción de problemas de estreñimiento, obesidad y enfermedades cardiovasculares.

Por otra parte, en los resultados del contenido de Calcio presente en la fruta se puede observar que los valores disminuyeron, dando como resultado 31 mg de calcio en la poscosecha, un número bajo si se compara con lo reportado por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (2018) en la tabla de Composición de Alimentos Colombianos, donde se presentan 41 mg de Calcio. Ahora bien, según Puentes, Castro y Serrano (2016), en su investigación hacen referencia a valores de Calcio que se encuentran en la feijoa colombiana donde los valores son similares con el presente estudio. Teniendo en cuenta lo anterior, se observa que el Calcio también se disminuye en la feijoa a medida que transcurre el tiempo hasta la poscosecha, por lo tanto es importante el consumo de esta fruta en estado de madurez óptima para favorecer el aprovechamiento de este mineral. Como lo mencionan García et al. (2016) el contenido de Calcio puede disminuir, debido a la época de cosecha, grado de maduración, clima y prácticas agroecológicas relacionadas con la presencia de este mineral, por tal razón, a medida que la fruta pierde peso y firmeza durante la maduración hay un descenso de este micronutriente, encontrándose mayormente en la cáscara de la fruta. La presencia de Calcio también se puede ver influenciada por el tratamiento del cultivo, dado que para potenciar la conservación de frutas se añade nitrato de calcio y en muchos casos la planta no suele absorber todos los minerales para repartir a los frutos.

Así mismo, la feijoa se destaca por tener grandes propiedades nutricionales tales como el contenido de vitamina C y la actividad antioxidante; en la investigación hay una disminución de esta vitamina,

la cual presenta niveles muy bajos cuando se compara con la Tabla de Composición de Alimentos colombianos (ICBF, 2018) en donde se reporta que esta fruta contiene 28 mg de vitamina C.

Tabla 3. Tabla nutricional de frutas y derivados

Código	Nombre del Alimento	Parte Analizada	ANÁLISIS PROXIMAL									
			Humedad (g)	Energía (kcal)	Energía (kJ)	Proteína (g)	Lípidos (g)	Carbohidratos Totales (g)	Carbohidratos Disponibles (g)	Fibra Dietaria (g)	Cenizas (g)	
C001	Aguacate Hass, crudo	Pulpa sin semilla	66,9	221	915	1,3	16,4	13,5	6,7	6,8	1,8	
C002	Aguacate Lorena, crudo	Pulpa sin semilla	74,3	179	741	1,6	13,3	10,0	3,4	6,6	0,8	
C003	Almendra, seca	Nuez	12,0	639	2642	18,6	54,1	13,9	3,0	10,9	1,4	
C004	Anón, crudo	Pulpa sin semillas	69,7	124	527	2,3	0,1	27,0	23,9	3,1	0,9	
C005	Babaco, maduro, crudo	Pulpa sin semillas	92,3	32	135	0,9	0,2	6,5	6,0	0,5	0,2	
C006	Babaco, pintón, crudo	Pulpa sin semillas	91,9	34	143	0,9	0,2	6,9	6,4	0,5	0,2	
C007	Babaco, verde, crudo	Pulpa sin semillas	90,1	41	172	1,5	0,2	7,9	7,4	0,5	0,3	
C008	Badea, cruda	Pulpa sin semillas	87,9	46	194	0,9	0,2	10,1			0,9	
C009	Banano bocadillo, crudo	Pulpa	69,1	125	531	1,2	0,1	28,9	26,9	2,0	0,7	
C010	Banano común, crudo	Pulpa	75,3	101	430	1,5	0,1	22,3	19,6	2,6	0,8	
C011	Banano manzano, crudo	Pulpa	69,6	124	526	1,2	0,2	28,1	25,5	2,6	0,9	
C012	Breva, madura, cruda	Pulpa sin semillas	89,0	48	201	0,9	0,2	9,2	6,4	2,8	0,7	
C013	Breva, verde, cruda	Pulpa sin semillas	86,1	59	251	1,7	0,3	11,1	8,3	2,8	0,8	
C014	Cereza, cruda	Pulpa sin semilla	74,1	104	442	1,2	0,1	23,7	21,9	1,8	0,9	
C015	Chirimoya, cruda	Pulpa sin semillas	76,7	95	403	1,5	0,5	20,2	18,0	2,2	1,1	
C016	Chontaduro, crudo	Pulpa sin semilla	48,2	358	1482	6,3	25,7	19,0	6,3	12,7	0,8	
C017	Ciruella, común, cruda	Pulpa sin semilla	87,8	53	222	0,6	0,1	11,1	8,7	2,4	0,4	
C018	Citrón, crudo	Pulpa sin semillas	88,0	47	199	0,6	0,1	10,9			0,4	
C019	Coco, crudo	Pulpa	47,3	402	1660	3,6	35,5	12,6	3,6	9,0	1,1	
C020	Coco, deshidratado	Pulpa	3,0	593	2467	3,8	35,1	56,9	39,9	17,0	1,2	
C021	Curuba, cruda	Pulpa sin semilla	90,1	38	160	0,6	0,1	8,5	8,4	0,1	0,6	
C022	Dátil, seco	Pulpa	21,3	325	1377	2,4	0,2	74,7	67,3	7,4	1,4	
C023	Durazno, crudo	Pulpa sin semilla	85,7	58	244	1,0	0,1	12,5	11,0	1,5	0,8	
C024	Feijoa, crudo	Pulpa sin semilla	82,0	83	349	1,7	0,0	15,8	9,4	6,4	0,5	
C025	Fresa, madura, cruda	Pulpa	89,9	45	189	0,8	0,5	8,3	6,3	2,0	0,5	
C026	Fresa, pintona, cruda	Pulpa	91,5	38	159	0,8	0,3	7,0	5,2	1,9	0,4	
C027	Granada, cruda	Pulpa sin semillas	84,4	70	295	1,0	1,2	12,9	11,1	1,8	0,5	
C028	Granadilla, cruda	Pulpa sin semillas	80,2	95	398	2,1	1,6	14,9	9,0	5,9	1,1	
C029	Guama, cruda	Pulpa sin semillas	85,6	59	249	0,9	0,1	13,1	12,2	0,9	0,3	

MINERALES														VITAMINAS			Parte Comestible (%)	Código
Calcio (mg)	Hierro (mg)	Sodio (mg)	Fósforo (mg)	Yodo (mg)	Zinc (mg)	Magnesio (mg)	Potasio (mg)	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Niacina (mg)	Folatos (mcg)	Vitamina B ₁₂ (mcg)	Vitamina C (mg)	Vitamina A (IU)				
8	0,5	0	12	2,0	0,7	9	143	0,08	0,14	1,6	89	0,00	5	7	64	C001		
10	0,4	6	40	2,0	0,5	27	456	0,05	0,12	1,4	81	0,00	8	3	77	C002		
228	3,4	21	480	2,0	3,1	271	699	0,20	0,61	3,6	47	0,00	0	0	11	C003		
10	0,4	6	40		0,2	26	273	0,10	0,17	0,8	14	0,00	40	1	40	C004		
46	0,7	10	14		0,1	6	223	0,02	0,06	1,0		0,00	0	12	45	C005		
33	0,2	5	14		0,1	6	224	0,02	0,06	1,0		0,00	0	12	45	C006		
76	1,7	16	14		0,1	6	198	0,02	0,06	1,0		0,00	0	12	45	C007		
10	0,6		22					0,00	0,11	2,7		0,00	20	7	20	C008		
5	0,4		26		0,3	28	355	0,04	0,04	0,5		0,00	10	20	80	C009		
8	0,9	3	27	2,0	0,2	29	328	0,05	0,03	0,6	21	0,00	19	22	70	C010		
6	0,4	1	29		0,2	24	342	0,05	0,03	0,5		0,00	15	14	80	C011		
25	0,4	2	24	1,5	0,2	16	232	0,04	0,03	0,3	6	0,00	5	8	100	C012		
68	0,5	2	34	1,5	0,2	16	232	0,05	0,06	0,3	6	0,00	18	2	100	C013		
40	1,0	1	30	0,0	0,1	11	236	0,04	0,04	1,5	6	0,00	30	20	50	C014		
7	0,5	0	36	1,5	0,2	5	31	0,10	0,01	0,9	18	0,00	5	5	51	C015		
81	7,0	22	359		0,9	100	620	0,04	0,28	1,4		0,00	18		77	C016		
17	0,4	2	24		0,1	5	134	0,06	0,02	0,4	3	0,00	8	2	96	C017		
66	0,3		17					0,04	0,04	0,2		0,00	24	0	41	C018		
7	1,3	18	80	1,0	0,8	40	359	0,05	0,02	0,5	26	0,00	5	0	45	C019		
80	434,4	66	206	0,3	2,0	90	1165	0,03	0,02	0,3	9	0,00	2	0	100	C020		
7	1,0	85	24			8	187	0,00	0,03	2,5		0,00	57	170	50	C021		
57	0,9	2	45	1,0	0,3	52	676	0,06	0,34	0,2	22	0,00	0	2	100	C022		
9	0,6	1	32	3,0	0,1	9	224	0,04	0,02	0,4	4	0,00	29	46	85	C023		
41	1,9	3	16		0,6	23	159	0,04	0,04	1,0	23	0,00	28	2	83	C024		
21	0,5	2	26	8,0	0,2	13	157	0,03	0,03	0,4	22	0,00	67	4	95	C025		
20	0,4	1	22	8,0	0,2	10	183	0,03	0,07	0,4	22	0,00	64	1	95	C026		
13	0,5	2	26		0,2	12	244	0,00	0,04	0,2	35	0,00	5	5	30	C027		
12	0,9	20	50		0,8	25	480	0,02	0,35	2,1	14	0,00	0	28	30	C028		
38	0,8		13					0,03	0,05	0,3		0,00	4	0	23	C029		

Fuente: ICBF, 2018. p. 57

García et al. (2016), muestran los resultados en tres etapas del fruto (verde, maduro y sobremaduro), donde los niveles más altos de vitamina C se encontraron en la etapa en la que la feijoa se encuentra verde. Parra et al. (2019) describen que el contenido de vitamina C en frutas y verduras puede ser influenciado por varios factores tales como las diferencias genotípicas, condiciones climáticas, prácticas culturales, madurez, los métodos de cosecha y los procedimientos de manipulación durante la poscosecha; cuanto más alta es la intensidad de la luz durante la temporada de crecimiento, mayor

es el contenido de vitamina C en los tejidos vegetales. Basado en lo anterior, se puede decir que los valores que se obtuvieron son distintos a la literatura, teniendo en cuenta que la muestra de estudio para la determinación de vitamina C se pudo ver afectada por condiciones de conservación, tratamiento de suelos, condiciones climáticas o relacionadas con la temperatura. Los cultivos de feijoa se encuentran en zonas con gran altitud, por lo cual la temperatura es menor, en contraste con los lugares donde se reportan la mayoría de los estudios. Otros factores en la etapa de poscosecha que se

pueden asociar a los niveles bajos de vitamina C, según Parra et al. (2019), tienen que ver con el almacenamiento, puesto que el tiempo y el manejo de la fruta almacenada juegan un papel importante en la calidad, la reducción de sabor, concentración de la acidez, concentración de los sólidos solubles, y del contenido de vitamina C. En el caso de la feijoa del corregimiento de San Juan, el transporte o el almacenamiento pudieron ser partícipes de la reducción de los niveles de la vitamina C. Valle y Rodríguez (2011) exponen que la vitamina C se reduce en un 70% en las frutas climatéricas durante el proceso de la maduración, esto se da por la degradación de ácidos orgánicos a medida que la fruta entra en estado de madurez, y por consiguiente hay un proceso respiratorio más lento, que ocasiona la pérdida de peso, sólidos solubles, pH, acidez, humedad, entre otras. Por lo tanto, es importante el manejo que se le da a la conservación de la fruta para desacelerar la pérdida de las propiedades nutricionales en la fruta.

De igual manera, en la actividad antioxidante se obtuvo como resultado un valor disminuido para la poscosecha, por lo que se infiere que en la pre-

cosecha se encuentra mayor actividad antioxidante. Según Zapata, Cortes y Rojano (2013) la actividad antioxidante evalúa la presencia de compuestos polifenólicos, tales como fenoles totales, flavonoides totales, taninos y ácidos fenólicos. Estas propiedades se encuentran en su mayoría en frutas tropicales, así mismo, estos autores señalan que la mayoría de frutas y hortalizas estudiadas presentan un aporte entre intermedio y alto de fenoles totales, y entre moderada y elevada actividad antioxidante, lo que potencializa sus posibles propiedades nutraceuticas. En el estudio, de García et al. (2016) se afirma que en la actividad antioxidante se obtuvieron valores similares a los que se reportan en esta investigación, obteniendo como resultado valores de actividad antioxidante menores en poscosecha.

En el estudio de Parra et al. (2019) los autores indican que en algunos casos las temperaturas altas y los niveles elevados de dióxido de carbono en los cultivos pueden afectar los niveles de actividad antioxidante. Según Vila (2006) los compuestos antioxidantes presentan aumentos y disminuciones durante el desarrollo de la fruta cuando ésta entra en estado de maduración.

Conclusiones

El comportamiento en las características de la guayaba feijoa al comparar la precosecha y la poscosecha está determinado por una serie de cambios físicos, químicos y nutricionales, así como algunos parámetros disminuyen, otros se ven aumentados. Estos cambios están asociados a diferentes factores como la edad de la planta, las condiciones agroecológicas, la época del año, la fertilidad del cultivo y el manejo poscosecha de los frutos. Desde el punto de vista nutricional, la guayaba feijoa se caracteriza

por su alto contenido en vitamina C, azúcares, fibra, calcio y yodo. Estos componentes sufren una serie de cambios tanto en síntesis como en degradación durante la poscosecha, tales como la conversión de almidones en azúcares, disminución del contenido de vitamina C, fibra y calcio. Consecuentemente el consumo en estado óptimo y el manejo poscosecha de la guayaba feijoa garantizan su aprovechamiento nutricional, además de ser una de las frutas que posee características inmunológicas y antioxidantes.

Referencias bibliográficas

- Arias, C., y Toledo, J. (2000). *Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales*. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/ac304s/ac304s.pdf>
- Carvajal, M. (2015). *Evaluación de la actividad antioxidante de las hojas y frutos de la Feijoa (Acca sellowiana)* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Castellanos, D., Herrera, D., y Herrera, A. (2014). Caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas de la feijoa (*Acca sellowiana* Berg) durante la poscosecha. *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín*, 67(2),114-116. doi:10.5281/zenodo.47454
- Fischer, G. (2003) Ecofisiología, crecimiento y desarrollo de feijoa. En Fishcer, G., Miranda, D., Cayón, G., y Mazorra, M. (Eds), *Cultivo, poscosecha y exportación de Feijoa*. (*Acca sellowiana* Berg) (pp. 9-26). Bogotá, Colombia: Produmedios
- García, L.M., Váquiro, H.A., y Solanilla, J.F. (2016). Physicochemical characterization and nutritional composition analysis of pineapple guava at three different ripening stages. *Agronomía Colombiana*, 34(2), 217-227. doi:10.15446/agron.colomb.v34n2.56030
- González, K., Guerra, D., Coronel, O., y Cruz, J. (2018). Atributos físicos y químicos de la feijoa en Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24(1), 5-12. doi:5154/r.rchsh.2017.01.006
- Horwitz, W., y Latimer, G.W. (Eds). (2016). *Official methods of analysis of AOAC international*. Rockland, EU: AOAC International.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar ICBF. (2018). *Tabla de composición de alimentos colombianos*. Recuperado de: https://www.icbf.gov.co/system/files/tcac_web.pdf
- Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo en una población de estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. doi:10.4067/S0717-95022017000100037
- Parra, A. & Fischer, G. (2013). Maduración y comportamiento poscosecha de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(1), 98-110. doi: 10.17584/rcch.2013v7i1.2039
- Parra, A. (2014). *Efecto de las condiciones climáticas sobre el crecimiento y la calidad poscosecha de la feijoa* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Parra, A., Fischer, G., y Camacho, J. (2019). Influencia de las condiciones climáticas de cultivo en la calidad en cosecha y en el comportamiento poscosecha de frutos de Feijoa. *Tecnología en Marcha*, 32(1), 86-92. doi:10.18845/tm.v32i7.4264

- Peñuela, A. (2004). Cambios físicos y químicos que ocurren durante el crecimiento y maduración de los procesos hortifrutícolas y su relación con la calidad. En H.F. Ospina (Ed), *Caracterización de los productos hortifrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad* (pp. 25-31). Manizales, Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Puentes, G., Castro, A. y Serrano, A. (2016). Estudio de mercado de feijoa fresca (*Acca sellowiana* Berg) producida en el municipio de Tibasosa (Boyacá) Colombia. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38(1), 271-282.
- Rodríguez, M., Arjona, H., Fischer, G., Campos, H., y Chaparro, M. (2010). Aspectos anatómicos del desarrollo de la fruta de guayaba [*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret]. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(1), 5267-5273.
- Rodríguez, M., Arjona, H., y Galvis, A. (2006). Maduración del fruto de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4 a temperatura ambiente en condiciones de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 68-76.
- Rodríguez, M., Arjona, H., y Campos, H. (2006). Caracterización fisicoquímica del crecimiento y desarrollo de frutos de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 54-61.
- Romojaro, F., Flores, F., Egea, S., Martínez, C., Ribas, F. & Cabello, M. (2007). Factores pre-cosecha que afectan la calidad de frutas y hortalizas. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, 1(189), 1-16.
- Silveira, A., Oyarzun, D., Zaccari, F., y Rivas, M. (2015). Determinación de algunos atributos de calidad en frutos de guayaba del país (*Acca sellowiana* (Berg) Burret) en diferentes etapas de maduración. *Agrociencia Uruguay*, 19, 24-30.
- Torres, R., Montes, E., Pérez, O., y Andrade, R. (2013). Relación del color y la etapa de madurez con las propiedades fisicoquímicas de las frutas tropicales. *Información Tecnológica* 24(3), 51-56. doi: 10.4067/S0718-07642013000300007
- Valle, M.E., y Rodríguez, G. (2011). Evaluación de la vitamina C por HPLC en el desarrollo poscosecha de tomate (*Solanum Lycopersicum* V. Dominator). *Revista ECIPerú*, 8(1), 48-53. doi: 10.33017/RevECIPeru2011.0009/
- Vila, M. (2006). Caracterización físico-química del membrillo japonés (*Chaenomeles* Sp. Lindl.). *Desarrollo fisiológico y almacenamiento en frío*. (Tesis doctoral). Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Zapata, K., Cortés, F.B., y Rojano, B.A. (2013). Polifenoles y actividad antioxidante del fruto de la guayaba agria (*Psidium araca*). *Información Tecnológica*, 24(5), 103-112. doi: 10.4067/S0718-07642013000500012

Monitor de radiación ionizante aplicando principios de la industria 4.0

Ionizing radiation monitor applying industry 4.0 principles

Erwin Alexander Aguirre Ordoñez*, Bryan Leandro Quiroga Gavilán**

Recibido: 01 – 11 – 2019 / Aceptado: 21 – 05 – 2020 / Publicado: 26 – 06 – 2020

Resumen:

Este artículo inicia con un estudio sobre el uso de las radiaciones ionizantes a través de la historia. El uso de las radiaciones ionizantes ha generado avances beneficiosos, pero también ha provocado riesgos para la salud del ser humano. Esto genera la necesidad de crear artefactos que midan estas radiaciones y así prevenir la exposición a los mismos. Consecuentemente, se realiza un monitor de área que detecta la radiación ionizante, cuyos resultados se reflejan en un aplicativo web a través de la conexión inalámbrica. Para esto desarrollamos las siguientes fases de trabajo: se realizó el diseño del monitor, teniendo en cuenta los principios del contador Geiger-Müller; se programó el sensor, comprobando su eficiencia y tiempo muerto a través de una exposición a fuentes de radiación Beta y Gamma para realizar una corrección funcional y, finalmente, se desarrolló un aplicativo web, el cual muestra los resultados obtenidos por el medidor. El uso del dispositivo aún está en fase de desarrollo y se evidenciará a futuro el alcance del estudio.

Abstract:

This article starts with a study on the use of ionizing radiation throughout history. The use of ionizing radiation has generated beneficial advances, but it has also caused risks to human health. This risk generates the need to create devices that measure these radiations and thus prevent exposure to them. Based on this an ionizing radiation area detector monitor will be made, the results of which can be seen in a web application through wireless connection. In order to do that, we developed three work phases. First, the design of the monitor was carried out taking into account the principles of the Geiger-Müller counter. Secondly, the sensor is programmed, and its efficiency and dead time is checked through exposure to Beta and Gamma radiation sources to perform a functional correction. Finally, a web application that reflects the results obtained by the meter is developed. The use of the device is still in the development phase and the scope of the study will become evident in the future.

Palabras clave:

alta tensión, aplicativo, caracterización, detector, eficiencia, Geiger-Müller, industria 4.0, ionización, programación, radiactividad, tiempo muerto.

Cómo citar: Aguirre Ordoñez, E. y Quiroga Galván, B. (2020). Monitor de radiación ionizante aplicando principios de la industria 4.0. Hash-tag, (16), 44-64

Keywords:

app, characterization, dead time, detector, efficiency, Geiger-Müller, high voltage, 4.0 industry, ionization, programming, radioactivity.

Declaración de conflictos de

interés: los autores declaran no tener ningún conflicto de interés

* Corporación Unificada Nacional CUN, Ingeniería Electrónica. Correo electrónico: erwin.aguirre@cun.edu.co

** Corporación Unificada Nacional CUN, Ingeniería Electrónica. Correo electrónico: bryanl.quiroga@cun.edu.co

Introducción

En la naturaleza existen elementos inestables que constantemente emiten partículas con el fin de alcanzar una estabilidad, esto es en gran parte lo que se conoce como radiactividad. Desde 1895 ha sido posible diagnosticar enfermedades sin necesidad de invadir el cuerpo humano (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2013); sin embargo, la exposición a dosis altas de radiación ionizante puede tener efectos fisiológicos irreversibles (Flakus, 1981).

El Instituto Colombiano de Geología y minería (INGEOMINAS) (2002) determina que el objetivo de la protección radiológica es reducir efectos determinísticos y estocásticos provocados por la radiación ionizante, lo que conlleva la necesidad de diseñar y fabricar instrumentación capaz de cuantificar la misma de forma segura y óptima. Esta tarea presupone una serie de detalles para lograrlo: primero, reconocer la radiosensibilidad de los materiales; segundo,

determinar el tiempo de utilidad de los instrumentos para así mismo fabricar elementos duraderos que aporten resultados importantes a diferentes investigaciones, y tercero, comprender los diferentes métodos de detección de radiación ionizante, tales como las mencionadas por Knoll (2010), que incluyen la ionización de gases, el centelleo de sustancias y las películas fotográficas, entre otros.

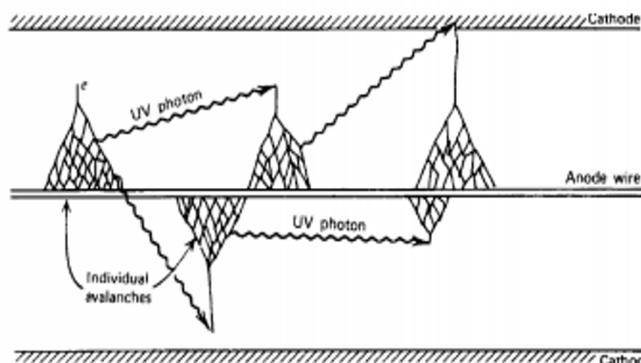
Este panorama permite comprender el arduo trabajo que hay detrás de la radiación ionizante y como este proyecto utiliza herramientas de la industria 4.0 para complementar la telemetría de la radiación a través del uso de bases de datos, servidores web, aplicativos Web y dispositivos IoT, los cuales permiten abrir la puerta a futuras investigaciones con detectores Geiger-Müller (GM) e implementar diferentes aplicativos de inteligencia artificial.

Tubo Geiger-Müller (GM)

El Tubo GM es un detector de radiación que funciona bajo el principio de la ionización de gases. Esto indica principalmente que las partículas radiactivas cuando interactúan con las partículas de gas producen una descarga eléctrica en forma de avalan-

cha provocando una reacción en cadena conocidas como descargas Geiger, (ver figura 1). Las descargas Geiger producen aproximadamente 1010 pares de iones suficientes para minimizar los circuitos electrónicos de amplificación externa de la señal.

Figura 1. Avalancha producida por ionización



Fuente: (Knoll, 2010)

El detector está compuesto principalmente por dos electrodos, ánodo y cátodo, que realizan la captura de las descargas Geiger, en la mayoría de los casos la pared exterior del detector sirve como cátodo. En la figura 2 se observa el tubo GM implementado, donde el único dato disponible es su almacenamiento desde el año 2009, por lo que no se conocen sus características técnicas. El voltaje es

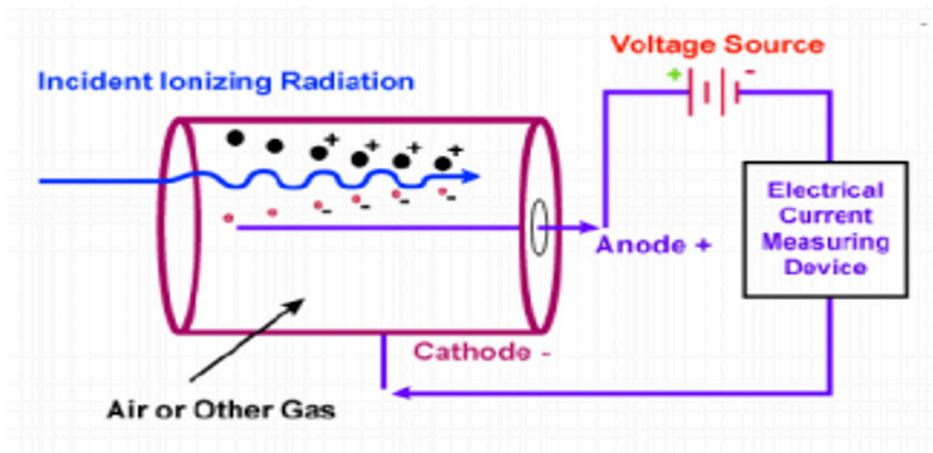
aplicado entre el ánodo y el cátodo, con un rango aproximado de 500 a 1200 V (ORAU, 1999). Este rango de voltaje permite que los iones positivos se acumulen en el cátodo y los negativos en el ánodo, transportándose a través de un circuito electrónico que realiza el acondicionamiento para registrar estos conteos (figura 3).

Figura 2. Tubo GM utilizado



Fuente: Los autores

Figura 3. Esquema general para detector Geiger Müller



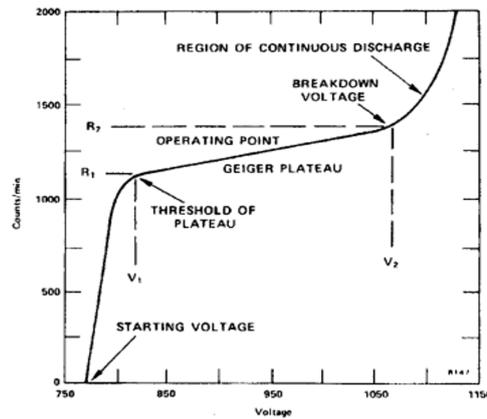
Fuente: (Martínez, s.f)

Curva de Plateau

Para un detector GM se sitúa una fuente radiactiva constante donde se grafican los pulsos registrados por unidad de tiempo, Conteos por Segundo (CPS), en función del voltaje aplicado (figura 4). Esta se re-

presenta en lo que se llama la curva de Plateau, con la que se determina la región óptima de trabajo del detector en un intervalo de voltaje (Ávila, Calvino, y López, 2018)

Figura 4. Ejemplo de representación de Curva de Plateau para contador Geiger



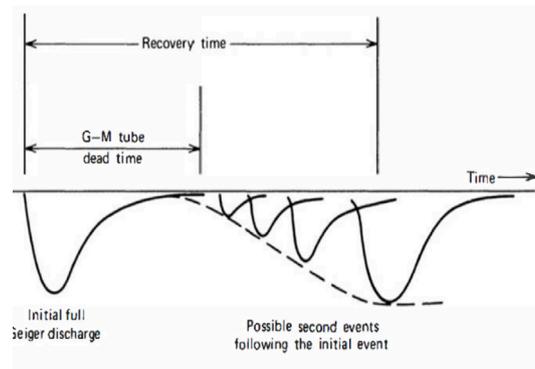
Fuente: (Molliner, 2010)

Tiempo muerto

Los iones con carga positiva deben recorrer una distancia hasta el cátodo del tubo GM. Durante este recorrido el campo eléctrico al interior del tubo polarizado se irá recuperando gradualmente para que permita más descargas. Sin embargo, cuando

estos iones no han recorrido una distancia suficiente estas cargas no se producirán (figura 5). Esto se conoce como tiempo muerto y oscila entre los 50 y 100 μ s (Knoll G. F., 2010).

Figura 5. Representación gráfica del tiempo muerto y de recuperación del tubo GM



Fuente: (Knoll G. F., 2010)

Tsoufanidis y Landsberger (2013) explican que, debido al tiempo muerto del detector, existe la probabilidad de que algunas partículas no puedan ser registradas y no produzcan avalanchas poste-

riores. Esta pérdida de señales es crítica y afecta la eficiencia del detector. Es aquí donde se inician los cálculos con la ecuación 1.

$$n = g + n g \tau ; n = \frac{g}{1 - g \tau} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde g representa el número de cuentas/tiempo de conteo, r el tiempo muerto, $g r$ la fracción de tiempo durante el cual el sistema es insensible, n la tasa de conteo verdadera y $n g r$ el número de cuentas perdidas. Para obtener un tiempo muerto real se utiliza el método conocido como el método

de las "dos fuentes" donde n_1 es la tasa de conteo verdadera de la primera fuente, n_2 pertenece a la segunda fuente, n_3 es el conteo de ambas fuentes, n_b es la tasa de fondo, g_1, g_2, g_3 y b , son las tasas de conteo observadas en el detector. Se cumple la siguiente ecuación:

$$n_1 + n_2 = n_3 + n_b \quad \text{Ecuación 2}$$

Al reemplazar en la ecuación 1 resulta:

$$\frac{g_1}{1 - g_1 \tau} + \frac{g_2}{1 - g_2 \tau} = \frac{g_3}{1 - g_3 \tau} + \frac{b}{1 - b \tau} \quad \text{Ecuación 3}$$

El tiempo muerto τ se puede determinar a partir de la Ecuación 4 después de medir g_1, g_2, g_3 y b , para

ello reorganizamos la ecuación y despejamos τ :

$$\tau = \frac{1}{g_3} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{g_3}{g_1 g_2} (g_1 + g_2 - g_3)} \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

Eficiencia del detector

Knoll (2000), afirma que las radiaciones Alfa y Gamma, al ser partículas con carga, incurrirán en una secuencia de ionización que facilite las condiciones para que el tubo GM tenga una eficiencia cercana al 100%, aunque en las partículas sin carga

como los neutrones o los fotones esta interacción se dificulta causando una eficiencia considerablemente inferior. Por lo tanto, la eficiencia se calculará mediante la fórmula 5. Ecuación 5.

Las fuentes radiactivas presentan una disminución

$$E = \frac{\# \text{ conteos registrados}}{\# \text{ pulsos de la fuente radiactiva}} \quad \text{Ecuación 5}$$

de su actividad con el paso del tiempo, por lo que es necesario calcular la constante de decaimiento k . Si k es grande, el isótopo desciende con rapidez (Espinar, 2016). La constante k se calcula mediante la ecuación número 6 y la actividad de la fuente

$$k = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}}$$

Ecuación 6

se calcula mediante la ecuación 7, donde N_0 es la actividad de la fecha inicial de la fuente radiactiva a utilizar, t es el tiempo transcurrido desde esta fecha. Ecuación 6.

$$N = N_0 e^{-kt}$$

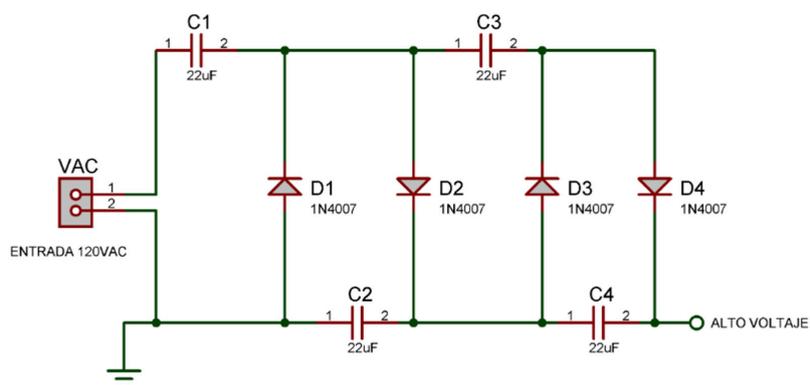
Ecuación 7

Fuente de alto voltaje

Rashid (2000) explica cómo realizar una fuente de alto voltaje mediante el método de multiplicadores de tensión. Como se observa en la figura 6, este circuito se compone por condensadores y diodos conectados en una especie de circuito mixto. Cada cuarto de ciclo de la onda senoidal de la red eléctrica se comprende como un intervalo donde el diodo

permitirá o impedirá el paso de la corriente hacia el respectivo condensador. En el primer intervalo se permite la carga de C_1 y C_3 , en el tercer intervalo C_2 se cargará con el voltaje de la red más el voltaje de C_1 , esta misma relación ocurre entre C_3 y C_4 para así llegar al final del ciclo de la onda y C_3 y C_4 estén cargados con el doble de voltaje de la red.

Figura 6. Circuito multiplicador de voltaje para utilizar como fuente de alto voltaje

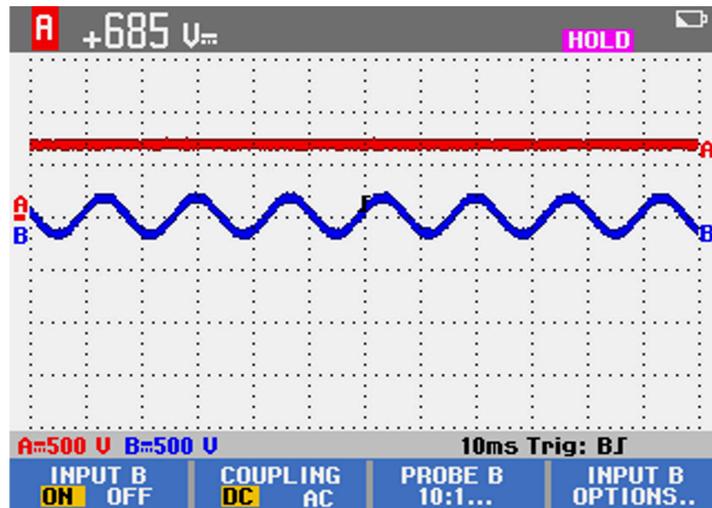


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7 se observa el voltaje obtenido con el circuito implementado. En color azul se observa la onda senoidal extraída de la red eléctrica (120 Vac

60 Hz) y en rojo, la rectificación y amplificación para la fuente de alto voltaje.

Figura 7. Relación voltaje de entrada y voltaje multiplicada y rectificadora, extraída del Osciloscopio



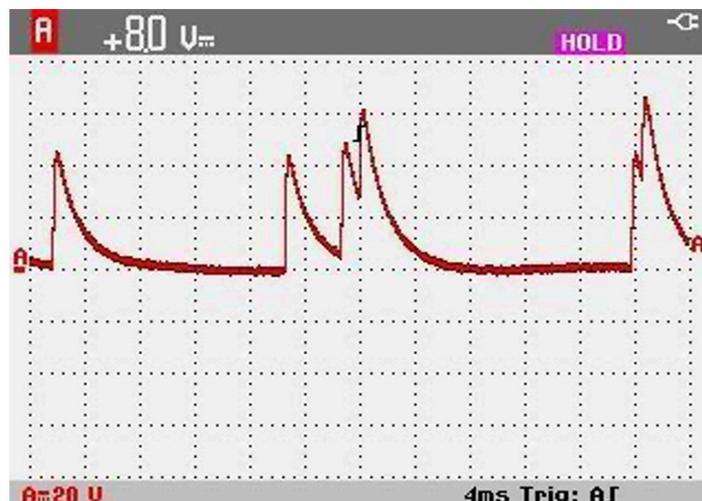
Fuente: Elaboración propia.

Acondicionamiento de señal del tubo GM

Los pulsos de corriente obtenidos producto de la ionización del tubo GM (figura 8) requieren ser convertidos a pulsos de voltaje que faciliten ser registrados en las etapas digitales del monitor de área. Para esta primera parte se utiliza un transistor NPN que se encuentra normalmente en saturación, esto quiere decir que el voltaje en el colector que se

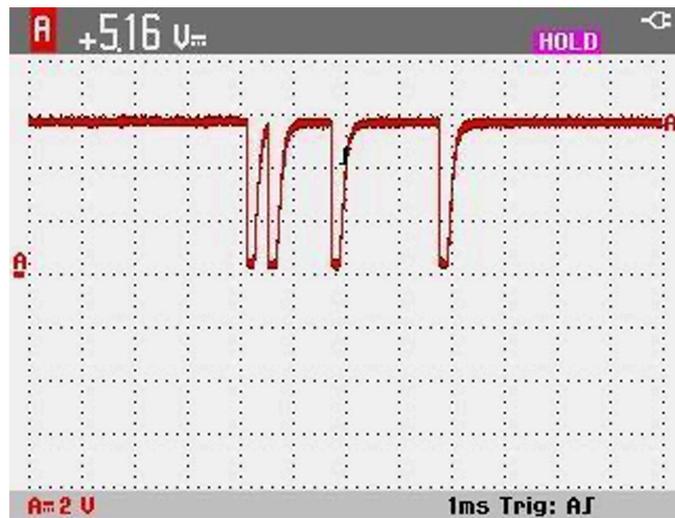
implementó en la parte electrónica de este proyecto será 5V. Cuando por la resistencia de la base circula el pulso del tubo GM, el transistor entra en zona de corte. Por lo tanto, el voltaje del colector será inversamente proporcional a la forma del pulso de corriente cómo se observa en la figura 9. Esta etapa es conocida como el inversor Corriente-Voltaje.

Figura 8. Pulsos de corrientes a la salida de tubo GM



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Pulsos invertidos del tubo GM en voltaje

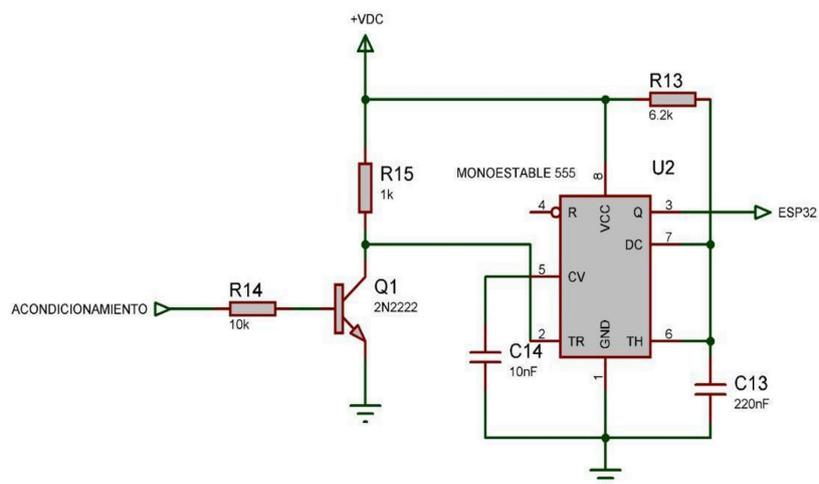


Fuente: Elaboración propia.

Los pulsos de voltaje registrados tienen una duración muy corta que difícilmente será detectada por el microcontrolador ESP 32 y tendrá efectos adversos en la eficiencia del detector. Para lograr mitigar este riesgo, se utiliza un CI 555 en configuración monoestable; es decir que cuando los pulsos de voltaje se encuentren por debajo de $1/3$ de VCC,

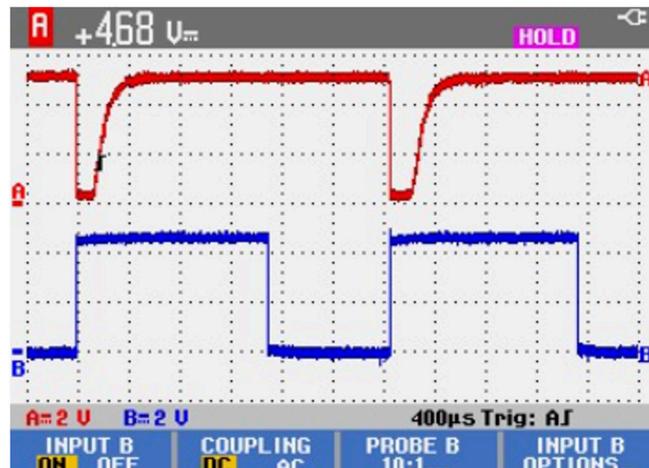
este activará su salida con una onda cuadrada. La duración de esta onda está dada por el producto entre $R13=6.2k\Omega$ y $C13=220nF$ (figura 10) para que el estiramiento de la onda sea de 1.4ms. La figura 11 nos detalla la relación entre el pulso invertido a la salida del transistor (rojo) y la salida del circuito monoestable (azul).

Figura 10. Esquema circuito de acondicionamiento de señal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Comparativa señal transistor (rojo) y multivibrador 555 (azul)



Fuente: Elaboración propia.[

Procesamiento de señales y conexión a internet con ESP32

El ESP 32 es un sistema de doble núcleo con dos procesadores Xtensa LX6 dentro de un sistema embebido con todos sus periféricos conectados en el mismo bus de datos, estos dos núcleos son llamados CPU de protocolo "PRO_CPU" y CPU de aplicación "APP_CPU" (Espressif Systems, 2019). Este sistema en su interior contiene un dispositivo Wi-Fi en la banda de 2.4 Ghz y Bluetooth 4.2 en un mismo chip (Kurniawan, 2019). Algunas de las principales características del ESP 32 son:

18 conversores ADC

- Procesador doble núcleo de 240 Mhz
- Conversor DAC 8 bits
- Wi-Fi 802.11 b / g / n TCP / IP
- Servidor web
- Alimentación 3.3 a 5 Vdc
- Programación RTOS para utilizar núcleos
- 34 entradas/salidas de propósito general
- 2 puertos UART
- 8 interrupciones físicas
- 2 interrupciones por software

Núcleo Secundario (0) ESP 32, Conteo De Pulsos Y Visualización

El núcleo secundario se utiliza para contar cada flanco de subida proveniente del multivibrador monoestable a través de una de las interrupciones físicas. Al cabo de un segundo, una interrupción por software se activa para realizar el reinicio de este

conteo para asegurar que el ESP32 está realizando CPS. Este núcleo viene deshabilitado por defecto, por lo tanto se procede a habilitarlo mediante el comando que ilustra la figura 12, el comando RTOS en donde al final se especifica el número del núcleo

Figura 12. Inicialización del núcleo secundario de la ESP32

```
xTaskCreatePinnedToCore(loop1, "Task1", 10000, NULL, 0, &Task1, 0);
```

Fuente: Elaboración propia.

XAMPP, PHP, HTML y MySQL

XAMPP es un software de libre acceso que nos permite utilizar cualquier computador como servidor HTTP apache, con gestor de base de datos MySQL y un intérprete de lenguaje PHP

HTML es el lenguaje que se emplea para el desarrollo de páginas de internet; está compuesto por una serie de etiquetas que el navegador interpreta y da forma en la pantalla, y dispone de

etiquetas para imágenes o hipervínculos que permiten redirigir a otras páginas, saltos de línea, listas, tablas, etc (González, 2019).

PHP, acrónimo recursivo de PHP: Hypertext Preprocessor, es un lenguaje de código abierto muy popular especialmente adecuado para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML (PHP, 2020). Se detalla la figura 13.

Figura 13. estructura de HTML integrada con PHP

```

<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>Ejemplo</title>
  </head>
  <body>

    <?php
      echo "¡Hola, soy un script de PHP!";
    ?>

  </body>
</html>

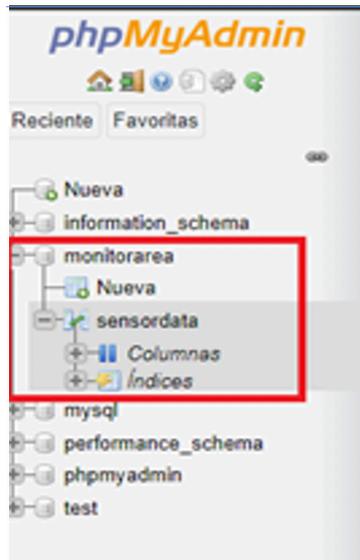
```

Fuente (PHP, 2020)

MySQL es un sistema de procesamiento de bases de datos libre de código abierto que ofrece funciones para usuarios novatos de fácil entendimiento. Actualmente, MySQL es valorado en el segmento del desarrollo web y se puede usar profesionalmente en plataformas como Oracle y SQL server.

Mediante XAMPP, a través de phpMyAdmin, se crea la base de datos que guardará los datos del sensor GM enviados desde la ESP32. La figura 14 muestra la base de datos creada con el nombre "monitorarea" y la tabla "sensordata".

Figura 14. Base de datos phpMyAdmin de XAMPP



Fuente: Elaboración propia.

Núcleo Principal (1) ESP 32, Envío de conteos a la base de datos MySQL de XAMPP

El núcleo principal habilitado por defecto de la ESP32 se utiliza para enviar los datos al servidor XAMPP, es importante aclarar que tanto la ESP32 como el equipo que funciona de servidor local están

conectados a la misma red, así la ESP32 (figura 15) en sus líneas de código tiene programadas la IP del equipo a la cual enviará la cadena de datos procesadas del detector GM como se detalla en la figura 16.

Figura 15. Conexión al wifi ESP32

```

WiFi.disconnect();
delay(3000);
Serial.println("INICIO");
WiFi.begin(SSID,PASS); //ssid, password
while ((!(WiFi.status() == WL_CONNECTED)))
{
    delay(300);
    Serial.print("..");
}
Serial.println("Your IP is");
Serial.println(WiFi.localIP());
Serial.println("Connected");
    
```

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Envío de datos desde la ESP32 a la base de datos

```

http.begin("http://192.168.1.1/tesis/esp-post-data.php"); //Specify the URL

http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");

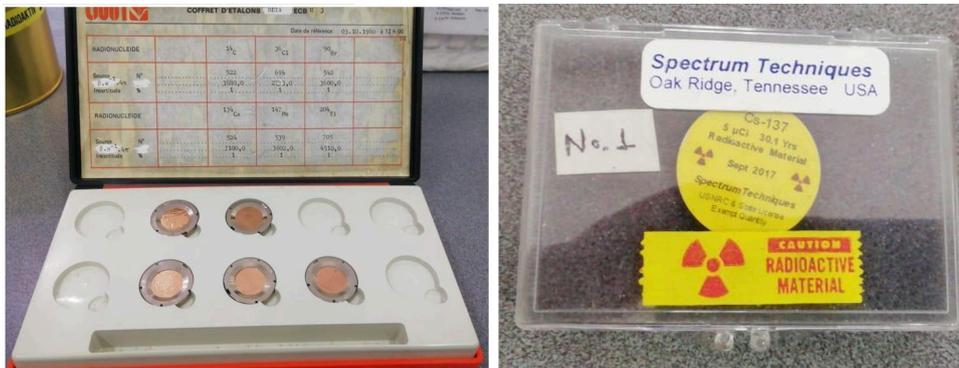
String httpRequestData = "api_key=" + apiKeyValue + "&sensor=" + sensorName+ "&location=" + sensorLocation + "&value1=" + String(promediocps)+ "&value2=" + String("N/A") + "&value3=" + String("N/A") + "";
    
```

Fuente: Elaboración propia.

Implementación y resultados

Se utilizaron dos fuentes radiactivas Beta y gamma ^{14}C y ^{137}Cs respectivamente, ambas ilustradas en la figura 17.

Figura 17. Fuentes de ^{14}C y ^{137}Cs

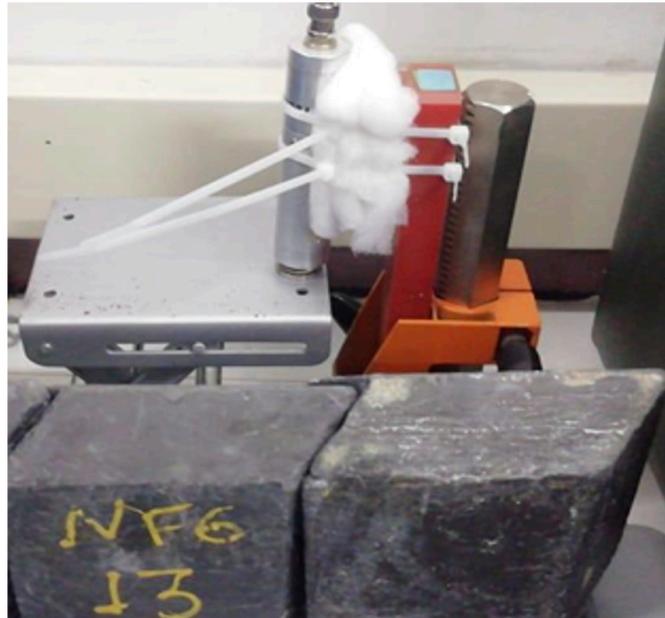


Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó una base metálica para exponer la fuente radiactiva a 5mm de distancia del tubo GM que se encontraba amarrado a una base vertical. Se utili-

zaron ladrillos de plomo para la protección durante las pruebas realizadas (Figura 18).

Figura 18. Montaje con bloques de plomo perimetrales



Fuente: Elaboración propia.

Caracterización mediante curva de Plateau

Se utilizaron 32 voltajes diferentes en un rango de 390 a 1540 Vdc. Por cada voltaje se expusieron las fuentes de radiación durante 1 minuto; estos conteos se visualizaron a través del monitor serial de

Visual Studio code, por la que se comunica la ESP32 (figura 19). Los resultados de estas exposiciones se reflejan en la tabla 1.

Figura 19. Conteos de ESP32

PROBLEMS	OUTPUT	TERMINAL	DE
	cuentas por segundo:	199	
	cuentas por segundo:	200	
	cuentas por segundo:	200	
	cuentas por segundo:	200	
	cuentas por segundo:	199	
	cuentas por segundo:	200	
	cuentas por segundo:	200	
	cuentas por segundo:	200	
	cuentas por segundo:	199	
	cuentas por segundo:	200	
	cuentas por segundo:	200	
	cuentas por segundo:	200	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1: Voltajes aplicados con fuentes ^{14}C beta y ^{137}Cs Gamma, sombreando región GM

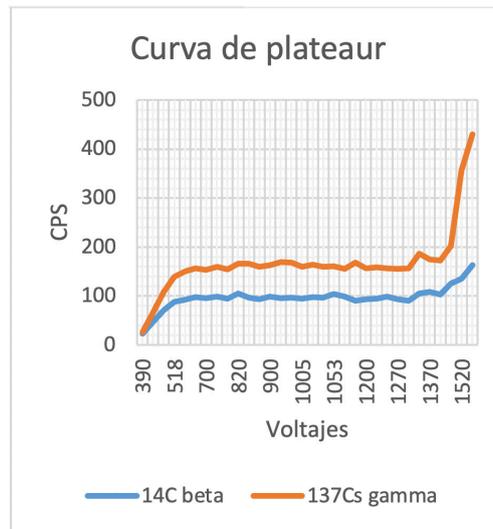
Voltaje	^{14}C beta	^{137}Cs gamma
390	23	26
434	47	67
480	71	108
518	88	139
588	92	150
650	98	157
700	96	153
750	99	160
805	95	154
820	105	166
854	97	166
880	93	160
900	99	163
940	96	169
970	97	168
1005	95	160
1040	98	164
1090	97	160
1053	104	161
1140	99	155
1175	90	168
1200	94	156
1215	95	159
1255	99	156
1270	94	155
1300	90	156
1340	105	186
1370	108	175
1420	103	173
1490	125	202
1520	135	356
1540	163	430

Fuente: Elaboración propia.

Graficando los resultados de la tabla 1 obtenemos la curva de Plateau para el tubo GM utilizado. Como se observa en la figura 20 la región GM está entre los 550 y los 1300 Vdc aproximadamente, lo que indica que este es el rango de operatividad óptimo para el tubo GM en cuestión y reafirmando

los datos obtenidos de la tabla 1. A partir de las pruebas a más de 1340V los conteos empezaron a tener diferencias notables con respecto a las mediciones anteriores, esto es lo que se conoce como el inicio de la región de descarga continua.

Figura 20. Curva de Plateau obtenida del tubo GM utilizado



Fuente: Elaboración propia.

Tiempo muerto y eficiencia

El método de las dos fuentes mencionado previamente se aplicó utilizando rangos en CPM. Se obtuvieron los siguientes resultados: $g_1 = 9.600$ kcpm, $g_2 = 5.400$ kcpm, $g_3 = 14.976$ kcpm y $b = 54$ cpm, con un valor de tiempo muerto de $\tau = 61.21349893 \mu s$ equivalente a un 1% de pérdida de conteos, el cual es un valor que se encuentra dentro del rango de lo teóricamente planteado.

Para la eficiencia el cálculo es algo más extenso por la cantidad de variables a verificar previamente. Con la fuente de 137Cs se obtuvo tiempo medio ($t_{1/2}$), valor de actividad inicial de la fuente (N_0), constante de decaimiento (k) y el fondo natural:

- $t_{1/2} = 30.1$ años o 15.821.000 minutos
- $N_0 = 5 \mu Ci$, equivalentes a 172281,25 CPS.
- $k = 4.3811 \times 10^{-8}$
- Fondo natural = 0.8 cps

Según la curva de Plateau, 750V hacen parte del rango de voltaje de trabajo óptimo para este detector; el conteo registrado con este voltaje fue de 160 cps y, utilizando la ecuación 5, la eficiencia obtuvo un resultado de 0.1%, el cual es un valor esperado por el tiempo de almacenamiento sin uso del tubo GM utilizado.

Propuesta de corrección por eficiencia

Se diseñó una fórmula para realizar una corrección por eficiencia que pueda ser comparada con un equipo patrón, para ello consideramos los cambios que pueden presentar las mediciones en los diferentes rangos de voltaje.

En la búsqueda de referencias realizada no fue posible hallar una ecuación que permita corregir esta eficiencia, motivo por el cual proponemos la ecuación 8 que determina la corrección por eficiencia para el tubo GM utilizado en este caso.

$$ARF = VO * e^{(VO*(x-1))} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde: ARF es el valor real de actividad de la fuente medida en Bequerel, VO es el valor medido con

el detector en CPS, X es una constante que no conocemos, si despejamos x obtenemos

$$x = \frac{\ln \frac{ARF}{VO}}{VO} + 1 \quad \text{Ecuación 9}$$

$$1,02951845719083 = \frac{\ln \frac{17999,9987179043}{160}}{160} + 1 \quad \text{Ecuación 10}$$

Reemplazando todos los valores en la ecuación 8, nos da como resultado 17999,9987179043.

Para confirmar que este dato es correcto tenemos un segundo valor, una fuente de ^{14}C , que tiene en el momento de la toma de la medición una activi-

dad de 1870,59181266222 Bq. Cuando realizamos la medición el dato registrado es de 99 y 100 CPS. Ejecutamos esta ecuación en la tabla 2 para comparar la corrección de los dos valores obtenidos y corregidos con las actividades de las fuentes.

Tabla 2 Corrección de eficiencia de 14C

Valor del medidor	Valor formula
160	17999,99872
150	12561,6509
140	8727,431842
130	6032,603083
120	4145,201195
110	2828,52501
100	1914,125052
99,5	1876,651095
99	1839,864326
90	1282,377194
80	848,5281073
70	552,6844619
60	352,6415118
50	218,7535743
40	130,2711102
30	72,72979223
20	36,09308939
10	13,43374285
1	1,029958445
0	0

Fuente: Elaboración propia.

Visualización el aplicativo Web

Se utiliza una estructura de código abierto realizada por Rui Santos (2019), publicada en la web “Random Nerd Tutorials”. Al igual que se pretende presentar en este documento, Santos realiza una estación de temperatura y humedad donde crea un aplicativo

web a base de PHP, MySQL y XAMPP para la visualización de datos. Se modificó la estructura del aplicativo Web se Rui Santos para orientarlo al monitor de área que se diseña en este trabajo, esta interfaz gráfica se puede observar en la figura 21.

Figura 21. Visualización de conteos en aplicativo Web



Últimas 40 Lecturas

ID	Sensor	Location	Value 1	Value 2	Value 3	Timestamp
501	GM tube TN	Sala_2	320183	N/A	N/A	2020-10-12 14:28:37
500	GM tube TN	Sala_2	312073	N/A	N/A	2020-10-12 14:28:27
499	GM tube TN	Sala_2	312098	N/A	N/A	2020-10-12 14:28:16
498	GM tube TN	Sala_2	312245	N/A	N/A	2020-10-12 14:28:06
497	GM tube TN	Sala_2	312087	N/A	N/A	2020-10-12 14:27:56

Fuente: elaboración propia

Base de datos MySQL del monitor de área

En la tabla “sensordata” de la base de datos llamada “monitorarea” se almacena toda la información que la interfaz de PHP y HTML obtiene para realizar la

visualización en el aplicativo Web. En la figura 22 se observa la ubicación del monitor, el valor de conteo, la fecha y la hora de la obtención del dato.

Figura 22. Tabla de base de datos MySQL del monitor de área.

	id	sensor	location	value1	value2	value3	reading_time
<input type="checkbox"/>	501	GM tube TN	Sala_2	320183	N/A	N/A	2020-10-12 14:28:37
<input type="checkbox"/>	500	GM tube TN	Sala_2	312073	N/A	N/A	2020-10-12 14:28:27
<input type="checkbox"/>	499	GM tube TN	Sala_2	312098	N/A	N/A	2020-10-12 14:28:16
<input type="checkbox"/>	498	GM tube TN	Sala_2	312245	N/A	N/A	2020-10-12 14:28:06
<input type="checkbox"/>	497	GM tube TN	Sala_2	312087	N/A	N/A	2020-10-12 14:27:56
<input type="checkbox"/>	496	GM tube TN	Sala_2	312129	N/A	N/A	2020-10-12 14:27:46
<input type="checkbox"/>	495	GM tube TN	Sala_2	312196	N/A	N/A	2020-10-12 14:27:35
<input type="checkbox"/>	494	GM tube TN	Sala_2	312342	N/A	N/A	2020-10-12 14:27:25
<input type="checkbox"/>	493	GM tube TN	Sala_2	312037	N/A	N/A	2020-10-12 14:27:15
<input type="checkbox"/>	492	GM tube TN	Sala_2	312055	N/A	N/A	2020-10-12 14:27:05
<input type="checkbox"/>	491	GM tube TN	Sala_2	312094	N/A	N/A	2020-10-12 14:26:54
<input type="checkbox"/>	490	GM tube TN	Sala_2	312266	N/A	N/A	2020-10-12 14:26:44
<input type="checkbox"/>	489	GM tube TN	Sala_2	312010	N/A	N/A	2020-10-12 14:26:34

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

El objetivo general de este trabajo fue elaborar un monitor de área radiactiva funcional que visualice sus resultados a través de un aplicativo web, frente a este proceso se puede concluir que:

- La industria radiactiva utiliza amplios métodos tecnológicos de automatización frente a la medición de la radiación ionizante. Sin embargo, aplicar modelos de envíos de datos a través de la web y la aplicación del internet de las cosas es un campo que aún está siendo explorado.
- Las bases teóricas existentes que se aplicaron para el diseño y el montaje del monitor de

área han funcionado a satisfacción pues han permitido obtener un producto que cumple con los parámetros de calidad necesarios para hacer pruebas del conteo de la radiación ionizante; e incluso permitió verificar el desgaste del gas del tubo GM utilizado.

- A través del equipo diseñado se puede identificar la curva de Plateau que genera en cualquier tubo GM por la exposición de fuentes radiactivas. En este caso, la curva evidenció una meseta con un rango de voltaje bastante amplio y sin una región proporcional, lo cual ratificó el desgaste del tubo GM y su baja eficiencia.

- Los resultados generados durante la exposición del equipo a fuentes Beta y Gamma permitió realizar un cálculo acertado del tiempo muerto, el cual fue muy cercano a lo teóricamente planteado.
- La corrección de la eficiencia que se plantea en este proyecto parte del análisis de los resultados obtenidos por el tubo GM utilizado tras la exposición de las fuentes de ^{14}C y ^{137}Cs , esta corrección resulta útil únicamente para este tubo por su característica propia de desgaste, lo cual no asegura que otros contextos tenga viabilidad.
- La ESP 32 presentó un rendimiento óptimo para captar y almacenar los conteos de las señales emitidas por el tubo GM. Adicionalmente, el ESP 32 es un dispositivo potente por su procesador de doble núcleo y WiFi incorporados, los cuales permitieron el envío de esta información a una base de datos que fueron visualizados con éxito en un aplicativo web.

Referencias

- Ávila, M. J., Calvino, V., y López, A. (2018). *Introducción a la Radioquímica*. Recuperado de <http://portal.uned.es/Publicaciones/htdocs/pdf.jsp?articulo=6103412GR03A01>
- Espinar, J. (2016). *El Decaimiento Radiactivo (Modelo Matemático)*. Academia.edu. Recuperado de https://www.academia.edu/30135215/El_Decaimineto_Radiactivo
- Espressif Systems. (2019). *ESP 32 Technical Reference Manual v4.1*. Recuperado de http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/Labs/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- Flakus, F. (1981). Detección y medición de las radiaciones ionizantes: historia sucinta. *Organismo Internacional de Energía Atómica, Boletín*, 23(4), 31-36. Recuperado de https://www.iaea.org/sites/default/files/23405043136_es.pdf
- González, E. (2019). *¿Qué es y para que sirve HTML? el lenguaje más importante para crear páginas WEB*. Aprenderaprogramar.com. Recuperado de: <https://www.aprenderaprogramar.com/attachments/article/435/CU00704B%20Que%20es%20y%20para%20que%20sirve%20HTML%20lenguaje%20web%20mas%20importante.pdf>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2013). *Programa nacional de Protección radiológica en las exposiciones médicas*. Recuperado de <https://www.foroiberam.org/documents/193375/193699/Programa+nacional+de+Protecci%C3%B3n+radiol%C3%B3gica+en+las+exposiciones+m%C3%A9dicas/ec6862ef-8e50-4d4c-b616-9152129109f4>
- Instituto Colombiano de Geología y Minería. (2002). *CURSO DE PROTECCIÓN RADIOLOGICA PARA EL MATERIAL RADIATIVO*. Recuperado de <https://dosimetriapersonal.com/a/images/cursos/MemoriasCursoProteccionRadiologica.pdf>

- Knoll, G. F. (2010). *Radiation detection and measurement*. Ann Arbor, Michigan: John Wiley & Sons.
- Kurniawan, A. (2019). *Internet of Things Projects with ESP32*. Recuperado de https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=v86PDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=esp+32&ots=RzMRdcRWT2&sig=zGAoG7UBLPp8EJFSKFIFFN-nVaU&redir_esc=y#v=onepage&q=esp%2032&f=false
- Martínez, P. (s.f). *Estudio de la radiación con un detector GEIGER-MÜLLER*. Universidad de Oviedo.
- Molliner. (2010). *El detector Geiger-Müller*. Departamento de Física Atómica. Universidad de Valencia, España. Recuperado de http://mural.uv.es/ferhue/4o/fnp/labfnp_p1.pdf
- ORAU. (1999). *Detectores Geiger-Mueller (GM)*. Recuperado de <https://www.orau.org/ptp/collection/GMs/introgms.htm>
- Rashid, M. (2000). *Circuitos microelectronicos: Analisis y diseños*. Ciudad de Mexico, México: International Thomson Editores

Machine Learning como estrategia pedagógica lúdica para planeación de producción

Leila Nayibe Ramírez*, Ana María Villamil**,
Andrea Patricia Vásquez***, & Mariluz Osorio-Quiceno****

Recibido: 08 - 05 - 2020 / Aceptado: 21 - 05 - 2020 / Publicado: 26 - 06 - 2020

Resumen:

Este artículo describe una estrategia pedagógica basada en la lúdica “The Product X, The Product Z, Production Laboratory” diseñada por Schesinger, que busca que el estudiante de ingeniería industrial comprenda con mayor facilidad los conceptos de MRP y Machine learning y que, del mismo modo, pueda implementarlos en su proceso de aprendizaje. Se realizó un análisis con varios modelos matemáticos, para identificar el resultado que se ajusta mejor a las predicciones sobre el tamaño de las órdenes de producto y tipo de producto. En la realimentación realizada con los estudiantes que participaron en la lúdica, se evidenció que el proceso fue satisfactorio, pues calificaron a los conocimientos adquiridos por encima del 75%.

Abstract

This article describes a pedagogical strategy based on the playful “The Product X, The Product Z, Production Laboratory” designed by SCHE-SINGER, which seeks to make it easier for the industrial engineering student to understand the concepts of MRP and Machine learning and also to implement them in their learning process. An analysis was performed with several mathematical models, to identify the result that best matched the predictions to the size of the product orders and product type. In the feedback made with the students who participated in the play, it became evident that the process was satisfactory, as they rated the acquired knowledge above 75%.

Palabras clave:

planeación de los requerimientos de materiales, Machine learning, Python, lúdica

Cómo citar: Ramírez, L., Villamil, A., Vásquez, A. y Osorio, M. (2020). Machine Learning como estrategia pedagógica lúdica para planeación de producción. *Hashtag*, (16), 65-83

Keywords: Planning of material requirements, Machine Learning, Python, playful

Declaración de conflictos de interés: las autoras declaran no tener ningún conflicto de interés

* Docente, facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Bogotá, Colombia. leylan.ramirez@unilivre.edu.co
** Estudiante, facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Bogotá, Colombia. anam-villamil@unilivre.edu.co
*** Estudiante, facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Bogotá, Colombia. andreap-vasquez@unilivre.edu.co
**** Docente, facultad de Ingeniería, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia. mosorio@unbosque.edu.co

Introducción

A lo largo de los años se ha visto cómo las clases magistrales predominan en la enseñanza, ocasionando en los estudiantes una limitante para interactuar, trabajar en equipo, ser creativos o simplemente comprender con claridad lo que se pretende enseñar (Hernández, 2015). Por ello, el panorama actual de la enseñanza de la ingeniería sugiere el uso de métodos educativos donde el estudiante practique lo que aprendió en el aula para afianzar ese conocimiento.

De acuerdo con el artículo de González (2015) “los juegos didácticos constituyen una técnica participativa de la enseñanza, encaminada a desarrollar en los estudiantes métodos de dirección y conducta correcta, para estimular así la disciplina con un adecuado grado de decisión y autodeterminación”

Las lúdicas son procesos de apoyo pedagógico que se utilizan activamente, incluso en la enseñanza del sistema de inventarios, ya que permiten al jugador tomar decisiones sobre tener o no inventarios en la simulación que, a futuro se convertirá en un problema real, y se verá reflejado positiva o negativamente a las utilidades de la compañía (Rodríguez & Ramos, 2016).

Por otra parte, cada vez es más relevante para las empresas desarrollar modelos predictivos, pues son de ayuda al momento de interpretar una colec-

ción de datos y se sirven de áreas como estadística, probabilidad, investigación de datos y recuperación de información. Para este propósito, se utilizan técnicas de Machine Learning (Chang, Cohen & Ostdiek, 2018; Orozco, 2018).

Además, dentro de los procesos de gestión de la producción, su planificación es una actividad relevante en la toma de decisiones de las organizaciones, porque le permite establecer la cantidad de suministros y satisfacer las necesidades de los materiales necesarios para cumplir con las expectativas de la demanda, lograr su eficacia a través de herramientas como el MRP y equilibrar la relación entre proveedores y clientes. El alcance de la actividad de planificación ha permitido el desarrollo de programas de gestión como el Enterprise Resource Planning (ERP) que se incorpora en casi todos los programas de gestión empresarial modernos (Katu, 2020).

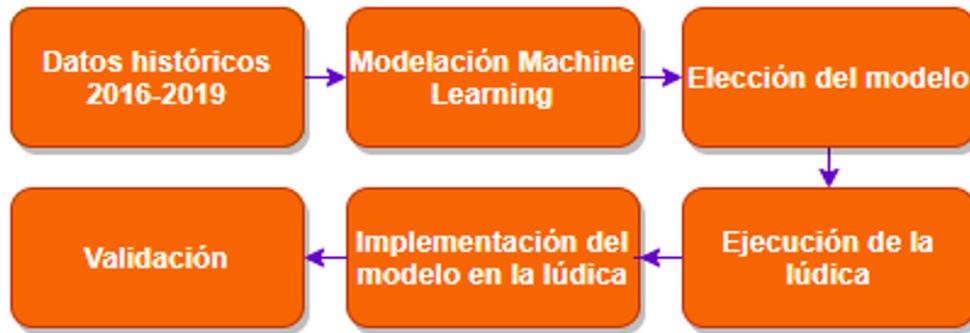
Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta en este artículo una estrategia pedagógica que pretende facilitar en el estudiante el proceso de aprendizaje, simulando escenarios de producción con fichas lego en las que se apoya el proceso de formación para profundizar en los conceptos enseñados en el aula de clase y transmitir al estudiante conocimientos que contribuyan a la mejora continua de los procesos en la cadena de abastecimiento.

Metodología

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se contempló el desarrollo de una estrategia pedagógica a partir de una lúdica que simula una planta de producción, donde el objeto para la simulación de producción son las fichas de lego; la estrategia in-

cluye conceptos de MRP y Machine Learning. Estos últimos propuestos en esta investigación como alternativa de actualización de los contenidos de materias como planificación y control de la producción.

Fig. 1. Ciclo estrategia pedagógica



Fuente: Elaboración propia

Los productos son una adaptación de lo propuesto en Osorio Quiceno & Jaramillo (2006). Esta lúdica permite ver con facilidad el comportamiento de los inventarios, ya que simula la cantidad de producto, el nivel y control de inventarios y el consumo de materias primas.

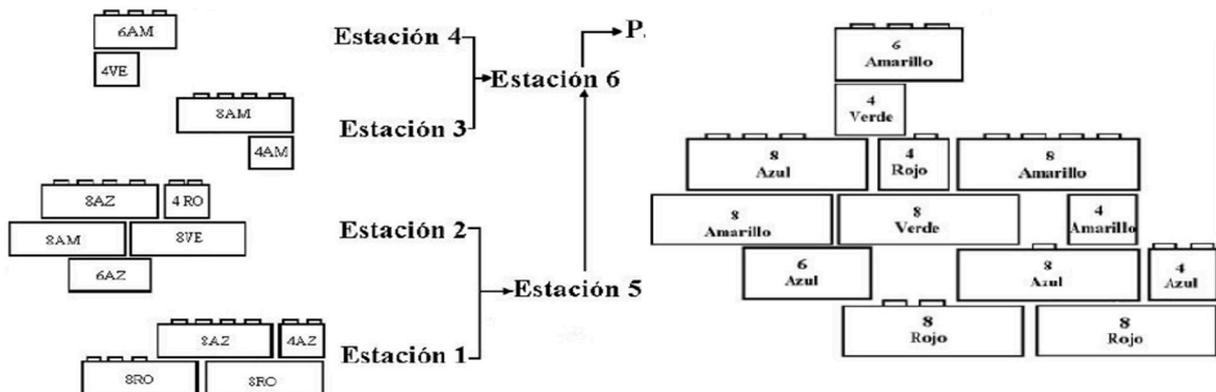
El proyecto tuvo lugar en la sede el bosque de la Universidad Libre (Bogotá) en la Facultad de Ingeniería Industrial, donde participaron 35 de

estudiantes de la materia control de producción.

Desarrollo de la lúdica

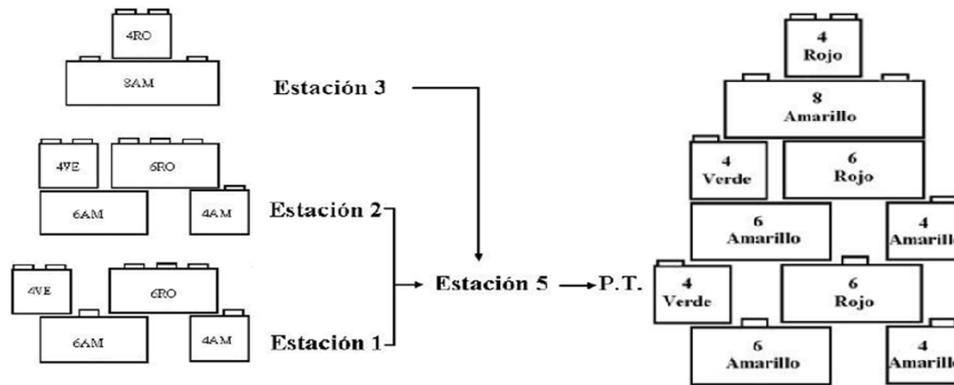
El proceso de producción consiste en elaborar dos tipos de productos, el X de 13 fichas y el producto Z de 10 fichas. La planta cuenta con 6 estaciones, conformadas por 4 estaciones de subensambles para X y 3 para Z y el restante son estaciones de ensamble (Ver Figuras 2 y 3).

Fig. 2. Producto X - Ensamble y producto terminado



Fuente: (Osorio Quiceno & Jaramillo, 2006)

Fig. 3. Producto Z - Ensamble y producto terminado



Fuente: (Osorio Quiceno & Jaramillo, 2006)

La materia prima requerida (fichas de lego) se encuentra ubicada dentro de contenedores en las estaciones 1, 2, 3 y 4, en la que, a su vez, se realizan los subensambles. (Osorio Quiceno & Jaramillo, 2006)

Las órdenes de producción y producto determinado se generan a partir de números aleatorios como parte de una función de distribución de probabilidad, en la que cada número aleatorio corresponde a una pro-

babilidad de ocurrencia de un evento. Los productos son fabricados en lotes de producción de tamaños iguales a 5, 10, 15 o 20 unidades. La estación número 1 genera un subensamble y su modelo se encuentra disponible en esta sección. Los datos correspondientes a la generación de la orden, Lead Time, tipo de producto y cantidad, que se producirá, son registrados en el tablero de control de la producción (Osorio Quiceno & Jaramillo, 2006) (Ver Tabla No. 1).

Tabla No. 1 Tablero de Control de la Producción

Time	W.O.	CAR	X	Z	Q.L.T.	L.T.
0	1					
1	2					
2	3					
3	4					
4	5					
5	6					
6	7					
7	8					
8	9					
9	10					

Fuente: (Osorio Quiceno & Jaramillo, 2006)

Técnicas de Machine Learning empleadas

La actividad lúdica descrita en Osorio Quiceno & Jaramillo (2006) se ha ejecutado en los últimos 4 años aproximadamente, y ha obtenido un histórico de datos que fueron llevados a Python a través de la aplicación de Jupyter (Caja, 2020; Pedregosa et al., 2011) para modelación de diferentes herramientas de predicción utilizadas en Machine Learning como perceptrón multicapa, perceptrón multicapa con regresión lineal, clasificación con árboles de decisión y regresiones gaussianas.

El propósito de la investigación es incorporar estos conceptos como parte de la construcción de herramientas para la estimación de variables que apoyan la decisión en la planificación de producción como el tamaño de la orden que está relacionada con la demanda, así como el tipo de producto de interés para el cliente. A continuación, se detallan cada una de las herramientas de Machine Learning.

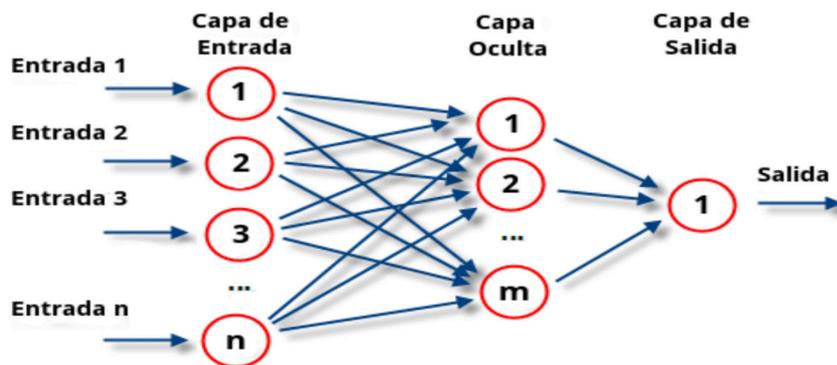
Perceptrón multicapa

Definida como una red neuronal que se caracteriza por estar agrupada por capas de diferentes niveles -de entrada, ocultas y de salida- que la conforma un grupo de neuronas (Haykin, 2004).

Las neuronas de la capa de entrada son las encargadas de recibir las señales o patrones del exterior para propagarlas en las capas ocultas y pasarlas, finalmente, por la capa de salida, que proporciona la respuesta a las señales o patrones recibidos.

Las neuronas de una capa se conectan a las neuronas de la siguiente capa, es decir que su estructura es hacia adelante. Generalmente, las neuronas de la red están conectadas por capas. Se dice entonces que existe conectividad total o que la red está totalmente conectada (Haykin, 2004).

Figura. 4



Fuente: (Haykin 2004)

Perceptrón multicapa con regresión lineal

El modelo perceptrón multicapa con regresión lineal tiene una relación entre modelos estadísticos y los modelos de redes neuronales. Estos pueden ser aplicados en el análisis estadístico a los proble-

mas de predicción (análisis de regresión). Las redes neuronales pueden ser entendidas como modelos generales de regresión que buscan predecir valores futuros de una o varias variables (dependientes o respuestas). Los modelos clásicos de regresión

lineal y no lineal pueden ser modelados y analizados a través de las redes neuronales (Ranjeeth, Latchoumi & Paul, 2020).

Clasificación de árboles de decisión

De acuerdo con (Calancha & Abgar, 2021.), "El Árbol de Decisiones es una técnica enmarcada dentro del desarrollo de métodos y sistemas de razonamiento utilizados en investigaciones de inteligencia artificial y programación de aplicaciones, por su estructura son fáciles de comprender y analizar" (p. 2).

El objetivo de los árboles de decisión es construir un método que, a partir de una colección de variables, prediga el valor de otra (Haykin, 2004); permite hacer un análisis rápido de las consecuencias de las posibles decisiones. Dentro de esta técnica se pueden identificar dos categorías.:

Árboles de clasificación: Son modelos donde la variable de destino puede tomar un conjunto finito de valores. Las hojas representan etiquetas de clase y las ramas representan las conjunciones de características que conducen a esas etiquetas de clase (Haykin, 2004).

Árboles de regresión: Son modelos donde la variable de destino puede tomar valores continuos, generalmente, números reales. (Haykin, 2004).

Regresiones Gaussianas

Las regresiones Gaussianas son utilizadas para buscar una probabilidad total; la suma de las columnas es igual a 1. En esta regresión se utilizó NAIVE BAYES, más conocida como estadística bayesiana. Para esta probabilidad se busca evidencia para apoyar la hipótesis de partida o, por el contrario, establecer una nueva hipótesis alterna. Este planteamiento recibe el nombre de Bayes y es de carácter inferencial debido a que, a partir de una muestra y del teorema, se puede comparar para concluir acerca de la población de la que proviene la muestra (Murphy, Mesa, Rivera & Romero, 2011).

El teorema de Bayes relaciona la probabilidad de que suceda un evento y que, a su vez, sucede otro. Esto se denomina probabilidad condicionada y el teorema de Bayes conjuga las probabilidades condicionales para hallar las probabilidades inversas (Soto, 2011).

La ecuación (1) del teorema de Bayes (Wiper n.d.) es la siguiente:

$$P(D) = \frac{P(h)P(h)}{P(D)} \quad (1)$$

$P(h)$: Es la probabilidad de que la hipótesis h sea cierta (independientemente de los datos). Esto se conoce como la probabilidad previa de h .

$P(D)$: Probabilidad de los datos (independientemente de la hipótesis). Esto se conoce como probabilidad previa.

$P(h|D)$: Es la probabilidad de la hipótesis h dada los datos D . Esto se conoce como la probabilidad posterior.

$P(D|h)$: Es la probabilidad de los datos d dado que

la hipótesis h era cierta. Esto se conoce como probabilidad posterior.

Para implementar las técnicas con los datos históricos recopilados en el laboratorio, se analizaron los datos de los productos X y Z por separado y, después, juntos como colección de datos para el entrenamiento de los algoritmos propuestos. Las variables de entrada son los minutos que tardan en construirse los diferentes lotes de producto y las variables de salida son el tamaño de la orden (W.O.) y tipo de producto (X, Z).

Resultados

Análisis descriptivo estadístico

La metodología busca mostrar la información suministrada de modo ordenado, claro, y sencillo mediante gráficas y medios visuales, donde se extraen características representativas de los datos que evidencian tendencias y comportamientos (Cogno-data, 2019). Esto es fundamental para entender el comportamiento de las variables. A continuación, se detallan las variables analizadas y sus descriptores estadísticos. Para su mayor comprensión, se explican los siguientes valores:

WO: Orden de trabajo

QLT: Tiempo prometido de entrega

LT: Tiempo de entrega del producto terminado

Producto X

En promedio la orden de trabajo para el producto X es de 10.9 unidades donde el tiempo de entrega en promedio es de 1.96 minutos con una desviación estándar de 1,45 minutos.

Tabla No. 2: Resultado del producto X

	W.O.	Q.L.T.	LT(Minutos)
Conteo	161,00	161,00	161,00
Media	10,93	1,83	1,96
σ	5,92	0,77	1,45
Min	5,00	1,00	0,29
25%	5,00	1,00	1,00
50%	10,00	2,00	1,37
75%	15,00	2,00	2,53
Max	20,00	3,00	6,28

Fuente: Elaboración propia

El tiempo mínimo que se tarda en realizar el producto X es de 0,29 minutos, el 25% de los datos es menor a 1 minuto, el 50%, a 1,37 minutos y el 75%, a 2,53 minutos. El valor máximo que puede tomar la variable LT es de 6,28 minutos. Esto se debe a que se fabrican lotes diferentes de 5, 10,15 y 20.

Producto Z

En promedio la orden de trabajo para el producto Z es de 11.35 unidades, en la que el tiempo de entrega en promedio es de 1.70 minutos con una desviación estándar de 1,11 minutos.

Tabla No. 3: Resultado del producto Z

	W.O.	Q.L.T.	LT(Minutos)
Conteo	80,00	80,00	80,00
Media	11,35	1,82	1,70
σ	5,58	0,68	1,11
Min	5,00	1,00	0,27
25%	5,00	1,00	1,06
50%	10,00	2,00	1,25
75%	15,00	2,00	2,18
Max	20,00	3,00	5,50

Fuente: Elaboración propia

El tiempo mínimo, que se demora en realizar el producto Z, es de 0,27 minutos, el 25% de los datos de es menor a 1,06 minuto, el 50% es de 1,25 minutos y el 75% de 2,18 minutos. El valor máximo que puede tomar la variable LT es 5,5 minutos. Esto se debe a que se fabrican lotes diferentes de 5, 10,15 y 20. Además que la dificultad de la construcción del producto es menos compleja que el producto X.

Producto XZ

Teniendo en cuenta la totalidad de unidades de producto, en promedio 0.67 unidades, son del producto X y 0.33 unidades para el producto Z, cuyo tiempo de entrega, en promedio, para ambos productos es de 1.87 minutos con una desviación estándar de 1,87 minutos.

Tabla No. 4: Resultado del producto XZ

	W.O.	X	Z	Q.L.T.	LT(Minutos)
Conteo	241,00	241,00	241,00	241,00	241,00
Media	11,05	0,67	0,33	1,82	1,87
σ	5,79	0,47	0,47	0,74	1,38
Min	5,00	0,00	0,00	1,00	0,27
25%	5,00	0,00	0,00	1,00	1,02
50%	10,00	1,00	0,00	2,00	1,30
75%	150,00	1,00	1,00	2,00	2,50
Max	20,00	1,00	1,00	3,00	6,28

Fuente: Elaboración propia

El tiempo máximo que se obtiene al realizar los productos X y Z es de 6,28 minutos y el mínimo de 0,27 minutos.

Diagrama de frecuencia

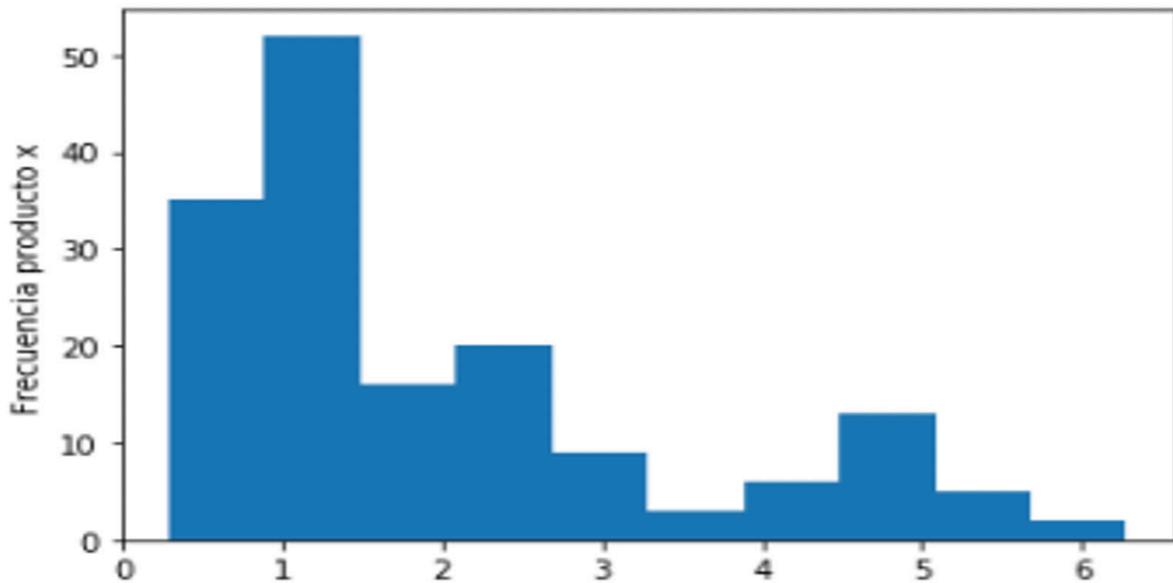
Es una herramienta que se utiliza para establecer la frecuencia con que se presenta el evento en una categoría de datos considerada como clases. Este diagrama permite visualizar la frecuencia de un evento mediante un diagrama de barras obtenido a partir de los datos observados en el laboratorio control de la producción; en este caso específico, cada barra representa la frecuencia con que se pre-

sentan los tiempos de espera en minutos. Esto es de utilidad, porque permite:

- Construir una base de datos de valores, para determinar el valor máximo y mínimo, con el que se cree un análisis estadístico descriptivo de la variable.
- Calcular el número de intervalos en el que se divide el rango que abarca desde el valor mínimo hasta el máximo.
- Identificar oportunidades de mejora.
- Estudiar los resultados.
- Planear mejoras continuas.

Producto X

Figura 5. Diagrama de frecuencia de X (LT - Minutos)



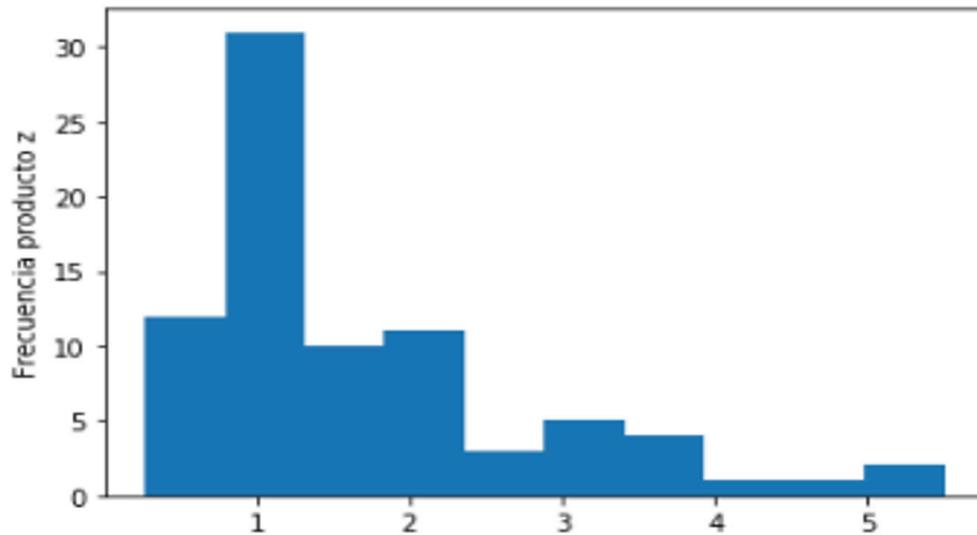
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la gráfica, el eje y representa la frecuencia y el eje x, el tiempo que se tarda en hacerse el producto (LT minutos): se inicia en 0.46 minutos con una frecuencia de 35 veces para el pro-

ducto X; el diagrama presenta un decrecimiento notorio en la frecuencia 3.5 a 14.51. El histograma sugiere una distribución de probabilidad asimétrica y no coincidente con la normalidad de los datos.

Producto Z

Figura 6. Diagrama de frecuencia de Z (LT - Minutos)



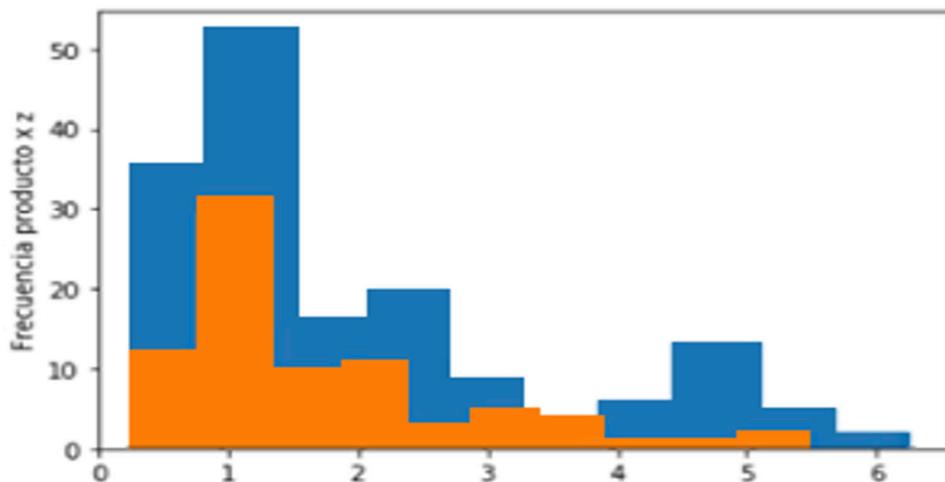
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para el producto Z, se observa que el tiempo se eleva significativamente alrededor de 1 minuto. Esto significa mayores registros de los datos en este rango: en la clase de 4 a 5 minutos, la frecuencia de los datos disminuye. Se puede decir

que la experiencia en la construcción del producto minimiza el tiempo de su realización, así como el número de lotes de producto se puede concentrar en las cantidades de 5 y 10 unidades.

Producto XZ

Figura 7. Diagrama de frecuencia de XZ (LT - Minutos)



Fuente: Elaboración propia

En esta gráfica se puede identificar el tiempo del producto terminado para los productos X (azul) versus el producto Z (naranja), en los que el mejor rendimiento lo tiene el producto Z en términos de tiempo. Los datos se comportan asimétricos y no sugieren un comportamiento bajo una distribución de probabilidad normal.

Diagramas de correlación

Los diagramas de correlación son una descripción gráfica utilizada para la interpretación de datos. Con este sistema se puede verificar la relación entre dos variables (Weisstein n.d.) o parámetros de un problema. Se utiliza para identificar si existe dependencia entre dos magnitudes o parámetros.

La correlación permite establecer la relación lineal entre dos variables para variables cuantitativas y aleatorias (Weisstein, 2006.). Para su estimación se tuvo en cuenta los resultados históricos de varios

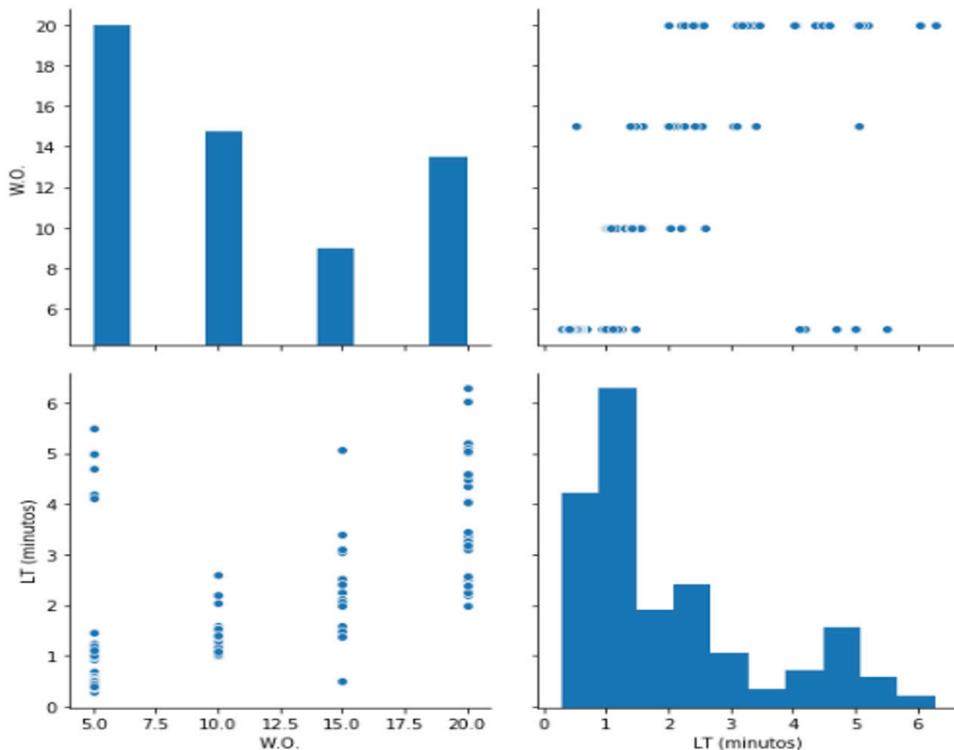
laboratorios para obtener muestras y calcular el coeficiente de correlación muestral del que se obtienen valores diferentes.

Producto X

En la gráfica de W.O. se puede ver que la relación es positiva, ya que hay un incremento en Y que puede ser causado por X. Como en la tabla de datos inicial, se controló a X, esto se ve reflejado en el comportamiento de Y.

En la figura 8 de LT (minutos) con respecto a W.O. (orden de trabajo), manifiesto en el cuadrante inferior izquierdo, la información se concentra en las órdenes de 20 unidades y se identifican también comportamientos atípicos donde los datos se salen del patrón de observación; no es posible determinar una tendencia, pero se puede realizar e agrupamiento de los datos, ya que las cantidades de producto son discretas (Moscote & Quintana, 2008).

Figura 8. Diagrama de correlación de X



Fuente: Elaboración propia

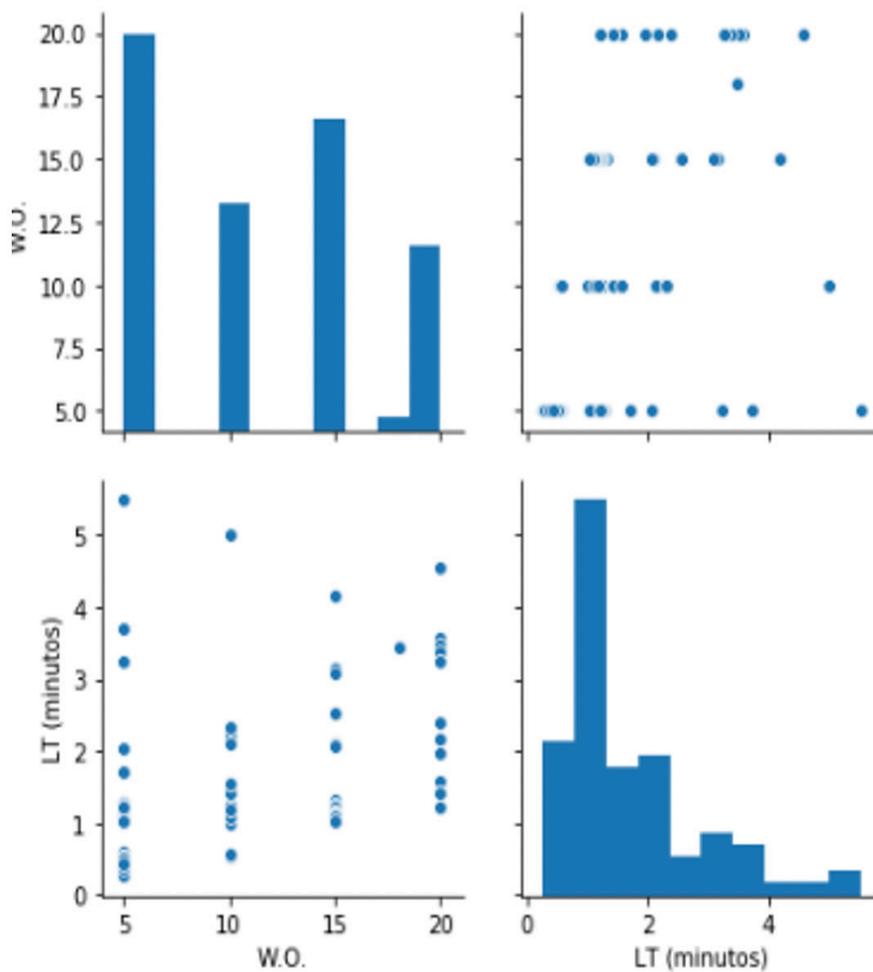
Producto Z

Para el producto Z, en la gráfica de la relación entre LT (minutos) con respecto a W.O. (orden de trabajo), expuesto en el cuadrante superior derecho, se evidencia tanto la relación positiva, con una dispersión significativa de los datos, así como el aumento de los datos atípicos en cada uno de los tamaños de lote realizados para este juego. Cuando los lotes

son de 20 unidades, la dispersión disminuye y los datos se concentran más. Se obtiene un efecto contrario, cuando los lotes son de 5 unidades.

No se puede sugerir un patrón de tendencia para los datos, ya que están agrupados; los análisis de clúster son una opción recomendada para mejorar el análisis de las variables.

Figura 9. Diagrama de correlación de Z



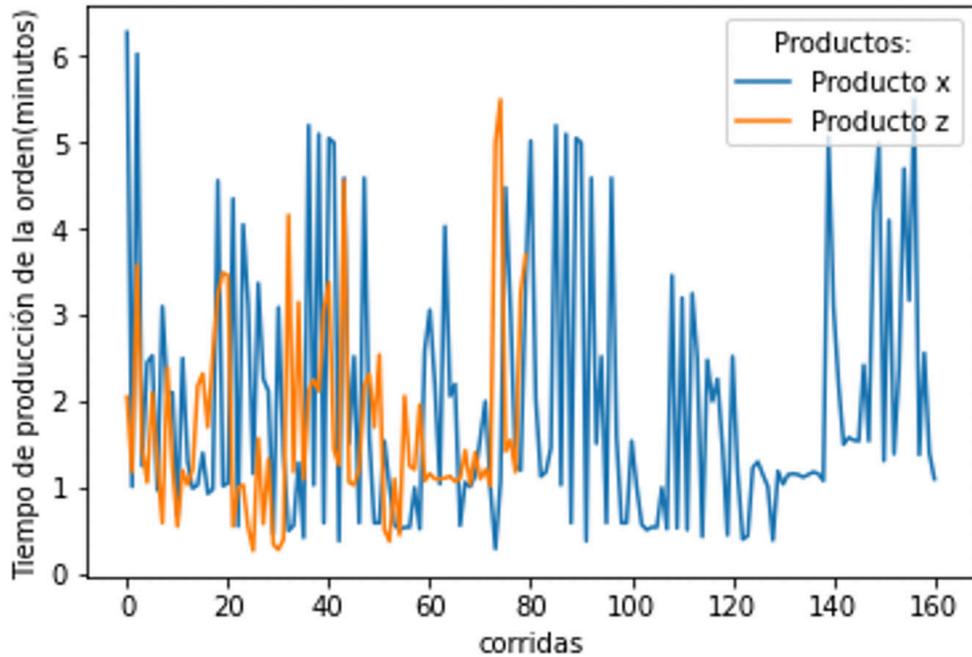
Fuente: Los autores

Producto XZ

Al considerar la colección de datos en conjunto, se observa menos dispersión de la información iden-

tificación concentración en tiempos específicos, así como menos datos atípicos (Ver Figura 10)

Figura 11. Comportamiento de datos de XZ



Fuente: Elaboración propia

Ajuste de los modelos por Machine Learning

El coeficiente de determinación ajustado o R cuadrado se utiliza para ver la efectividad que tie-

nen las variables independientes con respecto a la variable dependiente como muestra la siguiente ecuación (Marco Sanjuán, s.f.).

$$R_a^2 = 1 - \left[\left(\frac{n - 1}{n - k - 1} \right) * (1 - R^2) \right] \quad (2)$$

R_a^2 = R cuadrado ajustado o coeficiente de determinación ajustado

R^2 = R cuadrado o coeficiente de determinación

n= Número de observaciones de la muestra

k= Número de variables independientes

El coeficiente de determinación ajustado compara modelos aplicados a las variables independientes de un estudio y permite su comparación homogénea (Minitab 2019).

El R-cuadrado siempre está entre 0 y 1: entre más cerca esté a 1 sus valores, esto significa que su ajuste es mejor.

Teniendo en cuenta lo mencionado y aplicando dicho ajuste a los modelos matemáticos utilizados, se determina que para el R ajustado tanto del producto X como del producto Z, el mejor modelo de empleo compete a la clasificación con árboles de decisión teniendo en cuenta su ajuste de 0.919 y 0.925 respectivamente.

Tabla No. 5: R ajustado para los productos XZ

Técnica	R ajustado Producto x	R ajustado Producto z
Perceptrón multicapa	0.337	0.162
Perceptrón multicapa con regresión	-2.511	-4.096
Clasificación con árboles de decisión	0.919	0.919
Regresiones Gaussianas	0.602	0.4

Fuente: Elaboración propia

De igual modo que en la tabla anterior, para el producto de XZ, el mejor ajuste corresponde a la clasificación con árboles de decisión con un valor de 0.86.

Tabla No. 6: R ajustado para los productos XZ

Técnica	R ajustado Producto XZ
Perceptrón multicapa	0.668
Perceptrón multicapa con regresión	-2.711
Clasificación con árboles de decisión	0.863
Regresiones Gaussianas	0.668

Fuente: Elaboración propia

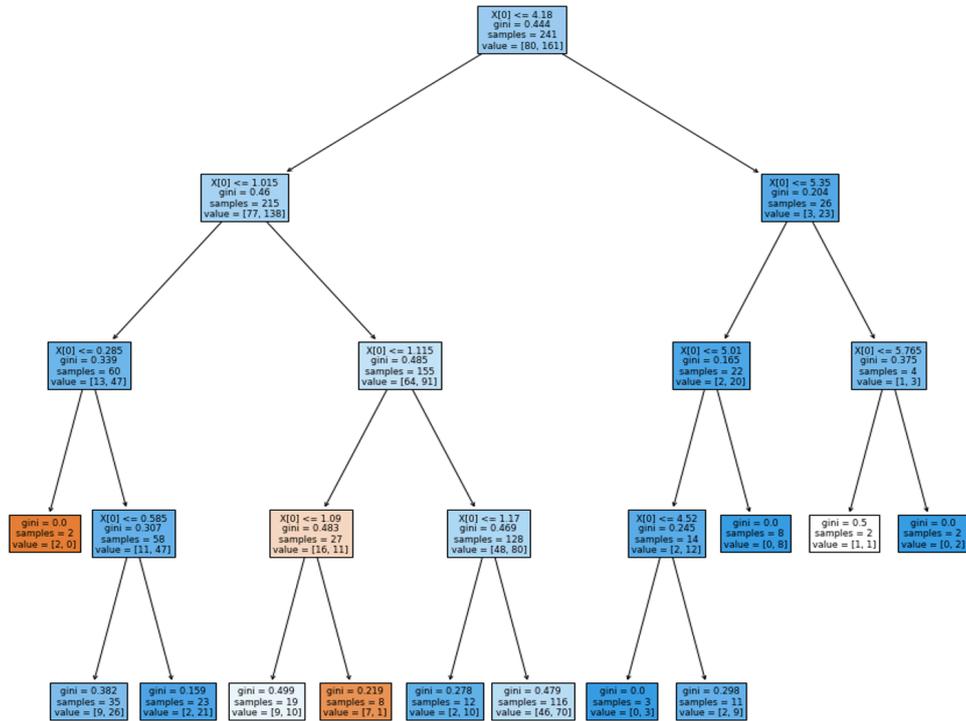
El árbol de clasificación utiliza el algoritmo de índice de Gini para cuantificar la varianza total de las clases en el nodo y crear puntos de división, también se conoce como una medida de impureza.

$$Gini(D) = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2 \quad (3)$$

Donde, p_i es la probabilidad de que una tupla en D pertenezca a la clase C_i .

El índice de Gini comprende la división binaria para cada atributo.

Figura 12. Árbol de decisión para los productos XZ



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 12, se observa el modelo de predicción obtenido por árboles de clasificación. Cada nodo interno tiene una regla de decisión que divide los datos. La relación de Gini mide la impureza del nodo. De acuerdo al resultado obtenido, se interpreta que, cuando el tiempo de producción de X es menor a 4.18 min., existe la posibilidad que solo 161 unidades sean de este modelo y que los siguientes niveles se agrupen de acuerdo a la ganancia de la información; cuando el tiempo de producción de X es menor a 1.17 minutos en una demanda de 128 unidades, solo sólo 80 unidades pertenecerán a X. Para establecer el tamaño del lote se considera que, de acuerdo a la información obtenida, para producir lotes de 20 unidades en X, el tiempo promedio se encuentra en 3.87 minutos.

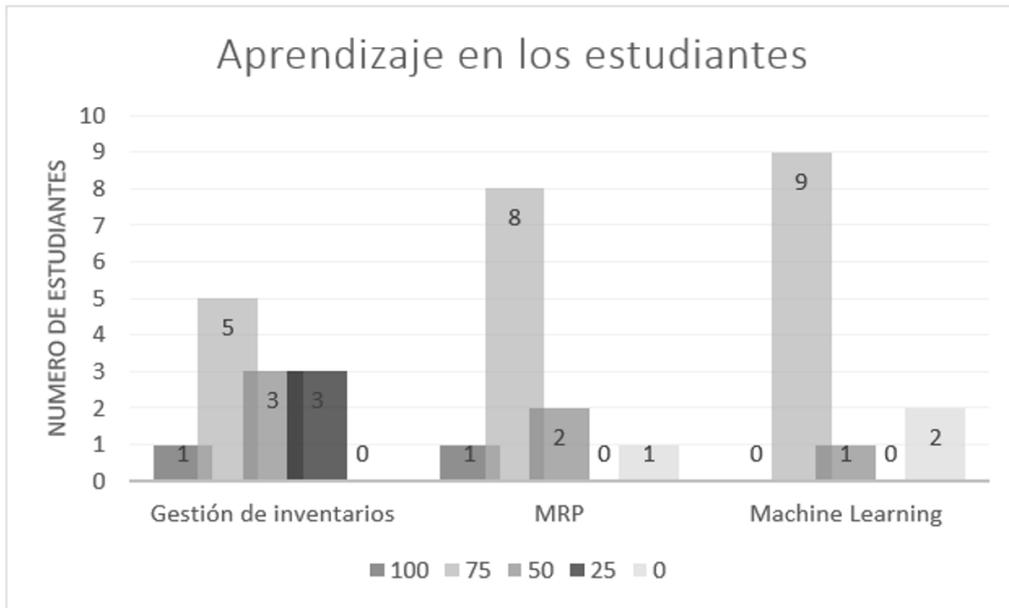
A través del modelo clasificación con árboles de decisión, se logró pronosticar tanto las órdenes de trabajo como para el producto (X y Z). Estos fue-

ron probados, a su vez, en la aplicación de la lúdica (Osorio Quiceno & Jaramillo, 2006) con los estudiantes de VIII semestre de la materia control de la producción en el 2 periodo de 2020, que presupuso un ajuste fue del 86%.

Cabe destacar que, para este periodo, el país estuvo confinado un periodo confinamiento por la COVID-19. Por esto, la lúdica debió ser realizada de manera virtual, con el apoyo de herramientas como LEGO Digital Designer (Lego n.d.) y Anydesk.

Exceptuando algunas fallas de internet, la lúdica se pudo realizar con normalidad y fue satisfactoria en cuanto a las predicciones del modelo elegido y la enseñanza de los conceptos de MRP y Machine Learning. Esto se deduce de los resultados arrojados por la encuesta realizada a los estudiantes al finalizar la lúdica.

Figura 13. Aprendizaje en los estudiantes



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Luego de haber ejecutado varias veces los datos en el programa Python y de utilizar varios modelos matemáticos, se concluyó que la técnica más precisa para este estudio corresponde a la Clasificación con árboles de decisión, pues se observa en el análisis descriptivo que la relación entre variables no es lineal y genera agrupamientos de información que puede ser mejor interpretados con este modelo.

Una de las preguntas en la encuesta aplicada al finalizar la actividad, tuvo la finalidad de indagar sobre el estilo de aprendizaje de los estudiantes. Este sondeo arrojó que el 83%, adquiere el conocimiento de modo pragmático, es decir, mediante la práctica.

Se les pidió a los estudiantes asignarse una calificación cuantitativa a lo comprendido de los temas propuestos a partir de los siguientes parámetros: malo (0%), bueno (25%), aceptable (50%), sobresa-

liente (75%) y excelente (100%). Teniendo en cuenta los resultados por encima del 75%, se determinó que el aprendizaje fue del 50% en Gestión de Inventarios, 75% en MRP y 75% en Machine Learning, como se evidencia en la figura 13.

En este ejercicio, el programa Python jugó un papel importante en cuanto la predicción de órdenes de trabajo y producto, ya que acerca al estudiante a un escenario más realista y permitió tomar decisiones con respecto a tener un inventario de seguridad apoyado en las predicciones o simplemente aguardar a el pedido real del cliente.

Para el equipo que decidió contar con un inventario de seguridad, apoyado en las predicciones, su tiempo de alistamiento y entrega del producto fue mejor en un 43% con respecto al equipo que consideró el pedido real del cliente.

Referencias

- Caja García, O. (2020). *Librería Python para el aprendizaje y la implementación de redes neuronales* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/152226>
- Calancha, C., & Abgar, N. (2011). *Breve aproximación a la técnica de árbol de decisiones*. Recuperado de <https://niefcz.files.wordpress.com/2011/07/breve-aproximacion-a-la-tecnica-de-arbol-de-decisiones.pdf>.
- Chang, S., Cohen, T. & Ostdiek, B. (2018). What is machine learning?. *Physical Review D*. (97). Recuperado de <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.97.056009>
- Cognodata (2019). ¿Qué Es El Análisis Descriptivo?. Recuperado de <https://www.cognodata.com/que-es-analisis-descriptivo/>
- González, Nelson Vladimir Yepes (2015). La educación lúdica en los procesos de enseñanza aprendizaje de los ingenieros industriales." *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*.
- Haykin, S. (2004). *Neural Networks. A Comprehensive Foundation*. Vol. 2. Prentice Hall.
- Hernández Cruz, Harold. (2015). La Lúdica En El Aula de Ingeniería. Revisión de Experiencias. *Revista de Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de La Información*. 2(3):67-71.
- Ithandehuil C. & Crisólogo, D. (2006). Lectura e Interpretación de Gráficas Socialmente Compartidas. *Revista Latinoamericana de Investigación en matemática educativa*.
- Katuu, S. (2020). New Review of Information Networking Enterprise Resource Planning: Past, Present, and Future." *New Review of Information Networking* 25(1):37-46. Doi: 10.1080/13614576.2020.1742770.
- Marco, F. J. (s.f.) R cuadrado ajustado: coeficiente de determinación ajustado. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-ajustado-coeficiente-de-determinacion-ajustado.html>
- Minitab. (18 de abril de 2019). Análisis de Regresión: ¿Cómo Puedo Interpretar El R-Cuadrado y Evaluar La Bondad de Ajuste? [Entrada de blog]. Recuperado de <https://blog.minitab.com/es/analisis-de-regresion-como-puedo-interpretar-el-r-cuadrado-y-evaluar-la-bondad-de-ajuste>
- Moscote, O., and & Quintana, R. (2008). *Estadística I: Programa administracion publica territorial*.
- Murphy, K. P. (2006). Naive bayes classifiers. *University of British Columbia*, 18(60), 1-8.

- Mesa L., Lozano, M. R., & Davila, J.. (2011). Descripción general de la Inferencia Bayesiana y sus aplicaciones en los procesos de gestión. *La simulación al Servicio de la Academia*, 2, 1-28.
- Orozco, J. A. (2018). Machine Learning y su importancia en la actualidad. Recuperado de <https://www.ipade.mx/2018/08/30/machine-learning-y-su-importancia-en-la-actualidad/>
- Quiceno, M. O., & Jaramillo, C. (2006). Utilización de la lúdica para la enseñanza del MRP I. *Scientia et technica*, 3(32). Doi: <https://doi.org/10.22517/23447214.6289>.
- Pedregosa, F. et al. (2011). Scikit-Learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research* 12:28, 25–30.
- Ranjeeth, S., Latchoumi, T. P., & Paul, P. V. (2021). Optimal stochastic gradient descent with multilayer perceptron based student's academic performance prediction model. *Recent Advances in Computer Science and Communications (Formerly: Recent Patents on Computer Science)*, 14(6), 1728-1741.
- Rodriguez, A. M. P., Mejia, K. A. P., & Ramos, A. F. S. (2016). Propuesta de un juego de mesa como herramienta didáctica para la explicación de conceptos de control de inventarios en programas de ingeniería industrial. *Revista educación en ingeniería*, 11(21), 45-50.
- Soto, G. R. (2011). El teorema de Bayes. *Revista De Educación Matemática*, 26(3), 3-25.
- Weisstein, E. W. (2006). Correlation coefficient. Recuperado de <https://mathworld.wolfram.com/>.
- Wiper, M. (s.f.). Probabilidad condicionada y el teorema de BAYES ¿Cambiarías de Puerta? Recuperado de http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/mwiper/documenta/Spanish/Teoria_Est_El/tema4_orig.pdf

Pautas para publicar en *Hashtag*

Revista especializada en Ingeniería

La revista está dirigida a estudiantes, docentes y egresados de la Escuela de Ingenierías de la CUN, de áreas del conocimiento relacionadas de la misma universidad o a investigadores invitados de otras universidades u organismos nacionales o internacionales.

Lineas temáticas:

- Ciencia, tecnología e innovación
- Utilización de las tic en el aula
- Seguridad informática, gestión de redes y telecomunicaciones
- Inteligencia artificial y sistemas expertos

Tipos de artículos:

Artículo de investigación científica y tecnológica: documento que presenta de manera detallada los resultados originales de un proyecto de investigación. Por lo general, la estructura de estos textos está constituida por cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y discusión.

Artículo de reflexión: documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales.

Artículo de revisión: documento que surge de una investigación en la que se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, con el fin de dar cuenta de los avances y tendencias de desarrollo en un área de conocimiento o de la técnica determinada. Se caracteriza por presentar un cuidadosa revisión bibliográfica.

Pautas de presentación de artículos

Los artículos deben cumplir con los siguientes parámetros:

- Extensión entre doce (12) y quince (15) páginas (4500 palabras aproximadamente, esto incluye los pies de página y referencias bibliográficas).

-
- Ser entregado en formato Word, tamaño carta, márgenes de 2,54 cm, espacio y medio de interlineado, letra Times New Román 12 puntos.
 - Las páginas deben ser numeradas desde la página 1 hasta el final, la ubicación de la numeración debe estar en el margen inferior derecho.
 - Tener el título y un resumen en español o en el idioma escrito y en inglés. Se recomienda que estas coincidan con las aprobadas por el Tesauro de la Unesco.
 - El resumen o abstract no debe superar las 150 palabras y debe describir la esencia del artículo.
 - Tener entre tres y seis palabras clave en el idioma en que esté escrito y en inglés.
 - Los datos académicos del autor y su filiación institucional deben ser anexados en otro archivo Word.
 - Todos los cuadros, gráficas, mapas, diagramas y fotografías serán denominados “Figuras”. Estas deben ser insertadas en marcos o cajas de línea delgada, numeradas, en orden ascendente, e identificadas y referenciadas en el texto mediante un pie de foto. Asimismo, deben ser enviadas en formato .jpg o .tiff de alta resolución, es decir, de 300 pixeles por pulgada (ppp).
 - Todas las figuras representadas por mapas deben estar: 1) enmarcadas en una caja de línea delgada, 2) estar geográficamente referenciadas con flechas que indiquen latitud y longitud o con pequeños insertos de mapas que indiquen la localización de la figura principal, y 3) tener una escala en km.
 - El autor debe emplear los pies de página estrictamente en los casos en los que desea complementar información del texto principal. Los pies de página no se deben emplear para referenciar bibliografía o para referenciar información breve que puede ser incluida en el texto principal. Se exceptúan aquellos casos en los que el autor desea hacer comentarios adicionales sobre un determinado texto o un conjunto de textos alusivo al tema tratado en el artículo.
 - Cumplimiento de las normas APA. Sexta Edición

Pautas de presentación de reseñas

Las reseñas deben cumplir con los siguientes parámetros:

- Extensión entre tres (3) y cinco (5) páginas.
- Ser entregada en formato Word, tamaño carta, márgenes de 2,54 cm, espacio y medio de interlineado, letra Times New Román 12 puntos.
- Los datos académicos del autor y su filiación institucional deben ser anexados en otro archivo Word.

Revisión y ajustes

Los artículos y reseñas que cumplan con las especificaciones y satisfagan los criterios establecidos por el comité editorial serán preseleccionados. Para lograr que el documento sea finalmente seleccionado y publicado, el autor tendrá que ajustarse al tiempo que los editores de la revista consideren prudente para que haga cambios pertinentes al escrito y luego lo retorne con sus respectivas modificaciones si así se llegare a necesitar.

#GSHtag

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

#GSHtag

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

ISSN: 2346 - 139X

cim

Corporación Unificada Nacional
de Educación Superior

VIGILADA MINEDUCACIÓN