

<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

EnfoqueUTE

REVISTA



www.ute.edu.ec

e-ISSN 1390-6542
p-ISSN 1390-9363

Volumen 8 - Número 5 - Diciembre 2017



Enfoque UTE es una revista de carácter técnico-científico, que publica artículos sobre trabajos de investigación científica y tecnológica, revisión del estado del arte en un área específica del conocimiento y trabajos de vinculación con la comunidad en los cuales se realizaron actividades de investigación científica.

La revista abarca las áreas temáticas de las ingenierías Ambiental, de Alimentos, Automotriz, Industrial, Informática, Mecatrónica y de Petróleos.

Enfoque UTE está dirigida a la comunidad de docentes, investigadores, y estudiantes universitarios, de pregrado y posgrado en general.

Enfoque UTE

Volumen 8 – Número 5

Diciembre – 2017

e-ISSN: 1390-6542 (electrónico) / p-ISSN: 1390-9363 (impreso)

Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias

Universidad Tecnológica Equinoccial



Enfoque UTE está distribuida bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

e-mail: enfoque@ute.edu.ec

Teléfono: +593-(2)-2990-800 ext.2232

Dirección: Av. Mariscal Sucre (Occidental) y Mariana de Jesús, s/n.

Quito-Ecuador

Comité Editorial

Director

Diego Ordóñez Camacho, *Universidad Tecnológica Equinoccial*, Ecuador

Comité Editorial

Martín Buffa Dunat, *Universidad Autónoma de Barcelona*, España

Analía Concellón, *Universidad Nacional de La Plata*, Argentina

Albert Ibarz, *Universidad de Lleida*, España

Sergio Luján Mora, *Universidad de Alicante*, España

Alberto Medina León, *Universidad de Matanzas*, Cuba

Carlos Monsalve Arteaga, *Escuela Politécnica del Litoral*, Ecuador

María Gabriela Pérez, *Escuela Politécnica Nacional*, Ecuador

Jordi Saldo Periago, *Universidad Autónoma de Barcelona*, España

Hugo Daniel Meyer, *University of Amsterdam*, Países Bajos

Neus Sanjuan, *Universidad Politécnica de Valencia*, España

Gabriela Vernaza Leoro, *Universidad San Francisco de Quito*, Ecuador

Fabián Villavicencio Abril, *Universidad de las Fuerzas Armadas*, Ecuador

Jorge Viteri Moya, *Universidad Central del Ecuador*, Ecuador

Índices / Catálogos / Bases de datos

Web of Science (Emerging Sources Citation Index) - Thomson Reuters

<http://ip-science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=Enfoque%20UTE>

DOAJ (Directory of Open Access Journals)

<https://doaj.org/toc/1390-6542>

OAJI (Open Academic Journals Index)

<http://oaji.net/journal-detail.html?number=1783>

GIF (Global Impact Factor)

<http://globalimpactfactor.com/enfoque-ute/>

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico)

https://www.redib.org/recursos/Record/oai_revista1886-enfoque-ute

Catálogo Latindex

<http://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=22038>

Universia

http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/enfoque-ute/id/58440243.html

Sherpa / Romeo

<http://www.sherpa.ac.uk/romeo/search.php?issn=1390-6542>

Stanford University Libraries

<https://searchworks.stanford.edu/view/10222186>

Latinoamericana

<https://revistaslatinoamericanas.org/participantes/> (# 178)

CiteFactor

<http://www.citefactor.org/journal/index/10856>

OALib

<http://mailer.oalib.net/journal/5934>

WorldCat

<http://www.worldcat.org/title/enfoque-ute-revista-cientifica/oclc/856580285>

Electronic Journals Library

https://opac.giga-hamburg.de/ezb/detail.phtml?bibid=GIGA&lang=en&jour_id=205084

Academic Journals Database

<http://journaldatabase.info/journal/issn1390-6542>

Scientific Indexing Services

<http://www.sindexs.org/JournalList.aspx?ID=1491>

ResearchBib – Academic Resource Index

<http://journalseeker.researchbib.com/view/issn/1390-6542>

DRJI (Directory of Research Journals Indexing)

<http://drji.org/JournalProfile.aspx?jid=1390-6542>

Journal TOCs

<http://www.journaltoocs.ac.uk/index.php?action=browse&subAction=pub&publisherID=2651&journalID=28767>

Google Scholar

<http://scholar.google.com/scholar?q=Enfoque+UTE>

Contenido

Uso de la tecnología de contabilidad distribuida por los bancos centrales: Una revisión <i>César del Río</i>	pp. 1 - 13
Un Algoritmo Genético Híbrido para la Optimización del Flow Shop Scheduling bajo Restricciones de Entornos Reales <i>Rodolfo Najarro, Ringo López, Ruth Elizabeth Racines, Amilkar Puris</i>	pp. 14 - 25
Evaluación de riesgos y modelación de soluciones técnicas para filtraciones en presas de tierra <i>Michael Álvarez González, Lamberto Álvarez Gil, Romel Vázquez Rodríguez</i>	pp. 26 - 36
Influencia del alga <i>Ascophyllum nodosum</i> como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje de la trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) <i>Diego López, Iván Naranjo, Olga Pérez, Vinicio Uday</i>	pp. 37 - 45
El efecto visual y la necesidad de la determinación de un método de blanqueamiento superficial de la nuez de macadamia <i>María José Jijón, Teresa Guerrero Villegas, Adriana Barahona, Pablo Aguilar Barriga</i>	pp. 46 - 52
Uso de bentonita sódica como pretratamiento a la microfiltración tangencial de vino de mora de Castilla <i>Rubus glaucus</i> Benth <i>Gabriel Mariño, Manuel Coronel, Carlos González, Elena Beltrán</i>	pp. 53 - 66
Evaluación física, química y microbiológica del ensilaje de yuca con caupí y cultivo microbiano <i>JE Miranda-Yuquilema, A Marín-Cárdenas, M González-Pérez, D Sánchez-Macías</i>	pp. 67 - 75
Estudio del cumplimiento de la norma INEN 2205 en los asientos de buses de transporte público urbano <i>Vinicio Reyes, Carlos Rosales, Alex Guzmán, Sebastián Reyes</i>	pp. 76 - 88
Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente <i>Luis Hidalgo Aguilera, Jimmy Imbaquingo, Daniel Mideros</i>	pp. 89 - 102
Árboles y arbustos nativos potenciales para reforestación en la Sierra Central de Ecuador <i>Jorge Caranqui Aldaz</i>	pp. 103 - 109

Use of distributed ledger technology by central banks: A review

(Uso de la tecnología de contabilidad distribuida por los bancos centrales: Una revisión)

César A. Del Río¹

Abstract:

This paper reviews what stage the central banks of the world's leading economies are at in their study and adoption of distributed ledger technology (DLT) to reengineer their various systems and functions. A brief description of DLT will be given, followed by an analysis of central banks' publications and pronouncements to determine what each central bank is doing on their journey to DLT adoption. It was found that of the central banks for which information was available, all of them have expressed interest in DLT and have evaluated it to some extent. Nevertheless, no central bank has an operational DLT-based system at this point. This is because some issues remain regarding the speed, cost of processing, security, transparency and privacy, legal settlement finality, scalability and network effects of the technology. As DLT matures, the expectation is that these issues will begin to be resolved.

Keywords: dlt; blockchain; distributed ledger; fintech; digital currency.

Resumen:

Este artículo examina en qué punto se encuentran los bancos centrales de las economías más avanzadas en su estudio y adopción de la tecnología de contabilidad distribuida (TCD) para transformar sus diferentes sistemas y funciones. Se dará una descripción breve de TCD, seguida por un análisis de las publicaciones y anuncios de los bancos centrales para determinar qué está haciendo cada banco central en su ruta a la adopción de TCD. Se encontró que de los bancos centrales para los cuales había información, todos expresaron interés en TCD y la han evaluado por lo menos hasta cierto punto. Sin embargo, ningún banco central tiene un sistema basado en TCD que esté operacional en este momento. Esto es debido a que hay todavía algunos problemas relacionados con la velocidad, el costo del procesamiento, la seguridad, la transparencia y privacidad, la finalidad de la resolución legal, el escalado, y los efectos de red de la tecnología. A medida que TCD madure, la expectativa es que estos problemas se resolverán.

Palabras clave: contabilidad distribuida; cadena de bloques; fintech; dinero digital.

1. Introduction

Distributed Ledger Technology (DLT)—or blockchain, the most common DLT implementation underlying cryptocurrencies such as Bitcoin—has been said to be the most disruptive invention since the internet itself (Hiesboeck, 2016). Since its inception in 2009 (Nakamoto, 2009), interest in DLT has grown to the point that it is now being applied in fields as diverse as data management, diamond identification and transaction verification, energy production and consumption, the internet of things, media and content distribution, and, of course, the financial industry (Mesrobian, 2016). Over three-quarters of all financial institutions worldwide expect to adopt blockchain as part of a production system or process by 2020 (PwC, 2017).

Some businesses are already making use of the technology. Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA), a multinational Spanish banking group, completed the first real-life

¹ Universidad de Otavalo, Otavalo – Ecuador (cadelrio@uotavalo.edu.ec).

implementation of an international money transfer using Ripple's DLT at the end of 2016. The transaction, running on BBVA infrastructure using real money, successfully completed transfers between Spain and Mexico in a matter of seconds (BBVA, 2017).

Almost every major bank around the globe is testing DLT. According to Business Insider UK (Meola, 2017), there are three major factors behind the push for DLT in the finance industry:

- **Cost savings and efficiency.** Banks are dealing with rising costs for maintaining or replacing their aging infrastructure and ensuring compliance with heavy regulatory burdens. Furthermore, banks must deal with increasing economic instability. To that end, DLT-based solutions could generate cost savings of up to \$20 billion per year, according to Banco Santander (Belinky, Rennick, & Veitch, 2015).
- **Competing with startups.** Financial technology companies (FinTechs) are using DLT to offer services (such as remittances and international payments) at reduced costs, with greater speed, and with more user-friendly interfaces than major banks. As a result, banks have started to construct their own DLT-based solutions to better compete with these up-and-comers.
- **New business models.** Banks can use DLT-based systems to circumvent central bodies or legacy infrastructure. Banks could potentially develop these systems to create brand new business models that disrupt the current financial ecosystem.

Central banks, though also interested in the technology, have been more cautious in their embrace of DLT. Some central banks, such as the European Central Bank and the Bank of Japan, have declared DLT not mature enough at this stage of development to power the world's biggest payment systems (Koranyi & Evans, 2017). Likewise, the Bank of Canada stated in a recent report that for critical financial market infrastructures, such as wholesale payment systems, current versions of DLT may not provide an overall net benefit relative to current centralized systems (Chapman, Garratt, Hendry, McCormack, & McMahon, 2017).

In a somewhat more upbeat tone, the United States' Federal Reserve System has stated that it will continue to work to understand the implications of new payment technologies and models, including DLT and digital currencies, that can facilitate a safe and efficient U.S. payment system (Federal Reserve System, 2017). Other central banks such as the Royal Bank of Scotland (Creer et al., 2016) and the Monetary Authority of Singapore (MAS, 2017) have built successful DLT-based proof-of-concept prototypes and are now ready to take the next step in their implementation of DLT. All told, two-thirds of central banks worldwide are directly experimenting with DLT protocols (Hileman & Rauchs, 2017).

This paper will do the following:

- Describe the research methodology used.
- Provide an overview of DLT, with emphasis in those aspects and capabilities of the technology that are relevant to the financial industry in general, and to central banks in particular.
- Survey what central banks are currently doing to harness DLT's potential by reviewing (a) official pronouncements and reports from the central banks themselves, and (b) the academic literature on the matter.
- Describe the current limitations of the technology.

2. Methodology

Research question

The research question for this article was determined using the PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcomes) criteria adapted by Kitchenham & Charters (2007)

from the medical field for use in the framing of research questions in software engineering. The application of the PICO criteria for this paper is shown in *Table 1*.

Table 1. PICO criteria for research question

Criterion	Question element
Population	Central banks for countries in the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) and the Group-of-Twenty (G20) countries
Intervention	The use of Distributed Ledger Technologies
Comparison	Benefits derived from the use of DLT vs. traditional processes and technologies
Outcomes	How successful have been the DLT initiatives pursued by central banks

Combining the ideas arising from each one of the four criteria, then, the research question pursued by this paper is: what are central banks doing toward their adoption of DLT and what benefits are they deriving from their initiatives?

Literature search strategy

The core list of peer-reviewed articles and conference proceedings to be examined by this study was obtained by searching the Web of Science, Scopus, Google Scholar and other academic and research databases for all English-language documents dated 2016 or later. The search string that was used was: “central bank” blockchain “distributed ledger technology.” This yielded one peer-reviewed academic article that specifically dealt with the use of DLT by central banks, and a number of DLT-related reports and web pages by and about the central banks within the scope of this paper. They are all referenced in the “4. Literature review” section.

The search emphasized reports from the central banks themselves and announcements and speeches by their officials. This is because official statements from the central banks were required to ascertain their plans and actions in connection with DLT. The reason documents older than 2016 were not considered is that bitcoin and DLT were only released as open software in 2009 (Bitcoin.org, 2017), and interest by central banks in the technology is even more recent. DLT and central banks’ attitudes have evolved very rapidly in the last couple of years, and the assessment was made that any papers or reports from 2015 or before describing DLT and central banks would be too out of date to be useful.

3. A brief introduction to DLT

A distributed ledger is a consensus of replicated, shared, and synchronized digital data geographically spread across multiple entities, sites, countries, or institutions. A blockchain is a type of distributed ledger comprised of unchangeable, digitally recorded data in packages called blocks. These digitally recorded blocks of data are stored in a linear chain. Each block in the chain contains data (e.g., a Bitcoin transaction), which are cryptographically hashed. The blocks of hashed data draw upon the previous block in the chain, ensuring that the data in the overall blockchain have not been tampered with and remain unchanged (Blockchain Technologies, 2016).

This paper considers DLT to be some combination of components, including peer-to-peer networking, distributed data storage, and cryptography that, among other things, can potentially change the way in which the storage, recordkeeping, and transfer of a digital asset is done. The composition of these combinations is dictated by the particular friction or inefficiency a particular implementation of DLT is designed to solve (Mills et al., 2016).

Some of the key components and features in DLT are the following (Mills et al., 2016):

- **Peer-to-peer node connections.** The nodes in a DLT arrangement, which are the devices running the DLT software that individually maintain the shared database records, are connected to each other in order to share and validate information. This structure enables any entity, such as end-users, financial institutions, or financial market intermediaries (FMIs), with a node to share database management responsibilities directly with each other on a peer-to-peer basis.
- **Distributed histories and ownership.** In a DLT arrangement, information regarding records of ownership and transaction histories can be distributed across the nodes in the network. This distribution is the foundation of the technology, with the ledger of transaction histories and ownership positions shared as one common ledger that participants agree is correct.
- **Use of cryptography.** DLT arrangements use cryptography for several purposes, such as identity verification and data encryption. For example, during asset transfers, a form of cryptography known as public key cryptography usually forms the foundation of the transaction validation process. To transfer an asset, a participant may create a digital signature with its non-shared cryptographic credential called a private key. To confirm that the asset in question belongs to the participant initiating the transaction, other participants of the DLT arrangement with the required permissions to act as validators of transactions can verify authenticity of the ledger entry by decrypting it with a mathematical algorithm and the asset owner's publicly available public key.
- **Ownership of an asset.** Ownership information with respect to an asset can be stored on a ledger within the DLT arrangement, which maintains the ownership positions of all participants in the system.
- **The DLT protocol defines the asset transfer process.** A DLT protocol is a syntax and set of procedures that define how members of the DLT arrangement interact. For a payment transfer, for example, a DLT protocol may lay out validation checks (for example, verify ownership) and conditionality checks (for example, access to sufficient funds or credit). For a securities, commodities, or derivatives transfer, a DLT protocol could provide the conditions around confirmation, clearing, and settlement.
- **The settlement process.** Settlement in a DLT arrangement involves the updating of the common ledger with the new ownership positions of the relevant counterparties. For a distributed ledger, proposed transactions and subsequent positions are broadcast to nodes that maintain a copy of the ledger and ultimately become accepted as the new version of the ledger. The process of having nodes accept a new version of the ledger is commonly referred to as consensus. Two ways to achieve consensus when validating a new transaction are:
 - *Proof of work.* Here individuals with suitable computing processing power called miners compete to win the right to validate blocks of transactions by solving a difficult mathematical puzzle. The first miner who completes a new puzzle broadcasts the block and solution to all the other miners and in return "mines" new bitcoins created with that block. Although the problem miners work on is difficult to solve, it is easy to verify. Once the other nodes have seen and verified a new solution, the new block is added to the chain, the transactions in the block are considered settled and miners begin mining a new set of transactions. The way nodes come to agreement about the new block is the consensus mechanism, and the solved puzzle is the proof of work (PoW). This is the approach used by Bitcoin (Nakamoto, 2009).
 - *Notary node.* An alternative way to reach agreement is to have a 'notary' node that is trusted by everyone and replaces the PoW function. This is the

approach used by the Corda environment, a distributed ledger platform developed by the R3 software company (Hearn, 2016).

- **Application programming interfaces.** Application programming interfaces (APIs) are a set of routines, protocols, and tools for building software applications. An API specifies how software components should interact, and within a DLT arrangement APIs can enable the addition of new features or enhancements not native to the distributed ledger protocol itself. For example, they could communicate directly with the underlying protocol of a distributed ledger to effect transfers and gather information. APIs can also provide user-friendly interfaces that make using the technology easier for a broader set of potential users.
- **Participants may have different roles or functions.** Regardless of whether a DLT arrangement is open or closed, participants may be differentiated by the roles they are permitted to play or functions they are permitted to perform. DLT arrangements in which the participants are allowed to perform all activities are often called open or permissionless. Those that restrict participants' activities are often referred to as closed or permissioned. Cryptocurrency DLT arrangements such as Bitcoin are examples of permissionless systems. The financial industry, however, is focused mainly on developing permissioned systems.
- **Smart contracts.** Smart contracts are coded programs that are used to automate pre-specified transactional events based on agreed upon contractual terms. Like with traditional contracts, a smart contract depends on participants' consent to its terms. These agreed-upon smart contracts can be used in conjunction with a distributed ledger to self-execute based on information received in the distributed ledger or from other sources. For example, several companies developing DLT products are exploring the use of smart contracts to model corporate debt issuances. In these simulations, a debt-issuing company specifies the parameters of the contract, such as its par value, tenor, and coupon payment structure. Once assigned to an owner, the smart contract would automatically make the required coupon payments until the bond reaches maturity.

4. Literature review

Analysis of central banks' DLT-related plans and actions

The subset of countries selected for this analysis are those belonging to the OECD and to the G20 organizations. As they generally represent the world's largest economies, these would be the countries more likely to lead in the adoption of new technologies such as DLT. European Union countries not in the OECD were excluded. The Bank for International Settlements (BIS)—the central banks' central bank—and the European Central Bank are also included. *Table 2* below summarizes the results of this analysis.

This paper will only include uses of DLT by functions performed by the central banks themselves. Activities such as creating a regulatory environment favorable to DLT, and encouraging private financial institutions to adopt DLT will not be considered, as they do not represent DLT endeavors for the direct use and benefit of central banks.

The meaning of the column headings in *Table 2* is as follows:

- **Functions to use DLT.** These are the central bank functions being considered by the central banks as candidates for DLT enablement. They are: Payment, clearing and settlement (PCS), risk management (RM), identity management (IM), issuance of digital fiat currency (DFC), and trade reporting (TR).
- **DLT adoption status.** This specifies how far along a central bank is in the DLT evaluation or implementation process. The values are: Not interested, open, studying it, experimenting, pilot, operational.

- **Communications.** This lists the vehicles through which the central bank has communicated its intentions or actions. The possible values are: Reports, speeches, announcements, interviews.
- **Leaning.** It indicates whether the central bank currently has a positive, negative or neutral attitude regarding its adoption of DLT for functions *performed by the central bank*.

Table 2. Central banks and DLT

#	Country	Region	Central bank	Functions to use DLT	DLT adoption status	Communications	Leaning
1	Argentina	South America	Banco Central de la República Argentina	PCS	Studying it	Interview (Marty, 2016)	Positive
2	Australia	Oceania	Reserve Bank of Australia	PCS	Studying it	Report (Reserve Bank of Australia, 2017)	Positive
3	Austria	Europe	Oesterreichische Nationalbank	No info	Open to it	Interview (Das, 2017)	Neutral
4	Belgium	Europe	National Bank of Belgium	No info	Studying it	Report (National Bank of Belgium, 2017)	Positive
5	Brazil	South America	Banco Central do Brasil	PCS IM	Experimenting	Report (Burgos, Filho, Soares, & de Almeida, 2017)	Positive
6	Canada	North America	Bank of Canada	PCS	Experimenting	Announcement (Wilkins & Gaetz, 2017), announcement (TMX, 2017)	Positive for clearing & settlement, negative for payments
7	Chile	South America	Banco Central de Chile	PCS RM	Studying it	Report (Furche, Madeira, Marcel, & Medel, 2017)	Positive
8	China	Asia	People's Bank of China	DFC	Experimenting	Announcements (Casey, 2017)	Positive
9	Czech Republic	Europe	Czech National Bank	No info	Open to it	Interview (Czech National Bank, 2017)	Neutral
10	Denmark	Europe	Danmarks Nationalbank	DFC PCS	Studying it	Speech (Levring, 2016), report (Danmarks Nationalbank, 2017)	Positive for PCS, negative for DFC
11	Estonia	Europe	Bank of Estonia	DFC	Studying it	Announcement (Daniell, 2017)	Positive
12	Finland	Europe	Bank of Finland	PCS	Studying it	Announcement (Bank of Finland, 2016)	Positive
13	France	Europe	Banque de France	PCS	Experimenting	Speech (François Villeroy de Galhau, 2017)	Positive
14	Germany	Europe	Deutsche Bundesbank	PCS DFC	Experimenting	Report (Deutsche Bundesbank, 2017)	Positive for PCS, negative for DFC
15	Greece	Europe	Bank of Greece	No info	No info	No info	No info
16	Hungary	Europe	Hungarian National Bank	No info	No info	No info	No info
17	Iceland	Europe	Central Bank of Iceland	DFC	Open to it	Interview (Central bank of Iceland, 2017)	Positive
18	India	Asia	Reserve Bank of India	DFC	Studying it	Report (IDRBT, 2017)	Positive
19	Indonesia	Asia	Bank of Indonesia	No info	No info	No info	No info
20	Ireland	Europe	Central Bank and Financial Services Authority of Ireland	TR	Experimenting	Speech (Lane, 2017)	Neutral

21	Israel	Middle East (Asia)	Bank of Israel	No info	No info	No info	No info
22	Italy	Europe	Banca d'Italia	No info	No info	No info	No info
23	Japan	Asia	Bank of Japan	PCS	Experimenting	Announcement (ECB & BOJ, 2017)	Negative
24	South Korea	Asia	Bank of Korea	No info	Experimenting	Announcement (EconoTimes, 2017)	Positive
25	Latvia	Europe	Bank of Latvia	No info	No info	No info	No info
26	Luxembourg	Europe	Banque Centrale du Luxembourg	No info	No info	No info	No info
27	Mexico	North America	Banco de México	No info	No info	No info	No info
28	Netherlands	Europe	De Nederlandsche Bank	PCS	Studying it	Interview (del Castillo, 2016a)	Positive
29	New Zealand	Oceania	Reserve Bank of New Zealand	No info	Open to it	Speech (Fiennes, 2017)	Neutral
30	Norway	Europe	Norges Bank	DFC	Studying it	Speech (Nicolaisen, 2017)	Positive
31	Poland	Europe	National Bank of Poland	No info	Open to it	Announcement (Zhao, 2017)	Negative
32	Portugal	Europe	Banco de Portugal	No info	No info	No info	No info
33	Russia	Asia	Bank of Russia	PCS	Experimenting	Report (Khrennikov & Rudnitsky, 2017)	Positive
34	Saudi Arabia	Middle East (Asia)	Saudi Arabian Monetary Authority	No info	No info	No info	No info
35	Slovakia	Europe	National Bank of Slovakia	No info	No info	No info	No info
36	Slovenia	Europe	Bank of Slovenia	No info	Studying it	Web page	Positive
37	South Africa	Africa	South African Reserve Bank	DFC	Open to it	Announcement (Higgins, 2017), report (del Castillo, 2017)	Positive
38	South Korea	Asia	Bank of Korea	DFC	Experimenting	Announcement (EconoTimes, 2017)	Positive
39	Spain	Europe	Banco de España	PCS	Open to it	Report (González-Páramo, 2017)	Negative
40	Sweden	Europe	Sveriges Riksbank	DFC	Studying it	Report (Sveriges Riksbank, 2017)	Positive
41	Switzerland	Europe	Swiss National Bank	PCS DFC	Open to it	Announcement (del Castillo, 2016b)	Neutral
42	Turkey	Europe	Central Bank of the Republic of Turkey	No info	No info	No info	No info
43	United Kingdom	Europe	Bank of England	PCS DFC	Experimenting	Speech (Carney, 2017a), speech (Carney, 2017b), report (Cleland, 2017)	Neutral
44	United States	North America	Federal Reserve System	PCS DFC	Experimenting	Speech (Powell, 2017), report (Federal Reserve System, 2017)	Neutral
45	European Union	Europe	European Central Bank	PCS	Experimenting	Announcement (ECB & BOJ, 2017)	Negative
46		World	Bank for International Settlements	PCS	Studying it	Report (BIS, 2017), report (Bech & Garratt, 2017)	Neutral

Table 3 below summarizes where the central banks reviewed in this study are in their adoption of DLT:

Table 3. Central bank and DLT adoption summary

Adoption status	Number	Percentage	Percentage excluding central banks with no info
No information	12	26 %	-
Not interested	0	0 %	0 %
Open to it	8	18 %	24 %
Studying it	13	28 %	38 %
Experimenting	13	28 %	38 %
Pilot	0	0 %	0 %
Operational	0	0 %	0 %
TOTAL	46	100 %	100 %

Table 4 below summarizes how the central banks reviewed in this study are leaning in their attitude toward DLT. Central banks that lean positive for some DLT applications and negative for others have been counted as neutral:

Table 4. Central bank and DLT attitude summary

Leaning	Number	Percentage	Percentage excluding central banks with no info
No information	12	26 %	-
Negative	4	9 %	12 %
Neutral	11	24 %	32 %
Positive	19	41 %	56 %
TOTAL	46	100 %	100 %

Another result that leaps out is that the central bank functions that have elicited the greatest interest as potential beneficiaries of DLT are PCS and DFC (by all but one of the central banks that have identified an area of interest). A sign of the caution central banks are proceeding with in their adoption of DLT is that none of the central banks have implemented DLT as part their operations, either as a pilot project or a full operational deployment.

The single peer-reviewed academic article (Bott & Milkau, 2017) identified in the literature search did an in-depth study of the possibilities, challenges and risks central banks would face as they consider implementing PCS and DFC using DLT due to the technology's current limitations. The following section describes these limitations.

5. Current limitations of DLT

As central Banks continue to study and experiment with DLT, the technology's limitations have come to light. These will need to be addressed before the central banks can proceed to implement their operational systems using DLT. The limitations fall into the following broad areas:

- **Speed.** Although the speed of end-to-end processing may be adequate, the speed of transaction settlement within the infrastructure itself may be slower than existing centralized systems. For example, DLT arrangements may take longer to achieve settlement when compared with real-time gross settlement systems because the process for validating a transaction and reaching consensus in DLT is potentially more complex than with a central entity (BIS, 2017).
- **Cost of processing.** DLT arrangements can lead to changes in the way costs are allocated among participants. For example, a distributed arrangement in which

participants contribute to maintaining and updating a shared ledger allows for the sharing of maintenance across participants. In this sharing of responsibilities, participants operating certain nodes in an arrangement could see increased direct costs for contributing to the operation of the arrangement (BIS, 2017).

- **Security.** Cryptographic tools, such as public key cryptography, play a central role in ensuring the security of existing systems and are of critical importance in DLT arrangements. While current cryptographic tools are considered effective and are widely used today, future technological advancements could render existing cryptographic tools less secure and effective. This issue is of particular concern for an arrangement with a weak governance structure, which may not be able to react quickly enough to emerging security issues and threats. Integration of DLT in existing infrastructures or transition from current systems to DLT-based ones could also generate security breaches that are not inherent in the new technology but could have a strong operational impact (BIS, 2017).
- **Transparency and privacy.** A fundamental requirement for a wholesale payment system is the need for participants to keep their transactions private from parties not involved in the transaction. Proof-of-work systems are ill-suited for these types of large-value systems because they operate under the assumption that all transactions in the system are, at a certain level, publicly observable. In contrast, notary-based DLT systems permit increased privacy because a trusted third party helps validate all transactions. But the lack of transparency in the notary-based system implies that no node in the system, with the possible exception of the notary, has all the information. Therefore, if the information at one or more nodes is corrupted, it may not be possible to reconstruct the entire network since even the notary does not have a full copy of the ledger. This creates the need for backups of individual nodes and a loss of the economies of scale associated with centralized systems. Further, it raises the question of whether the proposed operational-resilience benefits of DLT are possible under the constraint that transactions remain private (Chapman et al., 2017).
- **Legal settlement finality.** Settlement finality is the legally defined moment at which the transfer of an asset or financial instrument, or the discharge of an obligation, is irrevocable and unconditional and not susceptible to being unwound following the bankruptcy or insolvency of a participant. In traditional systems, settlement finality is a clear and well-defined point in time, backed by a strong legal basis. For DLT arrangements, settlement finality may not be as clear. In arrangements that rely on a consensus algorithm to effect settlement finality, there may not necessarily be a single point of settlement finality. Further, the applicable legal framework may not expressly support finality in such cases (Bech & Garratt, 2017).
- **Scalability.** PCS systems may process hundreds of millions of transactions daily. Consensus algorithms and cryptographic verification introduce latency and limit the number of transfers that some DLT arrangements can process concurrently. Additionally, ledgers that add transactional histories on top of one another, such as blockchains, may challenge storage capacity over time (Mills et al., 2016).
- **Network effects.** If broad adoption of DLT is to take place, the industry will need a critical mass of participants for any application of the technology to be successful. Network effects are derived from the fact that each additional user of a network increases the benefit of the network for existing users. This effect can often lead to a problem for early adoption because the net benefits for early adopters may be negative without sufficient participation, leading to a possible lack of adoption (Mills et al., 2016).

6. Conclusions

Echoing the tremendous interest in DLT by the financial industry in general, central banks are starting to research the possibility of adopting some form of DLT, as they revamp their PCS systems and consider the implications of issuing some form of digital currency.

DLT offers a fundamentally different way to conduct and track financial transactions. It is an innovation that challenges the centralized nature of the existing financial systems in central banks. DLT is still in its infancy, however, and central banks are taking a variety of approaches toward its application. Given the technology's early stage, a number of challenges to development and adoption remain, including issues around speed, cost of processing, security, transparency and privacy, legal settlement finality, scalability and network effects of the technology.

An area of further research is the full range of applications and use cases by central banks beyond payment clearance and settlement, and the introduction of a complementary or parallel centralized digital currency. Another area deserving further research is the structural changes within the functioning of central banks and the financial industry in general that DLT's decentralized nature may drive.

References

- Bank of Finland. (2016). Finland's central bank explores the blockchain » Finextra. Retrieved November 1, 2017, from https://www.finextra.com/pressarticle/67297/finlands-central-bank-explores-the-blockchain?utm_medium=rss&utm_source=finextrafeed
- BBVA. (2017, April 21). BBVA completes first real-time international money transfer between Europe and Mexico with Ripple. Retrieved October 17, 2017, from <https://www.bbva.com/en/bbva-completes-first-real-time-international-money-transfer-europe-mexico-ripple/>
- Bech, M., & Garratt, R. (2017). Central bank cryptocurrencies. *BIS Quarterly Review*, September, 55–70.
- Belinky, M., Rennick, E., & Veitch, A. (2015). *The fintech 2.0 paper: Rebooting financial services*. Retrieved from <http://santanderinnovations.com/wp-content/uploads/2015/06/The-Fintech-2-0-Paper.pdf>
- BIS. (2017). *Distributed ledger technology in payment, clearing and settlement*. Retrieved from <https://www.bis.org/cpmi/publ/d157.pdf>
- Bitcoin.org. (2017). Bitcoin FAQ. Retrieved November 28, 2017, from <https://bitcoin.org/en/faq#who-created-bitcoin>
- Blockchain Technologies. (2016). Blockchain technology explained. Retrieved October 18, 2017, from <http://www.blockchaintechnologies.com/blockchain-definition>
- Bott, J., & Milkau, U. (2017). Central bank money and blockchain: A payments perspective. *Journal of Payments Strategy & Systems*, 11(2), 145–178.
- Burgos, A. de V., Filho, J. D. de O., Soares, M. V. C., & de Almeida, R. S. (2017). *Distributed ledger technical research in Central Bank of Brazil*. Retrieved from http://www.bcb.gov.br/htms/public/microcredito/Distributed_ledger_technical_research_in_Central_Bank_of_Brazil.pdf
- Carney, M. (2017a). *Mark Carney: Building the infrastructure to realise FinTech's promise*. Retrieved from www.bankofengland.co.uk/speeches
- Carney, M. (2017b). *Mark Carney: The promise of FinTech – Something new under the sun?* Wiesbaden. Retrieved from <http://www.bankofengland.co.uk/publications/Documents/speeches/2017/speech956.pdf>
- Casey, M. J. (2017). It's political: Why China hates bitcoin and loves the blockchain » CoinDesk. Retrieved November 1, 2017, from <https://www.coindesk.com/political-china-hates-bitcoin-loves-blockchain/>

- Central bank of Iceland. (2017). Seminar on possible new forms of central bank money. Retrieved November 1, 2017, from <https://www.cb.is/publications/events/event/2017/02/09/Seminar-on-possible-new-forms-of-central-bank-money/>
- Chapman, J., Garratt, R., Hendry, S., McCormack, A., & McMahon, W. (2017). *Project Jasper: Are distributed wholesale payment systems feasible yet?* Retrieved from <http://www.bankofcanada.ca/wp-content/uploads/2017/05/fsr-june-2017-chapman.pdf>
- Cleland, V. (2017). *Digital future for sterling: Assessing the implications*. Retrieved from <http://www.bankofengland.co.uk/research/Documents/onebank/vclelandglobalpublicinvestor2017.pdf>
- Creer, D., Crook, R., Hornsby, M., González Avalis, N., Simpson, M., Weisfeld, N., ... Zieliński, I. (2016). *Proving Ethereum for the clearing use case*. Retrieved from <https://emerald-platform.gitlab.io/static/emeraldTechnicalPaper.pdf>
- Czech National Bank. (2017). *Position of the Czech National Bank to the selected questions of the Commission consultation*. Retrieved from http://www.cnb.cz/miranda2/export/sites/www.cnb.cz/en/supervision_financial_market/legislation/cnb_opinions/download/2017_fintech_consultation_document_cnb_opinion.pdf
- Daniell, J. (2017). Estonia explores national digital currency with token offering proposal » ETHNews. Retrieved November 1, 2017, from <https://www.ethnews.com/estonia-explores-national-digital-currency-with-token-offering-proposal>
- Danmarks Nationalbank. (2017). Danes are front-runners in electronic payments. *Analysis*, (6), 8. Retrieved from http://www.nationalbanken.dk/en/publications/Documents/2017/03/Analysis_Danes_are_Front-runners_in_Electronic_Payments.pdf#search=%22distributed%20ledger%22
- Das, S. (2017). Bitcoin isn't a currency due to its instability, claims Austrian Central Bank Governor » Crypto Coins News. Retrieved October 31, 2017, from <https://www.cryptocoinsnews.com/bitcoin-isnt-currency-due-instability-claims-austrian-central-bank-governor/>
- del Castillo, M. (2016a). Dutch Central Bank prepares its boldest blockchain experiment yet » CoinDesk. Retrieved November 2, 2017, from <https://www.coindesk.com/dutch-central-bank-preparing-boldest-blockchain-experiment-yet/>
- del Castillo, M. (2016b). Swiss central banker Thomas Jordan: Blockchain turning finance "on its head" » CoinDesk. Retrieved November 4, 2017, from <https://www.coindesk.com/sibos-swiss-central-bank-blockchain-regulation/>
- del Castillo, M. (2017). South Africa's financial power players are going all-in on blockchain » CoinDesk. Retrieved November 4, 2017, from <https://www.coindesk.com/south-africas-biggest-financial-power-players-just-went-blockchain/>
- Deutsche Bundesbank. (2017). *Distributed ledger technologies in payments and securities settlement: Potential and risks. Monthly report*. Retrieved from https://www.bundesbank.de/Redaktion/EN/Downloads/Publications/Monthly_Report_Articles/2017/2017_09_distributed.pdf?__blob=publicationFile
- ECB, & BOJ. (2017). *BOJ/ECB joint research project on distributed ledger technology*. Retrieved from https://www.ecb.europa.eu/paym/intro/news/shared/20170906_stella_report_leaflet.pdf
- EconoTimes. (2017). Bank of Korea, R3 consortium to carry out blockchain project » EconoTimes. Retrieved November 2, 2017, from <http://www.econotimes.com/Exclusive-Bank-of-Korea-R3-consortium-to-carry-out-blockchain-project-549053>
- Federal Reserve System. (2017). *Federal Reserve next steps in the payments improvement journey*. Retrieved from <https://www.federalreserve.gov/newsevents/pressreleases/files/other20170906a1.pdf>

- Fiennes, T. (2017). *Toby Fiennes: The Reserve Bank, cyber security and the regulatory framework*. Auckland. Retrieved from <https://www.rbnz.govt.nz/-/media/ReserveBank/Files/Publications/Speeches/2017/The-Reserve-Bank-cyber-security-regulatory-framework.pdf>
- François Villeroy de Galhau. (2017). *François Villeroy de Galhau: France - a European powerhouse for financial service innovation*. Paris. Retrieved from <https://www.bis.org/review/r170203e.pdf>
- Furche, P., Madeira, C., Marcel, M., & Medel, C. A. (2017). *FinTech and the future of central banking*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Madeira/publication/319206045_FinTech_and_the_Future_of_Central_Banking/links/599b227ea6fdcc500349b82f/FinTech-and-the-Future-of-Central-Banking.pdf
- González-Páramo, J. M. (2017). Financial innovation in the digital age: Challenges for regulation and supervision. *Revista de Estabilidad Financiera*, 32, 30.
- Hearn, M. (2016). Corda: A distributed ledger. R3. Retrieved from https://docs.corda.net/_static/corda-technical-whitepaper.pdf
- Hiesboeck, M. (2016). Blockchain is the most disruptive invention since the Internet itself - not just in finance » Digital Doughnut. Retrieved October 16, 2017, from <https://www.digitaldoughnut.com/articles/2016/april/blockchain-is-the-most-disruptive-invention-since>
- Higgins, S. (2017). South Africa's Central Bank: It's "too risky" to launch a cryptocurrency » CoinDesk. Retrieved November 4, 2017, from <https://www.coindesk.com/south-africas-central-bank-risky-launch-cryptocurrency/>
- Hileman, G., & Rauchs, M. (2017). *Global blockchain benchmarking study*. Retrieved from https://www.jbs.cam.ac.uk/fileadmin/user_upload/research/centres/alternative-finance/downloads/2017-09-27-ccaf-globalbchain.pdf
- IDRBT. (2017). *Applications of blockchain technology to banking and financial sector in India*. Hyderabad. Retrieved from <http://www.idrbt.ac.in/assets/publications/Best Practices/BCT.pdf>
- Khrennikov, I., & Rudnitsky, J. (2017). Russia's banks prepare to hit the "gas" on digital currencies » Bloomberg. Retrieved November 3, 2017, from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-08-01/russia-s-banks-prepare-to-hit-the-gas-on-digital-currency-use>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering EBSE Technical Report EBSE-2007-01*. Keele, Staffs, and Durham, UK.
- Koranyi, B., & Evans, C. (2017). Blockchain immature for big central banks, ECB and BOJ say » Reuters. Retrieved October 17, 2017, from <https://www.reuters.com/article/us-blockchain-ecb/blockchain-immature-for-big-central-banks-ecb-and-boj-say-idUSKCN1BH2DH>
- Lane, P. R. (2017). *Philip R Lane: Drivers of change in the banking sector*. Dublin. Retrieved from <https://www.bis.org/review/r170727a.pdf>
- Levring, P. (2016). Blockchain lures central banks as Danes consider minting e-krone » Bloomberg. Retrieved November 1, 2017, from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-12-11/blockchain-lures-central-banks-as-danes-consider-minting-e-krone>
- Marty, B. (2016). Argentina's Central Bank is warming up to blockchain » CoinDesk. Retrieved November 1, 2017, from <https://www.coindesk.com/argentinas-central-bank-warming-blockchain/>
- MAS. (2017). *Project Ubin: SGD on distributed ledger*. Retrieved from <http://www.mas.gov.sg/~media/ProjectUbin/Project Ubin SGD on Distributed Ledger.pdf>
- Meola, A. (2017). How banks and financial institutions are implementing blockchain technology » Business Insider UK. Retrieved October 17, 2017, from

- <http://uk.businessinsider.com/blockchain-technology-banking-finance-2017-9>
- Mesropyan, E. (2016). 21 areas of blockchain application beyond financial services » Let's Talk Payments. Retrieved October 16, 2017, from <https://letstalkpayments.com/21-areas-of-blockchain-application-beyond-financial-services/>
- Mills, D., Wang, K., Malone, B., Ravi, A., Marquardt, J., Chen, C., ... Kar-Genian, V. (2016). Distributed ledger technology in payments, clearing, and settlement. *Butterworths Journal of International Banking and Financial Law*, 31 (11), 36. <https://doi.org/10.17016/FEDS.2016.095>
- Nakamoto, S. (2009). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. bitcoin.org. Retrieved from <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- National Bank of Belgium. (2017). *National Bank of Belgium Report 2016 - Prudential regulation and supervision*. Retrieved from https://www.nbb.be/doc/ts/publications/nbbreport/2016/en/t1/report2016_tiii.pdf
- Nicolaisen, J. (2017). *Jon Nicolaisen: What should the future form of our money be? Origins of the central bank*. Oslo. Retrieved from <https://www.bis.org/review/r170426d.pdf>
- Powell, J. H. (2017). *Jerome H. Powell: Innovation, technology, and the payments system*. New Haven. Retrieved from <https://www.federalreserve.gov/newsevents/speech/files/powell20170303b.pdf>
- PwC. (2017). *Global FinTech Report 2017*. Retrieved from <https://www.pwc.com/jg/en/publications/pwc-global-fintech-report-17.3.17-final.pdf>
- Reserve Bank of Australia. (2017). Developments in the financial system architecture. *Financial Stability Review*, (April), 45–50.
- Sveriges Riksbank. (2017). *The Riksbank's e-krona project*. Retrieved from http://www.riksbank.se/Documents/Rapporter/E-krona/2017/rapport_ekrona_170920_eng.pdf
- TMX. (2017). Payments Canada, Bank of Canada and TMX Group announce integrated securities and payment platform as next phase of Project Jasper. Retrieved October 31, 2017, from <https://www.tmx.com/newsroom/press-releases?id=615&year=2017>
- Wilkins, C., & Gaetz, G. (2017). Could DLT underpin an entire wholesale payment system? » *The Globe and Mail*. Retrieved October 31, 2017, from <https://beta.theglobeandmail.com/report-on-business/rob-commentary/could-dlt-underpin-an-entire-wholesale-payment-system/article35106771/?ref=http://www.theglobeandmail.com&>
- Zhao, W. (2017). Polish regulators warn banks and consumers on cryptocurrency risks » *CoinDesk*. Retrieved November 3, 2017, from <https://www.coindesk.com/polish-regulators-warn-banks-consumers-cryptocurrency-risks/>

Un Algoritmo Genético Híbrido para la Optimización del Flow Shop Scheduling bajo Restricciones de Entornos Reales

(An Hybrid Genetic Algorithm to Optimization of Flow Shop Scheduling Problems under Real Environments Constraints)

Rodolfo Najarro¹, Ringo López¹, Ruth Elizabeth Racines², Amilkar Puris^{2,3}

Resumen:

Este trabajo tiene como objetivo analizar el efecto de la inclusión de varias restricciones que influyen negativamente en la programación de la producción en un ambiente de manufactura real. Para la solución del problema de secuenciación tratado en esta investigación, conocido como *Flow Shop Scheduling*, se introduce un eficiente Algoritmo Genético combinado con una Búsqueda Local de Vecindad Variable para problemas de n tareas y m máquinas minimizando el tiempo de completamiento total de las tareas o *makespan*. Las restricciones de fechas de liberación, tiempos de configuración dependientes de la secuencia y tiempos de transportación son introducidas. Estas son restricciones comunes que pueden ser encontradas en múltiples ambientes manufactureros donde existen máquinas y herramientas, y un conjunto de tareas debe procesarse en estas siguiendo el mismo patrón de flujo. Los experimentos computacionales realizados sobre un conjunto de instancias de problemas de diferentes tamaños de complejidad demuestran que la metaheurística híbrida propuesta alcanza soluciones de alta calidad comparables con los óptimos reportados.

Palabras clave: algoritmo genético híbrido; secuenciación de tareas; programación de la producción; búsqueda local de vecindad variable

Abstract:

This paper aims to analyzing the effect of the inclusion of several constraints that have negative influence in the real manufacturing productions. For the solution of the scheduling problem treated in this paper, known as Flow Shop Scheduling, an efficient Genetic Algorithm is introduced combined with the Variable Neighborhood Search for problems of n tasks and m machines minimizing the total completion time or makespan. Release date, dependent setup-times and transport times are entered. These are common restrictions that can be found in multiple manufacturing environments where there are machines, tools, and a set of jobs must be processed in these, following the same flow pattern. The computational experiments carried out on a set of instances of problems of different sizes of complexity show that the proposed hybrid metaheuristic achieves high quality solutions comparable to the optimum ones reported.

Keywords: hybrid genetic algorithm; scheduling; flow shop; variable neighborhood search

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná – Ecuador ({rodolfo.najarro, ringo.lopez} @utc.edu.ec)

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo – Ecuador ({eracines, apuris} @uteq.edu.ec)

³Universidad Estatal de Milagro, Milagro – Ecuador

1. Introducción

El proceso de toma de decisiones se puede distinguir de tres maneras: a largo, mediano y corto plazo. A largo plazo, decisiones estratégicas en el ámbito productivo, por ejemplo, podrían ser la determinación de cuántas máquinas se deben comprar o qué productos se pueden ofrecer al mercado. La aceptación de pedidos de clientes o planificación de personal constituyen ejemplos de decisiones a mediano plazo. Sin embargo, una decisión a corto plazo, que es el tipo de decisión que más comúnmente es realizada en un entorno real de la producción sería: en qué momento y sobre cuáles máquinas se debe procesar un conjunto de tareas.

Un problema de secuenciación de tareas o problema de *scheduling*, como también se le conoce por su palabra en el idioma inglés, es precisamente esto: un proceso de asignación de tareas a un conjunto limitado de recursos disponibles en un intervalo de tiempo, donde determinados criterios son optimizados (Fonseca, Martínez, Bermúdez et al., 2015; Pinedo, 2008).

De esta forma, la secuenciación de tareas está directamente asociada con la ejecutabilidad y optimalidad de un plan preestablecido y puede ser encontrada en una amplia gama de aplicaciones, tales como: programación de despacho de vuelos en los aeropuertos, programación de líneas de producción de una fábrica, programación de cirugías en un hospital, reparación de equipos o maquinarias en un taller, entre otros (Fonseca, Martínez, Figueredo et al., 2014; Toro, Restrepo, y Granada, 2006).

En muchas ocasiones, la cadena de producción estructurada para la secuenciación de procesos requiere que cada una de las tareas a ejecutar transite por todas las etapas productivas en el mismo orden. Este problema es conocido de forma general como Variante de Flujo Regular o *Flow Shop Scheduling Problem* (FSSP), el cual, como muchos otros en este campo, son de difícil solución y están clasificados técnicamente como de solución en un tiempo no polinomial (NP-*Hard*).

De forma general, desde la década del 50, científicos en el área de la Investigación de Operaciones (IO) se apoyan en métodos matemáticos de optimización para problemas de *scheduling* contribuyendo con una variedad amplia de metodologías en las que se incluyen la programación lineal hasta diferentes técnicas avanzadas de Inteligencia Artificial (IA).

La mayoría de los métodos descritos anteriormente, garantizan, en muchos de los casos, soluciones óptimas que son logradas en un período razonable; sin embargo, de forma general, estas excluyen situaciones que se presentan en la práctica industrial. Desafortunadamente, los problemas de *scheduling* en el mundo real, al presentar un conjunto de restricciones propias de estos entornos, se convierten en problemas mucho más desafiantes, dificultando, en muchos casos, la aplicabilidad de dichos métodos (Ruiz, Sivrikaya, y Urlings, 2008).

El modelado es un tema a considerar al solucionar problemas de *scheduling* en un entorno real. Los innumerables tipos de procesos de fabricación, cada uno con sus propias particularidades, hacen difícil construir modelos generalmente aplicables. Algunas restricciones son difíciles de representar matemáticamente. Además, encontrar las restricciones correctas para modelar la realidad depende sobre todo del conocimiento extenso del dominio, que puede ser inasequible para los investigadores y que es solamente utilizable para un tipo particular de proceso de producción. Entre estas se pueden encontrar las siguientes:

- Fechas de liberación de las máquinas: En las empresas manufactureras antes de comenzar el proceso productivo, las máquinas son configuradas inicialmente según el tipo de trabajo que pueden realizar.
- Tiempos de configuración dependientes de la secuencia: Las operaciones de cambio de referencia en las máquinas varían constantemente. Estas se demoran

más cuando el trabajo entrante es muy diferente al saliente, impactando el desempeño total de las operaciones.

- Tiempos de transportación: Los trabajos necesitan de un intervalo de tiempo para ser transportados de una máquina a otra.

Todo esto da lugar a que en las empresas se tenga que revisar la política de generar buenas programaciones de la producción. A su vez, refuerza la necesidad de automatizar el modelado de problemas aplicando algoritmos que puedan adaptarse a las características de un entorno real. Todo lo anteriormente planteado ilustra la necesidad de investigar otras estrategias, así como nuevos y eficientes algoritmos para resolver el problema en cuestión.

Por tal motivo, en este trabajo se presenta una propuesta de un Algoritmo Genético Híbrido el cual es combinado con una Búsqueda Local de Vecindad Variable para la solución del FSSP bajo el efecto de un conjunto de restricciones que se presentan con frecuencia en entornos manufactureros reales. El algoritmo propuesto es probado con varias instancias del problema mostrando que el mismo alcanza excelentes soluciones comparables con las óptimas.

2. Materiales y Métodos

En esta sección se realiza una formalización del problema de secuenciación de tareas que se aborda en esta investigación, se introducen los Algoritmos Genéticos como metodología computacional para la solución de problemas de optimización, y por último, se diseña la metaheurística híbrida propuesta que es empleada para la solución del problema tratado.

2.1. Definición del Problema de Scheduling

Dentro de la teoría de *scheduling* se puede distinguir un gran número de problemas. En estos se tiene un conjunto de N trabajos que han de ser procesados sobre un conjunto de M recursos o máquinas físicas siguiendo un patrón de flujo o ruta tecnológica (Mehmet y Betul, 2014; Seido Naganoa, Almeida da Silva, y Nogueira Lorena, 2012). Con frecuencia, estos procesamientos deben ser ejecutados para todos los trabajos en el mismo orden, implicando que estos sigan el mismo patrón de flujo, como ocurre en diversos ambientes reales de manufactura. Este problema es referido como Variante de Flujo Regular o FSSP. Las restricciones identificadas y a las cuales está sujeto el FSSP son las siguientes:

- Solo se cuenta con una máquina-herramienta de cada tipo por etapa.
- Las restricciones tecnológicas están bien definidas y son previamente conocidas, además que son inviolables.
- No está permitido que dos operaciones del mismo trabajo se procesen simultáneamente.
- Ningún trabajo puede ser procesado más de una vez en la misma máquina.
- Cada trabajo es procesado hasta concluirse, una vez que se inicia una operación esta se interrumpe solamente cuando se concluye.
- Ninguna máquina puede procesar más de un trabajo a la vez.
- Se tienen en cuenta las fechas de liberación de las máquinas.
- Los tiempos de configuración dependientes de la secuencia se conocen de antemano.
- El tiempo de transportación de los trabajos entre etapas es considerado.

El objetivo es encontrar una secuencia de trabajos por etapas bajo la restricción que el procesamiento de cada trabajo tiene que ser continuo con respecto al objetivo de minimizar el *makespan* o C_{max} como también se le conoce. Por lo tanto:

Si tenemos a $r(j)$ como el tiempo de liberación de la máquina j , $t(i, j, l)$ como el tiempo de transportación del trabajo i desde la máquina j a la máquina l , $p(i, j)$ como el tiempo de procesamiento del trabajo i en la máquina j , $s(i, k, j)$ como el tiempo de configuración dependiente de la secuencia entre el trabajo i y el trabajo k en la máquina j , y una permutación de trabajos (J_1, J_2, \dots, J_n) , entonces calculamos el tiempo de completamiento total denotado por C_{max} como sigue:

$$C(J_1, 1) = r(1) + p(J_1, 1) \quad (1)$$

$$C(J_i, 1) = s(J_{i-1}, J_i, 1) + C(J_{i-1}, 1) + p(J_i, 1) \quad \text{for } i = 2, \dots, n \quad (2)$$

$$C(J_1, j) = \max\{r(j), C(J_1, j-1) + t(i, j-1, j) + p(J_1, j)\} \quad \text{for } j = 2, \dots, m \quad (3)$$

$$C(J_i, j) = \max\{C(J_{i-1}, j) + s(J_{i-1}, J_i, j), C(J_i, j-1) + t(i, j-1, j) + p(J_i, j)\} \quad \text{for } i = 2, \dots, n; \text{ for } j = 2, \dots, m \quad (4)$$

$$C_{max} = C(J_n, m) \quad (5)$$

Bajo estas condiciones, el tiempo de procesamiento total corresponde al tiempo de culminación de procesamiento del último trabajo en la última máquina. En otras palabras, es el tiempo necesario para completar todos los trabajos (Fonseca et al., 2015).

2.2. Algoritmo Genético Híbrido Propuesto

Los Algoritmos Genéticos (AGs), introducidos por Holland (Holland, 1975), son métodos adaptativos basados en el proceso biológico de organismos que han sido ampliamente utilizados en problemas de optimización combinatoria. La *Figura 1* muestra la estructura básica de un AG.

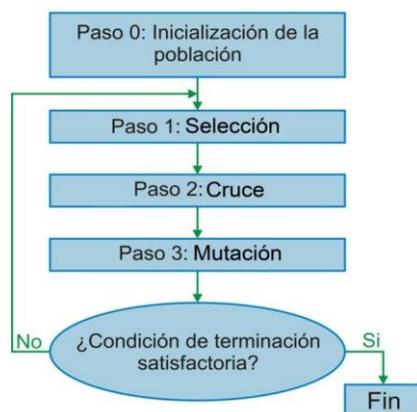


Figura 1. Estructura básica de un AG

La *Figura 1* recoge los pasos fundamentales de un AG. Se inicializa la población aleatoriamente y se evalúan los individuos de la población. En función de la aptitud de los individuos se seleccionan los padres para ser recombinados. El proceso de recombinación tiene como objetivo tomar información de varios individuos combinándola en otro, que supuestamente debe ser mejor. Durante la alteración del material genético, la mutación se realiza una exploración en una vecindad del individuo a mutar. Los

critérios de parada involucran generalmente ideas relacionadas con la convergencia de la población de individuos, el número de generaciones obtenidas por el AG y el número de evaluaciones de la función objetivo.

El ciclo de evolución de un AG mostrado en la *Figura 2*, permite entender de forma sencilla su funcionamiento.



Figura 2. Ciclo de la evolución de un AG

La solución del FSSP bajo el efecto de restricciones reales de la producción utilizando AG, comienza por el diseño de la representación de la solución del problema dado. La representación de las posibles soluciones dentro del espacio de búsqueda de un problema define la estructura del cromosoma que va ser manipulado por el algoritmo. Existen diferentes tipos de representaciones, la elección de cuál usar dependerá siempre de las características del problema a resolver (Márquez, 2012; Yamada, 2003). En el caso del problema estudiado en este trabajo, se utiliza una representación similar a la utilizada por Fonseca et al. (2014), según la cual el cromosoma representa la secuencia natural en la que se procesan los trabajos. La *Figura 3* muestra el cromosoma que representa una solución para el FSSP donde son procesados 8 trabajos. La secuencia de números representa el número del trabajo y el orden en el que serán procesados. La aptitud de cada cromosoma estará dado por el cálculo del C_{max} a partir de la secuencia de trabajo representada en el mismo.

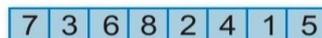


Figura 3. Representación de orden

El flujo de trabajo del Algoritmo Genético Híbrido (AGH_{VNS}) propuesto es presentado a través de un diagrama de bloques en la *Figura 4*.

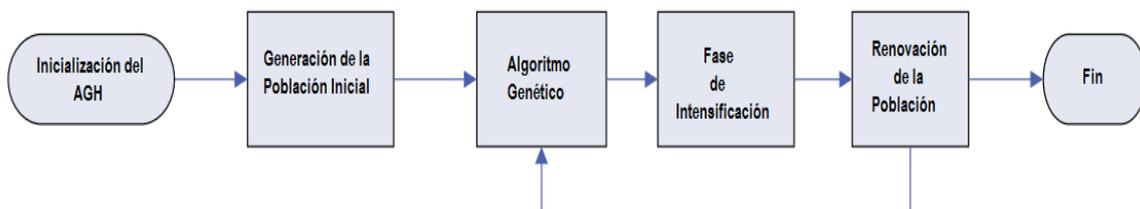


Figura 4. Flujo de trabajo del AGH_{VNS}

Cuando se genera la población inicial (pob_{ini}), el objetivo es adquirir una población diversificada. En el AGH_{VNS} propuesto, la población inicial es generada aleatoriamente y el tamaño es variable en dependencia de la cantidad de trabajos (n) y de máquinas (m) donde $pob_{ini} = n * m$. En el paso 2, un AG básico (ver *Figura 1*) es empleado para mejorar la población. En nuestra implementación, la selección de padres está basada en el esquema clásico de selección por Ranking donde $pob_{ini}/2$ parejas de padres son seleccionadas. Para la selección de cada pareja de padres se van apareando de dos en dos a los cromosomas de mayor a los de menor aptitud. Luego de esto, se realiza el cruzamiento de cada apareamiento. En nuestro caso se aplica el método Dos Punto de

Cruce. Es preciso mencionar que al aplicar directamente este método pueden generarse cromosomas ilegales (en nuestro caso significa que en un mismo cromosoma puede estar un trabajo dos veces). Este problema es corregido utilizando la metodología estudiada en (Murata, Ishibuchi, y Tanaka, 1996) la cual está basada en la sustitución del o de los trabajos que se repiten por los que no se encuentran en dicho cromosoma. Luego a la combinación se realizaría el proceso de mutación el cual consiste en seleccionar dos puntos del cromosoma aleatoriamente y cambiar de posición estos trabajos. La *Figura 5* muestra este proceso.

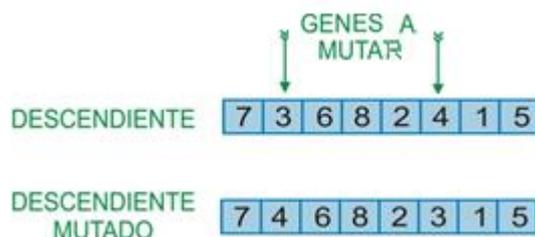


Figura 5. Mutación por Valor para el FSSP

Ishibuchi, Yoshida, y Murata (2003), enfatizan la importancia del balance entre la búsqueda del AG y la búsqueda local para encontrar soluciones FSSP de alta calidad en tiempos computacionales aceptables. En el paso 3 de nuestro algoritmo, una Búsqueda Local de Vecindad Variable es aplicada para explorar la vecindad de un subconjunto de la población complementando el AG. En cada generación se seleccionan los $pob_{ini}/2$ individuos obtenidos en el paso 2. Esta intensificación opera sobre cada uno de los individuos seleccionados aplicando un operador de vecindad el cual es escogido aleatoriamente. El valor y detalle de cada operador se describe como sigue:

1. **Operador de Intercambio:** este funciona de manera similar al operador de mutación.
2. **Operador de traslado o inserción:** se selecciona un trabajo aleatoriamente y este se mueve hacia otra posición del cromosoma seleccionada aleatoriamente.
3. **Operador 2-Op:** se seleccionan dos trabajos consecutivos aleatoriamente, luego se selecciona una posición aleatoriamente dentro del cromosoma y estos son trasladados hacia esa posición.
4. No se realiza ninguna operación sobre el cromosoma.

La idea principal detrás de esta intensificación es diversificar la población y lograr un balance entre la exploración y explotación.

Por último, en el paso 4 de nuestro algoritmo, se procede a renovar la población a partir de los nuevos individuos generados. Específicamente, los $pob_{ini}/2$ individuos menos aptos de la población actual son sustituidos por las soluciones obtenidas en la fase de intensificación.

3. Resultados y Discusión

Instancias de problemas FSSP han sido definidas por diferentes autores y ampliamente utilizadas por muchos investigadores en el campo de *scheduling* para analizar el rendimiento de las metodologías propuestas y comparar sus soluciones contra otros algoritmos. Estas instancias están disponibles en (Beasley, 1990; Taillard, 1993). Sin embargo, no existen instancias de problemas disponibles para el FSSP bajo el efecto de las restricciones mencionadas en la sección 2.1. Por esta razón, todos los datos para la experimentación computacional fueron generados aleatoriamente.

Con el objetivo de analizar el rendimiento del algoritmo propuesto, 10 instancias son utilizadas. Si se tiene en cuenta que el espacio de búsqueda para el FSSP es $n!$, estas

instancias fueron creadas con dimensiones pequeñas con el objetivo de realizar una búsqueda exhaustiva en este espacio para determinar la solución óptima y comparar estos valores con los obtenidos por el AGH_{VNS}. De igual manera, estos resultados son comparados con la variante del AG propuesta en este trabajo excluyendo la fase de intensificación. De esta forma se analiza el efecto de esta fase en la solución del problema.

La dimensión de estas instancias es: 5x3, 5x4, 5x5, 7x6, 7x7, 8x8, 9x4, 9x9, 10x8 y 10x10. Se generaron números aleatorios para crear los tiempos de procesamiento, tiempos de configuración dependientes de la secuencia, fechas de liberación y tiempos de transportación. Cada instancia fue ejecutada 10 veces.

Para determinar la calidad de las soluciones, el Error Relativo Medio (ERM) es definido como:

$$ERM = \sum_{i=1}^{10} \left[\frac{MK_i - UB_i}{UB_i} * 100 \right] / 10 \quad (6)$$

Donde MK es la solución obtenida por nuestro algoritmo y UB es el óptimo obtenido mediante la búsqueda exhaustiva.

El AGH_{VNS} fue implementado en Java y todas las ejecuciones fueron realizadas en un PC Pentium IV a 2.4 GHz con 1 GB de memoria RAM.

3.1. Calibración de Parámetros

Una gran cantidad de ejecuciones revelaron que utilizar el número de generaciones del AGH_{VNS} como condición de parada no era adecuado para controlar la convergencia del mismo. En muchos casos, el algoritmo alcanzó un óptimo local antes de completar la cantidad de generaciones. Como resultado, se introdujo un tiempo de procesamiento máximo el cual depende de la dimensión del problema a solucionar. El mismo fue arbitrariamente definido como $t_{max} = n * m / 5$ segundos, el cual, en términos computacionales, es un tiempo práctico y en todos los casos, permite al algoritmo culminar en un tiempo menor que definiendo como condición de parada el número de generaciones.

Los valores de los demás parámetros principales del AGH_{VNS} son resumidos en la Tabla 1. Estos valores son tomados de (Fonseca et al., 2014), en la cual los autores realizan un estudio del comportamiento de los mismos en la solución del FSSP clásico.

Tabla 1. Parámetros iniciales del AG propuesto.

Parámetro	Valor
Factor de Cruzamiento	0.53
Factor de Mutación	0.021
Método de Selección	<i>Ranking</i>
Método de Cruzamiento	Dos Puntos de Cruce
Método de Mutación	Mutación por Valor
Tipo de Modelo	Modelo Estacionario

3.2. Ejemplo de Instancia

Para ilustrar el problema que se soluciona en esta investigación se introduce un ejemplo de instancia. Esta describe un problema con 5 trabajos que deben ser procesados sobre 5 máquinas (5x5). Las *tablas 2, 3, 4 y 5* muestran el tiempo de procesamiento de los trabajos sobre las máquinas, la fecha de liberación de cada una de las máquinas, los tiempos de configuración dependientes de la secuencia y los tiempos de transportación respectivamente.

Tabla 2. Tiempos de Procesamiento

Trabajo/ Máquina	Tiempos de Procesamiento				
	J ₀	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄
M ₀	10	6	11	8	11
M ₁	15	9	14	10	14
M ₂	12	11	9	10	6
M ₃	8	4	8	9	12
M ₄	6	6	8	6	3

Tabla 3. Fechas de Liberación.

Máquina	Fecha de Liberación
M ₀	9
M ₁	3
M ₂	8
M ₃	16
M ₄	23

Tabla 4. Tiempos de Configuración dependientes de la secuencia.

M ₀	Tiempo de Configuración					M ₁	Tiempo de Configuración					M ₂	Tiempo de Configuración				
	J ₀	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄		J ₀	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄		J ₀	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄
J ₀	0	2	4	6	5	J ₀	0	3	6	8	9	J ₀	0	4	6	3	3
J ₁	3	0	7	9	4	J ₁	2	0	5	4	1	J ₁	2	0	5	7	3
J ₂	3	2	0	5	6	J ₂	1	1	0	3	4	J ₂	4	7	0	3	5
J ₃	2	4	6	0	7	J ₃	4	4	5	0	7	J ₃	8	8	5	0	12
J ₄	3	3	2	5	0	J ₄	5	4	2	10	0	J ₄	4	4	3	10	0
M ₃	Tiempo de Configuración					M ₄	Tiempo de Configuración										
	J ₀	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄		J ₀	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄						
J ₀	0	2	4	6	5	J ₀	0	4	6	3	3						
J ₁	3	0	7	9	4	J ₁	2	0	5	7	3						
J ₂	3	2	0	5	6	J ₂	4	7	0	3	5						
J ₃	2	4	6	0	7	J ₃	8	8	5	0	12						
J ₄	3	3	2	5	0	J ₄	4	4	3	10	0						

Tabla 5. Tiempos de Transportación

Máquina/Trabajo	Tiempos de Transportación				
	J ₀	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄
M ₀	8	4	6	8	7
M ₁	7	8	8	5	7
M ₂	6	9	8	5	9
M ₃	6	5	4	7	6

La *Tabla 2* es interpretada como el tiempo que necesita un trabajo en procesarse en cada una de las máquinas. Por ejemplo, el trabajo J₀ necesita 10, 15, 8, 12 y 6 unidades de tiempo para procesarse en cada una de las 5 máquinas. Por su parte, la *Tabla 3* muestra el tiempo que necesita cada máquina para ser liberada al comienzo de la planificación de la producción. En la *Tabla 4* se detallan los tiempos de configuración dependiente de la secuencia. Esto significa, por ejemplo, que si la máquina M₀ procesa al trabajo J₀ y luego debe procesar al trabajo J₁, necesitaría 2 unidades de tiempo para configurar la máquina antes de procesar a J₁. Por último, en la *Tabla 5* se muestran los tiempos de transportación de los trabajos desde una máquina hacia la otra. Por ejemplo, para trasladar el trabajo J₀ desde la máquina M₀ hacia la máquina M₁, se necesitan 8 unidades de tiempo, de M₁ hacia M₂ se necesitan 7 unidades de tiempo y así sucesivamente. En la tabla solo se muestran los valores para las primeras cuatro máquinas debido a que en la última etapa (M₅) el trabajo culmina su procesamiento.

La Figura 6 muestra a través de un diagrama de Gantt la solución óptima al ejemplo planteado anteriormente donde el $C_{max} = 140$. En este son representadas las restricciones adicionales del problema planteado.

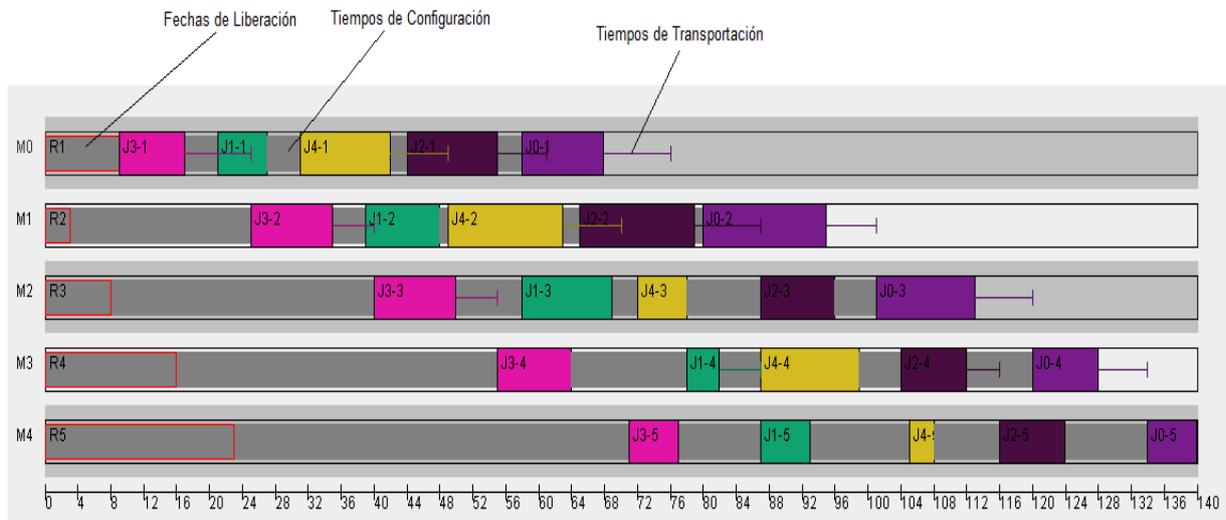


Figura 6. Diagrama de Gantt para la instancia ejemplo donde $C_{max} = 140$

3.3. Resultados Experimentales

Como se mencionó anteriormente, dada la inexistencia de instancias del problema tratado en esta investigación, se generaron aleatoriamente instancias de diferentes tamaños de complejidad. Específicamente, se crearon 10 instancias ($n \times m$) de 5×3 , 5×4 , 5×5 , 7×6 , 7×7 , 8×8 , 9×4 , 9×9 , 10×8 y 10×10 , donde n representa la cantidad de trabajos y m la cantidad de máquinas respectivamente. El algoritmo propuesto fue ejecutado 10 veces para cada una de estas y el valor promedio de *makespan* ($C_{max}(prom.)$) es calculado. Además, con el objetivo de analizar el rendimiento del algoritmo propuesto, el proceso de intensificación fue deshabilitado obteniendo un AG básico, el cual, al igual que el AGH_{VNS}, fue ejecutado 10 veces por cada una de las instancias. Estos resultados se tomaron en cuenta para el estudio comparativo.

Asimismo, dado que estas instancias fueron generadas intencionalmente con un nivel de complejidad pequeño (dado por el número de trabajos y máquinas), se determinó el valor óptimo de C_{max} para cada una de ellas realizando una búsqueda exhaustiva. El ERM fue calculado a partir de estos valores y los obtenidos por las dos variantes de AGs. La Tabla 6 resume los resultados obtenidos. En esta se muestra además el menor valor de *makespan* ($C_{max}(min.)$) obtenido en las ejecuciones por ambas variantes. La última fila muestra el promedio de ERM.

3.4. Discusión de los Resultados

Basado en los resultados de la Tabla 6, se puede observar que el algoritmo propuesto es capaz de obtener buenos resultados y se muestra la aplicabilidad del mismo a problemas de *scheduling*; se tienen en cuenta restricciones que se presentan con frecuencia en entornos manufactureros reales. Los resultados corresponden con lo planteado en la literatura especializada si se tiene en cuenta la brecha que existe entre los problemas de programación de la producción que comúnmente se resuelven por los especialistas en el tema y los que se presentan en la práctica.

Tabla 6. Resumen de los resultados obtenidos.

Instancia	Óptimo	AGH _{VNS}		ERM (%)	AG		ERM (%)
		$C_{max}(min)$	$C_{max}(prom)$		$C_{max}(min)$	$C_{max}(prom)$	
5x3	103	103	103.00	0.0000	103	103.00	0.0000
5x4	117	117	117.00	0.0000	117	117.90	0.0077
5x5	140	140	140.00	0.0000	144	144.00	0.0286
7x6	207	207	207.00	0.0000	208	208.50	0.0072
7x7	236	236	236.00	0.0000	236	236.80	0.0034
8x8	256	257	257.00	0.0039	262	262.90	0.0270
9x4	185	185	185.80	0.0043	193	194.30	0.0503
9x9	292	292	293.80	0.0062	300	302.00	0.0342
10x8	289	290	290.40	0.0048	296	297.10	0.0245
10x10	338	339	339.90	0.0056	347	347.00	0.0266
PROMEDIO:				0.0025			0.0209

Para las 10 instancias propuestas, excepto para la instancia de 8x8, 10x8 y 10x10, el AGH_{VNS} alcanzó el valor óptimo de *makespan*. Para las primeras cinco instancias, este logró el valor óptimo en todas sus ejecuciones. El promedio de ERM fue de solo un 0.0025%.

Además, el AG sin la fase de intensificación solo alcanzó el valor óptimo en las dos primeras instancias aunque para el resto, los valores obtenidos de *makespan* estuvieron cercanos a los óptimos. El promedio de ERM fue de 0.0209%.

Los resultados obtenidos en la tabla 6 muestran la importancia de lograr un balance entre la exploración y la explotación a partir de la fase de intensificación. Esta le permitió al algoritmo propuesto, en el proceso de búsqueda en ese espacio, alcanzar mejores soluciones que la variante de AG sin el proceso de búsqueda local. Esta afirmación es evidenciada al establecer una comparación entre los promedios de ERM entre el AGH_{VNS} y el AG básico. El ERM del AGH_{VNS}, en todos los casos, fue menor que el obtenido por el AG básico y este, a su vez, muy por debajo del 1%.

4. Conclusiones y Recomendaciones

Este trabajo presentó la aplicación de un método híbrido para la solución del FSSP bajo el efecto de restricciones que se presentan en entornos reales de la producción. El algoritmo propuesto está constituido por tres componentes principales: una generación de la población inicial; un AG y un proceso de intensificación a través de una búsqueda local nombrada VNS. El AGH_{VNS} fue evaluado a través de un conjunto de diez instancias de problemas y los resultados obtenidos fueron comparados con los valores óptimos y por los obtenidos mediante la variante básica del AG demostrando eficiencia y efectividad del mismo en cuanto a la calidad de las soluciones. Es importante mencionar que la metaheurística propuesta constituye una interesante alternativa para resolver problemas complejos de optimización. También se debe resaltar que el algoritmo propuesto es simple y fácil de implementar.

Se sugiere que un esquema más sofisticado de intensificación sea utilizado en el futuro. Esta decisión podría lograr un mejor balance entre la explotación y exploración de las soluciones. Igualmente, se propone incorporar otras restricciones como es el caso de máquinas paralelas no relacionadas, restricciones de precedencia y perturbaciones en las máquinas permitiendo modelar un entorno más realista de la producción. Esta extensión contribuiría aún más, a cerrar la brecha existente entre la teoría de *scheduling* y la aplicación en configuraciones industriales.

Bibliografía

- Ancău, M. (2012). On Solving Flow Shop Scheduling Problems. *Proceedings of the Romanian Academy*, 13(1), 71-79.
- Beasley, J. E. (1990). OR-Library. Retrieved January 17, 2014, from <http://people.brunel.ac.uk/~mastijb/jeb/info.html>
- Čičková, Z., y Števo, S. (2010). Flow Shop Scheduling using Differential Evolution. *Management Information Systems*, 5(2), 008-013.
- Costa, A., Cappadona, F. A., y Fichera, A. (2017). A hybrid genetic algorithm for minimizing makespan in a flow-shop sequence-dependent group scheduling problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(6), 1269-1282.
- Chandrasekaran, S., Ponnambalam, S., Suresh, R., y Vijayakumar, N. (2007). *Multi-objective particle swarm optimization algorithm for scheduling in flowshops to minimize makespan, total flowtime and completion time variance*. Paper presented at the IEEE Congress on Evolutionary Computation.
- Chaudhry, I. A., y Munem Khan, A. (2012). Minimizing makespan for a no-wait flowshop using genetic algorithm. *Sadhana*, 36(6), 695-707.
- Chie-Wun, C., Wen-Min, C., Chin-Min, L., y Muh-Cherng, W. (2012). A genetic algorithm for scheduling dual flow shops. *Expert Systems with Applications*(39), 1306–1314.
- Dang, T., Dai, M., Salido, M. A., y Giret, A. (2016). Energy-efficient dynamic scheduling for a flexible flow shop using an improved particle swarm optimization. *Computers in Industry*, 81, 82-95.
- El-Bouri, A., Azizi, N., y Zolfaghari, S. (2007). A comparative study of a new heuristic based on adaptive memory programming and simulated annealing: The case of job shop scheduling. *European Journal of Operational Research*, 177 1894–1910.
- Fattahi, P., Hassan-Hosseini, S. M., Jolai, F., Tavakkoli-Moghaddam, R., y Tarantilis, C. D. (2014). A branch and bound algorithm for hybrid flow shop scheduling problem with setup time and assembly operations. *Applied Mathematical Modelling*(38), 119-134. doi: DOI:10.1016
- Fernández-Viagas, V., Ruiz , R., y Framinan, J. M. (2016). A new vision of approximate methods for the permutation flowshop to minimise makespan: state-of-the-art and computational evaluation. *European Journal of Operational Research*, 09(55), 1-36. doi: 10.1016/j.ejor.2016.09.055
- Fonseca, Y., Martínez, M., Bermúdez, J., y Méndez, B. (2015). A Reinforcement Learning Approach for Scheduling Problems. *Revista Investigación Operacional*, 36(3), 225-231.
- Fonseca, Y., y Martínez, Y. (2017). Adapting a Reinforcement Learning Approach for the Flow Shop Environment with Sequence-Dependent Setup Time. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 11(1), 41-57.
- Fonseca, Y., Martínez, Y., Figueredo, A. E., y Pernía, L. A. (2014). Behavior of the main parameters of the Genetic Algorithm for Flow Shop Scheduling Problems. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 8(1), 99-111.
- Fonseca, Y., Martínez, Y., y Nowe, A. (2017). Q-Learning algorithm for m-machine, n-jobs Permutational Flow Shop Scheduling Problems to minimize makespan. *Revista Investigación Operacional*, 38(3), 281-290.
- González, M. (2011). *Soluciones Metaheurísticas al Job-Shop Scheduling Problem with Sequence-Dependent Setup Times*. (Tesis Doctoral), Universidad de Oviedo, Oviedo.
- Holland, J. H. (1975). *Adaption in natural and artificial systems*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Ishibuchi, H., Yoshida, T., y Murata, T. (2003). Balance between genetic search and local search in memetic algorithms for multiobjective permutation flowshop scheduling. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 7(2), 204–223.

- Manne, A. S. (1960). On the Job-Shop Scheduling Problem. *Operations Research*, 8(2), 219.
- Márquez, J. (2012). Genetic algorithm applied to scheduling in machine shops. *Revista de Ingeniería Mecánica*, 15(3), 201-212.
- Medina, P., Cruz, E., y Hernad-Restrepo, J. (2008). Works programming in one machine uses a model Integer linear programming. *Scientia et Technica*, XIV(40), 111-116.
- Mehmet, Y., y Betul, Y. (2014). Multi-objective permutation flow shop scheduling problem: Literature review, classification and current trends. *Omega*, 45 119-135.
- Murata, T., Ishibuchi, H., y Tanaka, H. (1996). Genetic algorithms for flowshop scheduling problems. *Computers and industrial Engineering*, 30, 1061–1071.
- Naderi, B., Ruiz, R., y Zandieh, M. (2010). Algorithms for a realistic variant of flowshop scheduling. *Computers & Operations Research*(37), 236-246.
- Neufeld, J. S., Gupta, J. N. D., y Busche, U. (2016). A comprehensive review of flowshop group scheduling literature. *Computers and Operations Research*.
- Parviz, F., Seyed Mohammad, H. H., Fariborz, J., y Reza, T.-M. (2014). A branch and bound algorithm for hybrid flow shop scheduling problem with setup time and assembly operations. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 119-134.
- Pinedo, M. (2008). *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems* (3th ed.). New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Puris, A., Bello, R., Trujillo, Y., Nowe, A., y Martínez, Y. (2007). Two-stage ACO to solve the job shop scheduling problem. *Lecture and Notes in Computer Science*.
- Ramezani, R., Aryanezhad, M. B., y Heydar, M. (2010). A Mathematical Programming Model for Flow Shop Scheduling Problems for Considering Just in Time Production. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 21(2), 97-104.
- Ribas, I., Companys, R., y Tort-Martorell, X. (2017). Efficient heuristics for the parallel blocking flow shop scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 74, 41-54.
- Ruiz, R., Sivrikaya, F., y Urlings, T. (2008). Modeling realistic hybrid flexible flowshop scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 35, 1151 – 1175.
- Sawik, T. (2007). A lexicographic approach to bi-objective scheduling of single-period orders in make-to-order manufacturing. *European Journal of Operational Research*, 180, 1060-1075.
- Šeda, M. (2007). Mathematical Models of Flow Shop and Job Shop Scheduling Problems. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 1(31), 122-127.
- Seido Nagano, M., Almeida da Silva, A., y Nogueira Lorena, L. A. (2012). A new evolutionary clustering search for a no-wait flow shop problem with set-up times. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25, 1114–1120. doi: DOI: 10.1016
- Taillard, E. (1993). Benchmarks for basic scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 64(2), 278-285.
- Toro, M., Restrepo, G., y Granada, M. (2006). Adaptación de la técnica de Particle Swarm al problema de secuenciación de tareas. *Scientia et Technica UTP*, XII(32), 307-313.
- Wang, J., Ersoy, O. K., He, M., y Wang, F. (2016). Multi-offspring genetic algorithm and its application to the traveling salesman problem. *Applied Soft Computing*, 43, 415-423.
- Yamada, T. (2003). *Studies on Metaheuristics for Jobshop and Flowshop Scheduling Problems*. (Tesis Doctoral), Kyoto University, Kyoto, Japan.
- Zhang, Y., Li, X., y Wang, Q. (2009). Hybrid genetic algorithm for permutation flowshop scheduling problems with total flowtime minimization. *European Journal of Operational Research*, 196, 869-876.

Evaluación de riesgos y modelación de soluciones técnicas para filtraciones en presas de tierra

(Risk assessment and modeling of technical solutions for filtrations earth dams)

Michael Álvarez González^{1,2}, Lamberto Álvarez Gil², Romel Vázquez Rodríguez^{2,3}

Resumen:

En el presente trabajo se hace la evaluación y el análisis de tres tipos de geometría de filtros para evaluar el riesgo de las filtraciones en el Embalse Zaza, a partir de las características históricas de las fluctuaciones de niveles de agua dentro de la presa de tierra. El trabajo se basa en la experiencia de un equipo multidisciplinario e investigación previa con modelos bidimensionales usando el Método de los Elementos Finitos en la solución de problemas básicos en la ingeniería. También se evalúan los resultados de la colocación del nuevo sistema de filtros con un indizado geoespacial (bajo los criterios de: amenaza, vulnerabilidad y riesgo) con datos espaciales de visualización en un Sistema de Información Geográfica para la generación de mapas temáticos que representan cuanto varía el nivel del agua en el interior de la cortina a partir de los diferentes tipos de filtros evaluados.

Palabras clave: presa de tierra; método de los elementos finitos; análisis de riesgo; sistema de información geográfica; índice geoespacial.

Abstract:

The paper presents the evaluation and the analysis of three types of filter geometry to evaluate the filtration risk in Zaza Reservoir, taking as starting point the historic characteristics of the fluctuation of water levels inside the earth dam. The work is based on the experience of a multidisciplinary team and previous research with bi-dimensional models, using the Finite Elements Method for the solution of basic engineering problems. Also, the results of the installation of a new filter system with a geospatial index are evaluated (under criteria of threats, vulnerability, and risk) with spatial visualization data in a Geographical Information System for thematic maps generation, that represent how much the water level varies inside the dam according to the different filters evaluated.

Keywords: earth dam; finite element method; risk analysis; geographic information system; geospatial index.

1. Introducción

El proceso de la evaluación de riesgos y simulación de soluciones técnicas como una disciplina de rigor en el campo de las soluciones ingenieriles, utilizadas como herramientas previas al proceso de restauración o reparación de obras hidráulicas es una línea de desarrollo actual por la comunidad científica mundial. El desarrollo de la tecnología y de la informática aplicada a diversos campos de la ingeniería, hace posible que la evaluación de riesgos y simulación de una solución técnica a problemas básicos de la ingeniería sean realizados previamente en laboratorios virtuales. A partir de la

¹ Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara (IPH VC), Santa Clara, Villa Clara – Cuba (michael@vc.hidro.cu).

² Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara – Cuba (lambertoag@uclv.edu.cu).

³ Universidad Metropolitana del Ecuador (UMET), Quito – Ecuador (vromel@umet.edu.ec).

caracterización de los materiales utilizados en el proceso constructivo de la obra previos se aporta un considerable ahorro de recursos técnicos y humanos en función de una adecuación medioambiental y tecnológica al proceso constructivo en sí mismo.

Para el caso específico de las presas de tierra, la acción de empuje del agua embalsada provoca movimientos significativos en la cortina del embalse. La variabilidad de los niveles de agua dentro del medio permeable que conforma la Línea de Corriente Superior (LCS), es otro de estos elementos técnicos que se estudian en detalles para definir un área o volumen de material que está completamente saturado. Definir la zona de principal interés ante posibles filtraciones a causa de la variabilidad conductiva del medio poroso que se manifiesta en el talud de aguas abajo implica a su vez la necesidad de evaluar la estabilidad y seguridad de la obra (M. Álvarez, L. Álvarez, y Vázquez, 2017).

En el caso de un proceso de diagnóstico y evaluación de las patologías se identifican los estudios presentados por Álvarez (1998) en varios momentos. En el trabajo se desarrolla una solución basada en el análisis de la estabilidad del talud en cortina de presas de tierra aplicando la teoría de seguridad. Esta teoría se consolida posteriormente en una lista de chequeo con las modelaciones físico-numéricas correspondientes para la creación de catálogos de patologías que evalúan las características e influencias en el proceso de seguridad de explotación del embalse objeto de estudio.

Durante el proceso de concepción tecnológica de un embalse se identifican los estudios presentados por (Sherald y Woodward, 1963) fomentándose bases de gran valor para futuras investigaciones de diseño de presas de tierra contenidas en las experiencias de varios autores (L. Álvarez, 1998; Armas, 1990, 2002; Armas, Echemendía, y Garcías, 1994; Armas y Horta, 1987; Botello, 2006; MICONS, 2005a, 2005b; Popnicolov, 1974). Estos, aportaron criterios actualizados al tema mediante el empleo de formulaciones empíricas, clásicas y novedosas soluciones en su momento.

Los estudios presentados por Bitner (2016) proponen interesantes métodos de integración y análisis de la información cartográfica por medio de los Sistemas de Información Geográfica. Estos resultados se pueden compatibilizar con las experiencias alcanzadas por Kasireddy *et al.* (2015), para gestionar una cartografía de riesgo a partir de los parámetros de diseño y monitoreo del embalse, elementos estos que sustentan bases teóricas en la presente investigación, así como otros resultados similares publicados por varios autores (Aydemir, A. y Güven, A., 2017; Cerón López, G. M., 2017; Daniszewska, E., 2017; Li, Y. y Wang, Y., 2017; Vázquez, R. *et al.*, 2015).

Además, en correspondencia con las constantes variaciones climáticas y la ocurrencia de eventos extremos con mayor frecuencia, se hace necesario el estudio detallado de diversas patologías en función del proceso de las fluctuaciones de los niveles de agua en los embalses y las particularidades de cada uno de estos ante el proceso de posibles grietas interiores que conduzcan a un posterior fallo estructural de la cortina de la presa de tierra. Es por ello que evaluar soluciones técnico-ingenieriles a problemas básicos de la ingeniería desde la etapa de diseño, constituye un punto de partida necesario a desarrollar en el sector empresarial cubano, a fin del proceso de integración académica con sectores de vanguardia en ramas claves de la economía nacional.

La presente investigación se desarrolla en el campo de la ingeniería hidráulica utilizando herramientas de la modelación físico-numérica, para abordar como objeto de estudio la evaluación de proyectos en función de riesgos identificados a consecuencia de las patologías de filtraciones existentes en presas de tierra. Se asume como interrogante científica para el presente trabajo: ¿Cómo realizar una adecuada evaluación técnica de una solución ingenieril para la disminución de los riesgos por surgencia de la LCS en el cuerpo de la cortina de una presa de tierra?, asociado al caso de estudio: Embalse Zaza.

Además, se asume la siguiente hipótesis: si se realiza una adecuada evaluación técnica de la solución propuesta para la disminución de los riesgos asociados al proceso de surgencia de la LCS en el cuerpo de la cortina de presa de tierra, entonces será posible simular la efectividad técnica del proyecto en condiciones de laboratorios virtuales

previo al proceso constructivo, y se reducirá el riesgo de falla del diseño en función de la solución al problema objeto de estudio en la presente investigación.

Por objetivo general se propone:

1. Evaluar riesgos y simular soluciones ingenieriles para redireccionar el flujo de agua en una pared en suelo al pie del talud de una presa de tierra.

Con los siguientes objetivos específicos:

1. Modelación físico-numérica empleando el Método de Elementos Finitos (MEF) de las filtraciones con el diseño o propuesta de solución técnica al problema de surgencia del nivel de agua en la cortina de la presa de tierra para determinar la LCS teórica antes y después de la propuesta técnica de solución.
2. Evaluación técnica de la solución ingenieril para la disminución de los riesgos por surgencia de la LCS en el cuerpo de una cortina de presa de tierra por medio de criterios de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo.

2. Metodología

El estudio fue desarrollado en el embalse Zaza, ubicado en la provincia de Santi Spíritus al sursureste de la ciudad de Santi Spíritus, Cuba (observar *Figura 1*); con los principales objetos de obras que existen en la zona de estudio a considerar como vulnerabilidades. Para la definición de la geometría que fue utilizada, se definió una sección central desplazada unos 3 metros aproximadamente a la izquierda de la galería, acorde con el sistema de referencia local del embalse. Dada la similitud predominante en la conformación de los taludes en la zona de influencia de las anomalías que fueron objeto de estudios en investigaciones previas publicadas por el autor (M. Álvarez, L. Álvarez, y Martínez, 2015a, 2015b), se decidió utilizar la misma información de base para darle continuidad a la investigación.



Figura 1. Área de estudio.

Para lograr un correcto y eficiente proceso de modelación se optó por el modelo bidimensional de los estados tenso-deformacionales en similares condiciones de diferentes análisis del comportamiento de los materiales (lineal-elástico, elasto-plástico e hiperbólico). Los resultados obtenidos por medio de los métodos de elementos finitos representándose presentaron en el pos-procesador gráfico para la visualización de datos para mantener una compatibilidad básica de la información. Al obtener la geometría de la sección actual deformada, se procedió a estimar la LCS teórica antes y después de la reparación, así como la colocación de los sistemas de filtro para tres tipos de geometrías y dimensiones diferentes en la sección transversal del dren a construir.

Se analizaron la curva de filtración y las redes de flujo dentro de la cortina, para obtener el comportamiento de las mismas y estimar el gasto de agua aproximado que fluye por el interior de la estructura. El comportamiento del material empleado en el modelo fue asumido bajo condiciones de semisaturado y saturado. Utilizando los niveles

del agua medidos en el interior de las calas realizadas a la cortina como patrón de calibración física al cálculo de las filtraciones teóricas en la maqueta virtual.

Fue chequeada la estabilidad de los taludes en la estructura, principalmente en el talud aguas abajo, por diferentes métodos: Fellenius, Bishop y Janbu. Esto permite determinar cuánto mejora o se deteriora el Factor de Seguridad del talud de cortina de acuerdo con las diferentes superficies de falla estimadas para la posición de la LCS antes y después de la restitución de la red de filtros de drenaje. Este proceso permitió determinar la estabilidad de las paredes en suelo de las tres geometrías al realizar el proceso de excavación en las variantes de geometrías consideradas para esta investigación ante la presencia de la presión de poros en el suelo y el posible fallo por el cambio del estado tensional del suelo.

Al disponer de todos los datos previos derivados de los cálculos por MEF se realizó un proceso de asignación de valores a los puntos de control de las calas según sus coordenadas en el terreno, creando una base de datos geo-espacial. Así, el problema de realizar un análisis puntual con MEF es descartado con un proceso de interpolación con elementos de la geo-estadística por medio del método *Kriging Universal* al visualizar diferentes escenarios en el tiempo. La respuesta resultante fue sometida a técnicas de geo-procesamiento de la información por lógica difusa para delimitar la respuesta de vulnerabilidad más probable por superposición geométrica de la interpolación de diferentes valores de niveles de agua en el tiempo en la base de datos creada.

El resultado fue representado en mapas temáticos para visualizar la variación espacial en toda la estructura de la LCS.

Para el control y lectura de las mediciones del nivel freático en el interior de la cortina del embalse se hicieron una total de 22 calas en diferentes posiciones a lo largo de la zona de estudio. Las características típicas y finalidad de las mismas son señaladas en las *figuras 2 y 3*). Como elemento de control fueron combinados con los datos provenientes de los piezómetros activos en la zona de interés válido de la investigación y señalado en color rojo la zona donde se pretende evaluar la solución técnica.

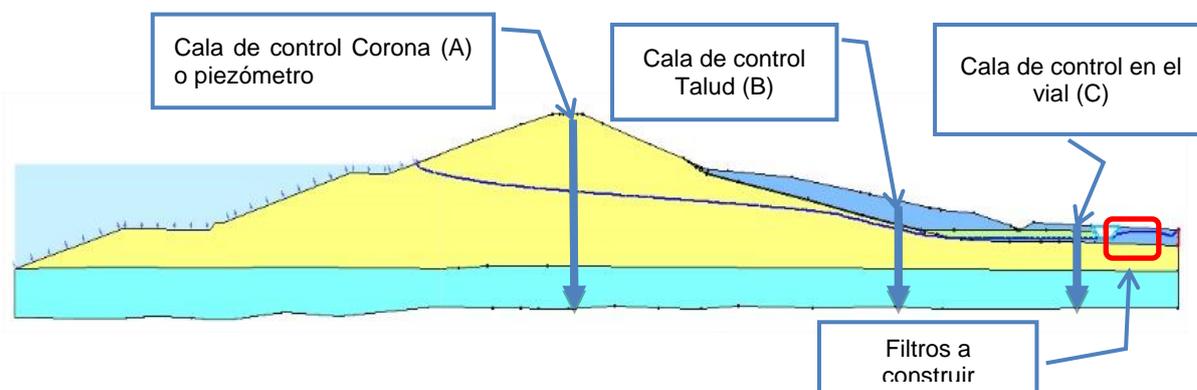


Figura 2. Características de las calas de control realizadas a la cortina del embalse.

3. Resultados

Los resultados de los niveles de agua alcanzados en el cálculo de la posición teórica de la LCS en el cuerpo de la cortina, fueron basados en las formulaciones del MEF y en el Método de Cálculo de Casagrande. El comportamiento probable de la curva de filtraciones (obsérvese la *Figura 6*) muestra una diferencia en cota no menor de 0.1 m en los diferentes puntos de control representados en la *Figura 6* y la *Tabla 1*. Los datos reales medidos en las calas de control fueron comparados con los gastos calculados para la sección de estudio. Este análisis permitió comparar cuan efectiva es una solución geométrica del filtro modelada respecto a las demás.

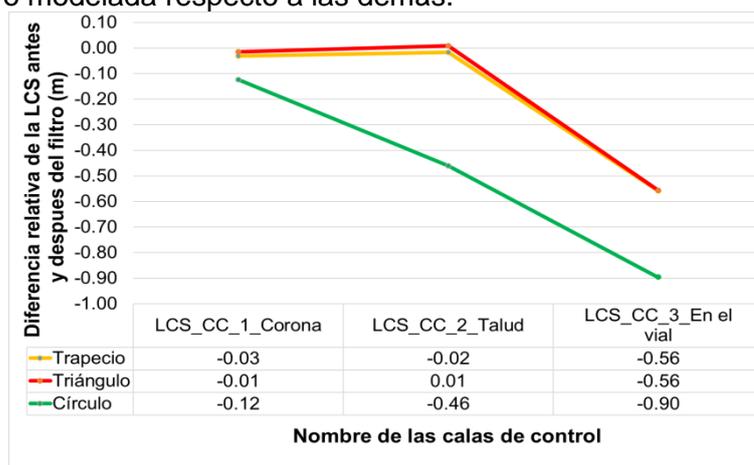


Figura 6. Diferencias de la LCS en las diferentes calas de control una vez diseñado el filtro.

Tabla 1. Cálculo de los gastos de filtraciones antes y después de haber modelado la solución técnica.

Tipo de sección transversal	Gastos en las secciones (m ³ /s)		
	Antes del filtro	Después del filtro	Diferencia
Trapezio	2.81E-06	2.49E-07	2.56E-06
Triángulo	2.80E-06	2.64E-07	2.53E-06
Círculo	2.85E-06	2.17E-07	2.64E-06

Luego de haber realizado una evaluación del comportamiento de los filtros y haber modelado la reducción en cota que presenta la LCS en el interior de la cortina del embalse (observar *figuras 7 y 8*) se realizó una evaluación de control donde se compararon los valores de riesgo que fueron previamente identificados en años anteriores con los nuevos evaluados en un SIG.

Basado en la comparación mostrada en la *Figura 6*, se identificó una reducción en la cota de los niveles de agua en el interior de la estructura para todos los casos (o del nivel freático en los piezómetros y/o calas) y por consecuencia, los valores que se identificaron como un nivel de amenaza que sobrepasan los límites superiores de los niveles de agua pronosticados, son numéricamente cercanos a los valores obtenidos por el cálculo de la posición de la LCS por el Método de los Elementos Finitos acorde con el rango promedio de los valores iniciales del modelo de pronóstico LC_P11 (junio/agosto/septiembre) según los parámetros condicionantes de cada modelo evaluado en el tiempo (mes), luego de haber sido colocado el filtro (obsérvese la *Figura 9*).

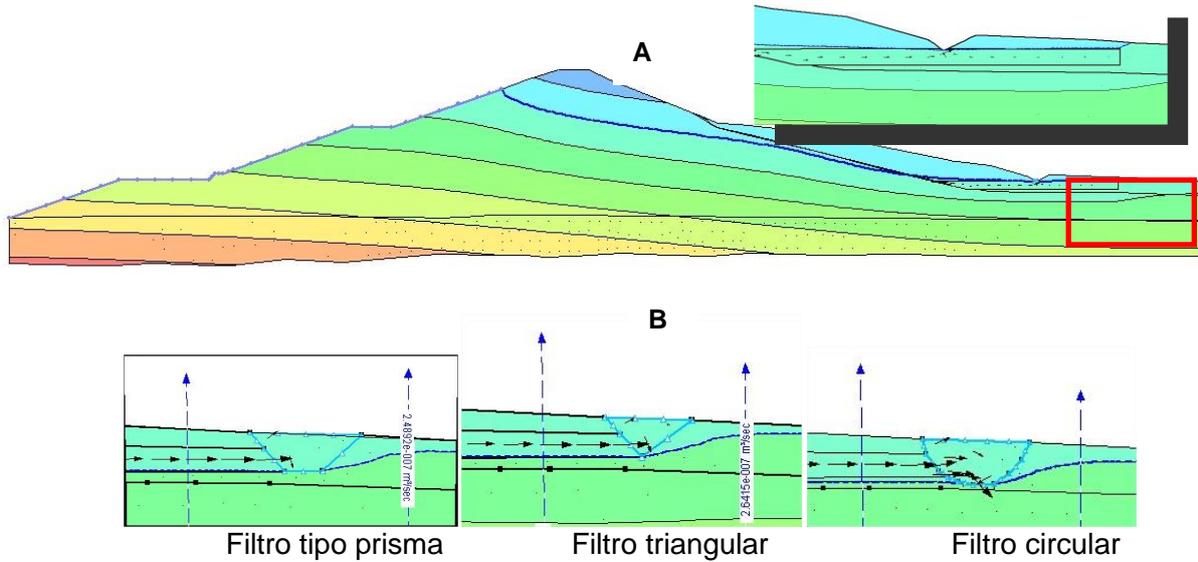


Figura 7. Resultados calculados de la LCS sin filtro (A) y con las diferentes geometrías de filtros(B).

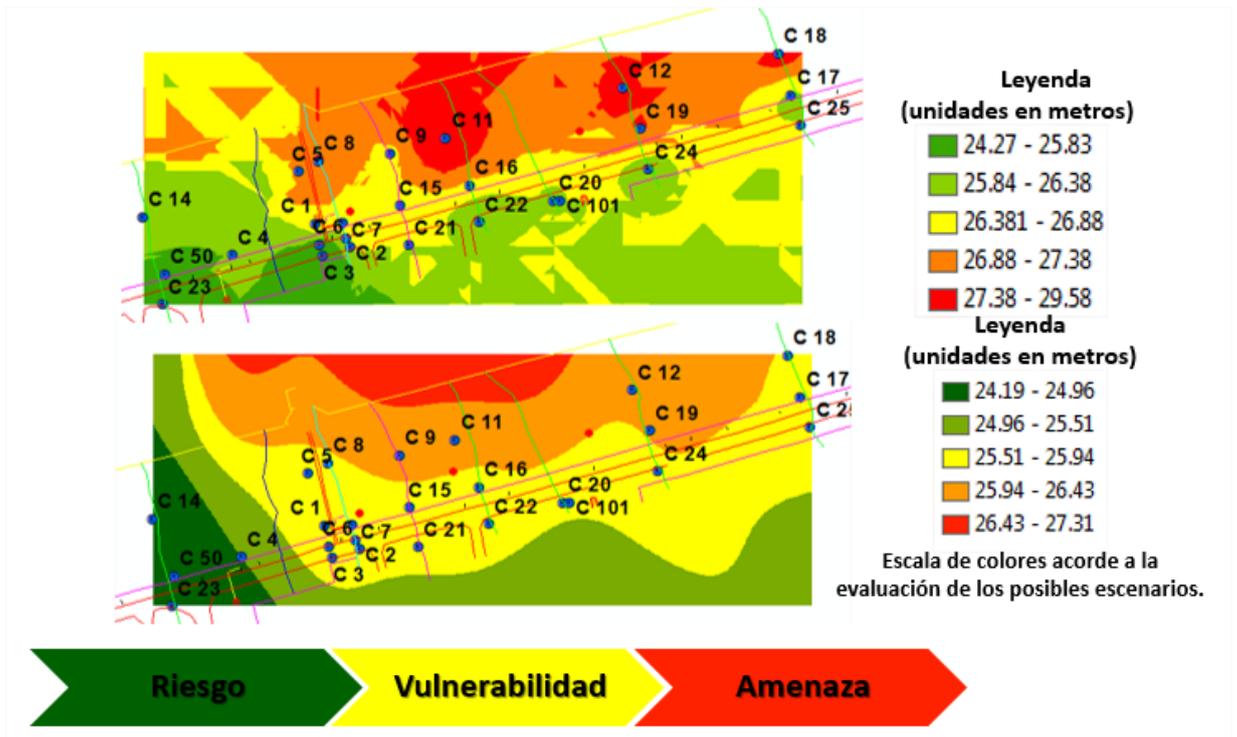


Figura8. Distribuciones espaciales indizadas del valor más probable para la LCS antes del filtro (A) y después del filtro (B).

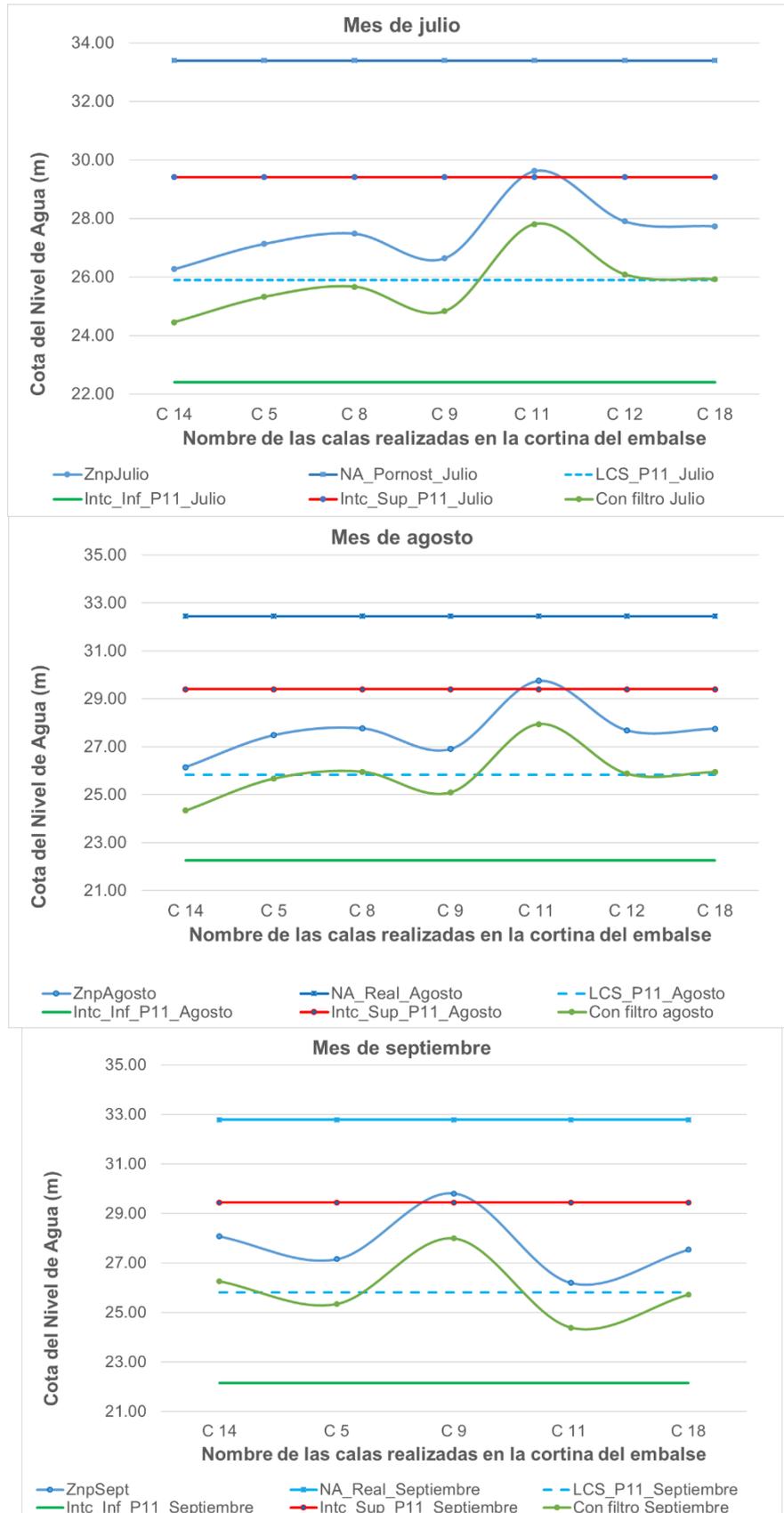


Figura 9. Evaluación de la efectividad del filtro con los resultados previos.

El posible comportamiento ideal (LCS_P11(mes)) desde un enfoque teórico de la LCS ante un correcto proceso de drenaje del agua contenida en la estructura, se logra con la ubicación de los filtros un valor promedio del comportamiento esperado al modelo conceptual hipotético del funcionamiento de la obra. Este principio se cumple de forma efectiva para las tres geometrías evaluadas.

En consecuencia, también se decidió realizar un recálculo de los resultados del modelo Estabilidad de Taludes (TAL) donde fueron chequeados los coeficientes de seguridad y estabilidad de los taludes en las secciones objeto de estudio, principalmente en la sección central por ser la sección que geográficamente se encuentra frente a la hidroeléctrica, que es donde comienzan a surgir las filtraciones. Se toma como proceso conceptual el mostrado en la *Figura 10* como resultante del análisis para la cota donde aparecen las filtraciones.

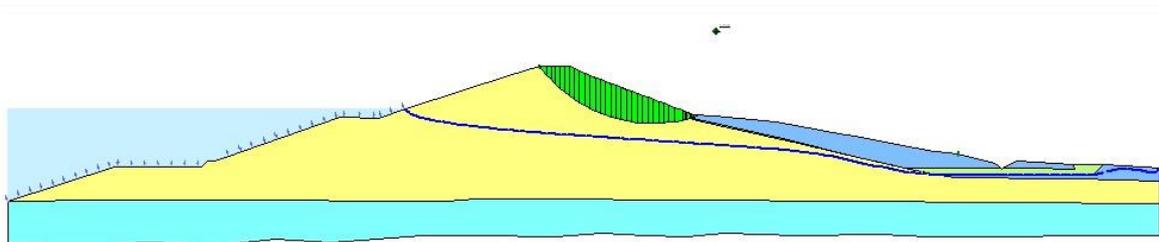


Figura 10. Comportamiento de la estabilidad del talud en el modelo TAL para la cota donde aparecen las patologías de filtraciones (37.56 m).

Las condiciones de estabilidad de taludes para los diferentes escenarios que se consideran, se comportaron de la siguiente manera: se asume un Límite Mínimo de Factor de Seguridad del Método de Bishop: 1.2, que es superado en más de 0.2 unidades en el caso más desfavorable (Método de Jambu) por lo que se identifica en todo momento una mejora a la estabilidad del talud tal como se observa en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Relación de los Factores de Seguridad calculados.

Método de cálculo del FS	Factor de Seguridad						
	Antes del filtro	Después del Filtro					
		Trapezoido	Diferencia	Triángulo	Diferencia	Círculo	Diferencia
Bishop	1.609	1.606	-0.003	1.606	-0.003	1.606	-0.003
Jambu	1.462	1.495	0.033	1.495	0.033	1.495	0.033
Ordinario	1.501	1.524	0.023	1.524	0.023	1.524	0.023

5. Conclusiones y recomendaciones

Acorde con los resultados alcanzados, se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. Al comparar los resultados teóricos obtenidos en función del comportamiento de los niveles de surgencia de la LCS teórica después de la colocación del filtro, en contraste con los estudios previos realizados, se obtuvieron resultados superiores a -1.00 m de disminución del nivel freático teórico registrado en las diferentes calas de control y piezómetros.
2. En las modelaciones de los diferentes filtros, se alcanza una reducción del caudal que pasa por la estructura de la cortina y la base de cimentación. Estos datos fueron comparados con los medidos delante del filtro y los valores teóricos alcanzados en los modelos virtuales después de la colocación de las variantes de solución. Los resultados obtenidos fueron múltiples valores de gastos con una diferencia no mayor de 2.5E-06 m³/s como evidencia en el proceso de redireccionamiento del flujo en el interior

de la cortina por el correcto funcionamiento de la propuesta de los nuevos filtros expresado en términos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

3. Luego de realizar el análisis de la estabilidad de taludes para los diferentes escenarios, se obtienen resultados que superan el valor normativo como criterio mínimo para el Factor de Seguridad del talud, por lo que se ratifica como válida la solución ingenieril empleada en el talud aguas abajo de la cortina en el embalse Zaza. Se recomienda la construcción del filtro de tipo prisma por ser muy fácil su ejecución constructiva por las empresas constructoras especializadas en trabajos hidráulicos a nivel nacional.

Bibliografía

- Álvarez, L. (1998). "La estabilidad de cortinas de presas de tierra mediante la solución de los estados tenso-deformacionales y la aplicación de la teoría de seguridad". (Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
- Álvarez, M., Álvarez, L., y Martínez, J. E. (2015a). Simulación de patologías a obras hidráulicas, caso de estudio presa Zaza. La Habana, Cuba: Palacio de las Convenciones, GEOCIENCIAS' 2015. Recuperado de: www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015b_Alvarez%20Gonzalez.pdf(accedido el 4/09/2017).
- Álvarez, M., Álvarez, L., y Martínez, J. E. (2015b). Simulación físico-numérica para evaluar el comportamiento sismo resistente en presas de tierra. Palacio de las Convenciones, La Habana, Cuba: VI Convención Cubana de Ciencias de la Tierra GEOCIENCIAS'2015, Evento: Sismología y Riesgos asociados. Recuperado de: www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015c_Alvarez%20Gonzalez.pdf(accedido el 4/09/2017).
- Álvarez, M., Álvarez, L., y Vázquez, R. (2017). "Visualización científica de datos geodésicos en presas de tierra, caso Embalse Palmarito". En: *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(1), p. 86-100.
- Armas, R. (1990). Guidelines for the design of earth dams: priority and sequence. Ciudad de La Habana, Cuba: Civil Engineering Faculty, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echevarría" (ISPJAE).
- Armas, R. (2002). "Criterios para diseñar presas de tierra: prioridad y secuencia". Taller Nacional sobre fallos de presas de tierra. Ciudad de La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- Armas, R., Echemendía, A., y Garcías, C. (1994). "Causas de fallas por sifonamiento de la presa Las Cabrerías": Caso histórico. Ciudad de La Habana, Cuba: Facultad de Ingeniería Civil del Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echevarría" (ISPJAE).
- Armas, R., y Horta, E. (1987). *Presas de tierra*. Ciudad de la Habana, Cuba: Facultad de Ingeniería Civil del Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echevarría"(ISPJAE), Editorial ISPJAE.
- Aydemir, A. y Güven, A. (2017). Modified risk assessment tool for embankment dams: case study of three dams in Turkey. En: *Civil Engineering and Environmental Systems*, 34(1), 53-67. DOI: 10.1080/10286608.2017.1300794
- Bitner, A. (2016). Cartographic Analyzes in GIScience. Paper presented at the 2016 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics).
- Botello, S. (2006). *Ejemplos de Aplicación de los Métodos Numéricos a Problemas de Ingeniería*. Guanajuato, México: Centro de Investigación en Matemáticas A.C. (CIMAT).
- Cerón López, G. M. (2017). Modelamiento geoestadístico aplicado a la caracterización de yacimientos: modelo basado en Celdas de Alta Resolución. En: *Enfoque UTE*, 8(4), 41.

- Daniszewska, E. (2017). Application of The Fuzzy Set Theory to Determine The Partial Factor of Safety. Paper presented at the 2017 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics).
- Kasireddy, V., Ergun, S., Akinci, B. y Gulgec, N. S. (2015). "Visualization requirements of engineers for risk assessment of embankment dams". En: *Visualization in Engineering*, 3(1), p.1. DOI: 10.1186/s40327-014-0014-y
- Li, Y. & Wang, Y. (2017). Design and implementation of reservoir dam safety monitoring platform based on ASP.NET. Paper presented at the 2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC).
- MICONS. (2005a). *Manual Práctico de Hidráulica Tomo I. Ciudad de La Habana, Cuba: Instituto de Hidroeconomía. Ministerio de la Construcción (MICONS).*
- MICONS. (2005b). *Manual Práctico de Hidráulica Tomo II. Ciudad de La Habana, Cuba: Instituto de Hidroeconomía. Ministerio de la Construcción (MICONS).*
- Popnicolov, A. I. (1974). *Proyectos y ejercicios prácticos de complejo hidráulicos* (Primera Ed., Segunda Reimpresión, 1982 ed.). Ciudad de La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
- Sherald, J., y Woodward, R. (1963). *Earth and earth-rock dams*. Ciudad de La Habana, Cuba: Edición Revolucionaria, Instituto del Libro.
- Vázquez, R., Pérez, C, Torres, J.C. (2015). "Exploratory data analysis through the integration of visualization techniques in geographical information systems", En: *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia*.38(1), p. 73-82.

Influencia del alga *Ascophyllum nodosum* como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

(Influence of the seaweed *Ascophyllum nodosum* as a growth promoter in the stage of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*))

Diego López¹, Iván Naranjo², Olga Pérez², Vinicio Uday³

Resumen:

Se evaluó la calidad del alga *Ascophyllum nodosum*, como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje de la Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) y su efecto inmunoestimulante respecto a enfermedades micóticas como la *Saprolegnia sp.* Se utilizaron 6000 alevines de 77 días de edad, con un peso promedio de 0,15 g, distribuidos bajo un DCA. Para el análisis de resultados se aplicó el análisis de varianza y separación de medias (Duncan al $p < 0,05$), comparaciones ortogonales y chi cuadrado. El alga *Ascophyllum nodosum* adicionada como suplemento alimenticio en la etapa de crecimiento con un nivel del 2% y 98% de alimento concentrado fue el que mejores resultados zootécnicos y económicos alcanzó: peso inicial 0,84 g, ganancia diaria de peso 0,30 g, peso final 34,60 g. conversión alimenticia 0,19, mortalidad 4,60%, y el costo de producción por kilo de carne es \$35,24. Respecto al desafío micótico (hongo *Saprolegnia sp.*), la administración del alga *Ascophyllum nodosum* en los porcentajes de 2%, 2,5% y 3% como suplemento alimenticio, proporcionó resistencia a los alevines.

Palabras clave: alga; suplemento; alevines; crecimiento; hongo.

Abstract:

The quality of the algae *Ascophyllum nodosum* was assessed as a growth promoter in the breeding stage of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and its immunostimulant effect with regard to fungal diseases as the *Saprolegnia sp.* 6000 fingerlings of 77 days of age were used, with an average weight of 0.15 g, distributed under a DCA. For the analysis of the results, it was applied the analysis of variance and separation of averages (Duncan to $p < 0.05$), orthogonal comparisons and chi square. The seaweed *Ascophyllum nodosum* added as nutritional supplement in the growth stage with a level of 2% and 98% of concentrated food was the one that reached the best zoo technical and economic results: initial weight 0.84 g, daily weight gain 0.30 g, final weight 34.60 g., nutritive conversion 0.19, mortality 4.60%, and the cost of production per kilo of meat is \$35.24. Regarding the mycotic challenge (fungus *Saprolegnia sp.*), the administration of the seaweed *Ascophyllum nodosum* on the percentages of 2%, 2.5% and 3% as nutritional supplement, provided resistance to the fingerlings.

Keywords: fingerlings; seaweed; growth; fungus; supplement.

¹ Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador

² Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito - Ecuador ({nsij505711, operez} @ute.edu.ec)

³ Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí - Ecuador (mvuday@espe.edu.ec)

1. Introducción

Según la FAO (2017) existen cerca de 567 especies acuáticas que se cultivan actualmente en todo el mundo, lo que representa una enorme riqueza de diversidad genética dentro y entre las especies. La acuicultura la practican tanto los agricultores pobres de los países en desarrollo como las empresas multinacionales.

Comer pescado forma parte de la tradición cultural de muchas personas y, en términos de beneficios para la salud, tiene un excelente perfil nutricional. Es una buena fuente de proteínas, ácidos grasos, vitaminas, minerales y micronutrientes esenciales. El 80 por ciento de la producción acuícola actual deriva de animales que se encuentra en la parte inferior en la cadena alimentaria, como peces omnívoros y herbívoros y moluscos. Si se tiene en cuenta su comportamiento dinámico en los últimos 30 años y la disminución de la pesca de captura, es probable que el crecimiento futuro del sector pesquero derive principalmente de la acuicultura (FAO, 2017)

En cambio, las pesquerías del interior, y dentro de ellas en particular la producción intensiva de peces en estanques, pilas y similares, ofrecen a este respecto posibilidades ostensiblemente mayores. Desde mediados de la década de los sesenta se registra en el ámbito internacional un tipo de producción denominada Acuicultura, en la cual se engloba por lo común el cultivo masivo de los peces o producción industrial de los mismos en aguas del interior y también en aguas costeras. Sus orígenes hay que buscarlos en la cría de peces en estanques, que en numerosos países reviste gran importancia económica y tiene una larga tradición (CENTRO EGIPCIO INTERNACIONAL PARA LA AGRICULTURA, 1994).

En los estanques los peces se alimentan primariamente con organismos acuáticos inferiores, y con carácter secundario a base de una alimentación adicional más o menos abundante constituida por diversos productos vegetales o animales (Conroy, 1991).

El uso regular de la harina de Kelp de *Ascophyllum nodosum* como suplemento alimenticio, ayuda a mejorar el aprovechamiento de todos los ingredientes en una ración completa de alimento, mejorando la salud y rendimiento general de sus animales, es ampliamente utilizada en la acuicultura, como un agente adherente que ayuda en la reducción de desechos en alimentos, extruidos o granulados, para peces. Adicionalmente, a menudo se observa una mejora considerable en la salud de los peces. El Kelp es también ampliamente utilizado en alimentos para camarones y en las dietas de los mariscos (ACADIAN SEAPLANTS, 2017).

Según Summer Zone (2017) actualmente en el Ecuador este suplemento alimenticio es utilizado para la alimentación del camarón, ya que en esta especie se ha conseguido desarrollar una mayor ganancia de peso. En lo que se refiere a la agricultura este suplemento es utilizado como abono orgánico, consiguiendo buenos resultados respecto a otros abonos orgánicos de origen animal e incluso vegetal.

La saprolegniosis es provocada por ficomicetos pertenecientes al orden *Saprolegniales*, entre los cuales son de mayor importancia las especies de *Saprolegnia* y *Achlya*, la mayoría de estos hongos son saprofitos, pero existen determinadas especies que pueden considerarse como ictiopatógenas. Entre dichas especies figuran: *Saprolegnia mixta*, *Saprolegnia ferax*, *Saprolegnia parasitica*, *Saprolegnia monoica* (esta última es responsable de infecciones intestinales), y *Achlya flagellata*. Un carácter muy importante de los saprolegniales, por ser ficomicetos, es que las hifas son coenocíticas, o sea que no poseen tabiques, las hifas por lo general son delgadas, ramificadas y con un espesor de unos 20 micrones. La forma de reproducción puede ser sexual o asexual (Conroy, 1991).

Conroy (1991), se refiere que en casos normales de saprolegniosis, las hifas están rodeadas por las células cutáneas, las cuales vienen a constituir el sustrato para el hongo. Una vez destruido el tegumento, el hongo penetra la musculatura y finalmente llega a los órganos viscerales del pez. El desarrollo de las hifas en la piel y musculatura da lugar a la formación de zonas necróticas, las cuales contribuyen a la muerte del pez,

salvo que la enfermedad sea controlada a tiempo. La saprolegniasis también es de importancia en cuanto a las branquias, ya que dan lugar a una importante necrosis de los lámelos de las mismas.

En el cultivo de salmónidos, la saprolegniasis adquiere singular importancia con respecto a la incubación de los huevos. El hongo se desarrolla en primer lugar sobre los huevos no fertilizados o dañados, a partir de los cuales se extienden hacia los huevos vivos, según parece, en condiciones normales el hongo no se desarrolla sobre huevos vivos, a menos que estos tengan algo de materia orgánica adherida a la superficie. En un lapso muy corto, las hifas llegan a formar una trama filamentososa que da lugar a la muerte de los huevos afectados por asfixia (Conroy, 1991).

Con estos antecedentes, el propósito de la presente investigación fue la de promover el crecimiento de la trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*), por medio de la solución de kelp (alga *Ascophyllum nodosum*) utilizada como suplemento alimenticio, y a su vez conseguir una posible mayor resistencia a la micosis causada por el hongo *Saprolegnia sp* (moho de agua), patógeno que incide de manera común en la etapa de alevinaje de la trucha Arco iris en los núcleos de explotación intensiva, inclusive en el Centro de Investigaciones Acuícolas Papallacta (CENIAC-P).

Los objetivos que se trazaron en la investigación fueron: determinar la eficiencia de la solución de kelp (alga *Ascophyllum nodosum*) como suplemento alimenticio en la etapa de alevinaje de la trucha Arco Iris, establecer la mortalidad de los alevines en los diferentes tratamientos utilizados con la solución de kelp (alga *Ascophyllum nodosum*), determinar la posible mortalidad de los alevines, alimentados con la solución de kelp (alga *Ascophyllum nodosum*), al ser desafiados con el hongo *Saprolegnia sp*.

La investigación es muy importante para el Ecuador, pues al ser un estudio pionero no se ha encontrado literatura para discutir la información generada en este estudio, sin embargo, los resultados obtenidos permiten demostrar que existe la posibilidad de mejorar la producción de este tipo de pez en el Ecuador.

2. Metodología

2.1. Localización de la investigación

La investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones Acuícolas de Papallacta (CENIAC-P) ubicada en la provincia de Napo, cantón Quijos, parroquia Papallacta, barrio Llanura de Baños, ubicado a 3296 m.s.n.m., 0°29' latitud sur y 78°10' de longitud oeste. Temperatura ambiental máxima de 14°C y mínima de 6°C. La calidad del agua que se utilizó presentó los siguientes parámetros:

Análisis Físico y Químico del agua

Temperatura: Máxima: 11°C, Media: 9°C, Mínima: 7°C. Ph: 7,6; Sodio: 12; Cromo: 0,5 ppm; Aluminio: 0,1 ppm; Hierro: 0,1 ppm

2.2. Evaluación productiva del alga *Ascophyllum nodosum* como promotor de crecimiento

En la primera fase se estudió el rendimiento de la adición del alga *Ascophyllum nodosum* en el alimento balanceado, como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje.

Se emplearon alevines de trucha Arco Iris de 77 días desde su eclosión, los cuales fueron transportados desde la sala de incubación hasta el laboratorio de Biotecnología en donde fueron depositados en estanques de plástico: ancho 0,445 m, largo 0,640 m, altura 0,380 m, altura de agua 0,27 m. Para cada tratamiento (cuatro) y repeticiones (3) se utilizaron 500 peces, dando un total de 6000 animales.

La cantidad de alimento suministrado a los peces se la calculó a base de la tabla de Leitritz y la frecuencia de alimentación fue de seis veces al día, fraccionada en tres

raciones por la mañana y tres por la tarde. La determinación del peso de los animales se la efectuó cada quince días. La medición de oxígeno disuelto, pH y temperatura, así como la limpieza de los estanques y medición de la mortalidad, se la efectuó diariamente.

La bioseguridad fue un factor importante para la investigación, se colocó un pediluvio a la entrada del laboratorio para la desinfección del calzado de las personas que ingresen al laboratorio, así como la ubicación de un rociador para la desinfección de manos (Imaki, 1987).

En la *Tabla 1* se presentan los tratamientos utilizados en la investigación.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos utilizados en el estudio de la influencia del alga *Ascophyllum nodosum* como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje de la trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*).

Tratamiento	Código	Descripción
Testigo	T	Solo alimento
Tratamiento 1	E1	2% de alga con un 98% de alimento
Tratamiento 2	E2	2,5% de alga con un 97,5% de alimento
Tratamiento 3	E3	3% de alga con un 97% de alimento

2.3. Evaluación del efecto inmunoestimulante del alga *Ascophyllum nodosum* ante desafíos micóticos (*Saprolegnia sp.*).

En la segunda fase se estudió la respuesta inmunitaria de los alevines de trucha Arco Iris alimentados con el alga *Ascophyllum nodosum* y alimento concentrado, al ser inoculados por vía oral con la cepa pura del hongo *Saprolegnia sp.* Para el desafío con el hongo *Saprolegnia sp.*, se emplearon muestras de peces, ovas y del agua que contenían dicho patógeno.

Asilamiento.- La obtención de la cepa pura del hongo *Saprolegnia sp.* se la realizó en el laboratorio de Microbiología del CENIAC-P por medio del aislamiento y del crecimiento de las muestras obtenidas de ovas contaminadas con dicho hongo, las mismas que fueron colocadas en cajas Petri, que contenían Agar Sabouraud (medio universal para el crecimiento de hongos). Para un crecimiento óptimo del hongo *Saprolegnia sp.*, se recomendó utilizar una temperatura de 20°C por un período de siete días en la estufa, con el fin de conseguir un desarrollo homogéneo del hongo en la superficie del medio de cultivo (Nilubol y Yuasa, 1998). La *Figura 1* muestra la afección de *Saprolegnia sp.*, a las ovas y su morfología.

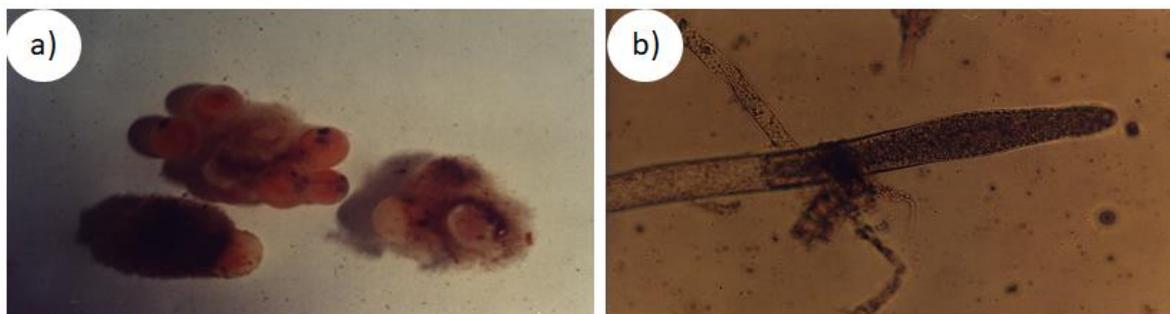


Figura 1. a). Ovas afectadas por *Saprolegnia sp.* (Imaki, 1987). b). Morfología del hongo *Saprolegnia sp.* (Niwa y Zeballo, 1990).

Tipificación.- Por medio de la utilización de agujas de disección, se procedió a tomar unas cuantas colonias del hongo *Saprolegnia sp.*, del medio del cultivo, las cuales son colocadas en un portaobjetos. Para una mejor tipificación del hongo, las colonias son extendidas en toda la superficie del portaobjeto y a la vez se adiciona una gota de agua destilada, consiguiéndose de esta manera una observación correcta de la morfología del

hongo, con lo cual se evitaron posibles confusiones en la determinación de este patógeno respecto a otros (Nilubol y Yuasa, 1998).

Preparación de la solución de PBS.- La preparación de la solución de PBS se la obtuvo al colocar 0,96 g de PBS (polvo) en 100 mililitros de agua destilada, mezcla que a su vez se trasvasó en tres vasos Erlenmeyer, los cuales fueron herméticamente sellados con papel aluminio y a su vez colocados en la estufa, con la finalidad de obtener una mayor pureza de la solución de PBS por medio de la esterilización para eliminar cualquier agente contaminante (Niwa y Zeballo, 1990).

Preparación del inóculo.- La preparación del inóculo consistió en pesar 0 g, 0,05 g, 0,01 g de colonias de *Saprolegnia sp.*, aislada y tipificada, las mismas que fueron añadidas a la solución de PBS esterilizada (100 ml), mezcla que a su vez se homogenizó por un minuto, hasta observar una coloración blanquecina (Niwa y Zeballo, 1990) (Figura 2).

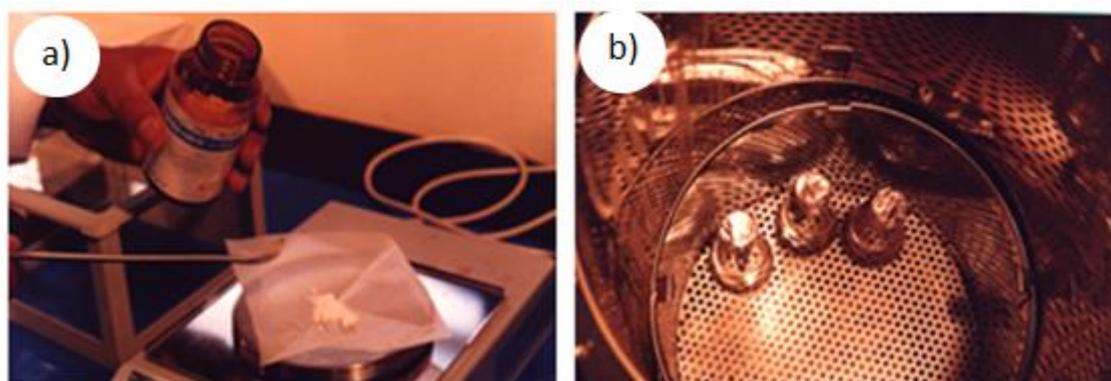


Figura 2. a) Preparación de la solución PBS b) Esterilización de la solución PBS, Niwa y Zeballo, 1990).

Inoculación.- En cuanto a la inoculación del agente patógeno, se la realizó por vía oral en una cantidad de 0,1 ml por medio de una sonda que ingresó por la cavidad oral hasta el intestino del pez. Previamente a la inoculación de la enfermedad, los peces consiguieron un peso de mayor de un gramo y una edad de 187 días. Para la inoculación se tomó el 10% de la población de cada tratamiento. Posteriormente a la inoculación se midió a partir de las 24 horas y por 15 días, el índice de mortalidad que pudo existir por cada tratamiento (Niwa y Zeballo, 1990).

2.4. Diseño experimental

Las unidades experimentales durante la etapa de evaluación productiva del alga como promotor de crecimiento, se distribuyeron bajo un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. La separación de medias fue con Duncan al nivel de $P \leq 0,05$. En las variables peso inicial, ganancia diaria, peso final y conversión alimenticia se realizaron comparaciones ortogonales; la mortalidad se aplicó la prueba chi cuadrado con $P \leq 0,05$. Los resultados experimentales obtenidos fueron analizados con el *software* estadístico Infostat versión 2016 (Di Rienzo, *et al.* 2016).

2.5. Mediciones experimentales

2.5.1. Evaluación productiva

Se determinaron variables como: peso inicial, ganancia diaria, peso final, conversión alimenticia, mortalidad y análisis del costo de producción por kg de carne producida.

2.5.2. Evaluación inmunoestimulante del alga *Ascophyllum nodosum*

Se midió el porcentaje de mortalidad diaria de peces inoculados con el hongo *Saprolegnia* sp.

3. Resultados y Discusión

3.1. Evaluación productiva del alga *Ascophyllum nodosum* como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje de la trucha Arco Iris

Los resultados del análisis de varianza y de prueba de separación de medias obtenidos en el estudio de la influencia del alga *Ascophyllum nodosum* como suplemento alimenticio en alevinaje de la trucha Arco Iris se reportan en las *Tabla 2* y *Tabla 3* respectivamente.

Tabla 2. Análisis de varianza para las variables peso inicial (g), ganancia diaria (g), peso final (g) y conversión alimenticia, dentro del estudio influencia del alga *Ascophyllum nodosum* como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje de la trucha Arco Iris *Oncorhynchus mykiss*.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Peso inicial (g)	Ganancia diaria (g)	Peso final (g)	Conversión alimenticia
Tratamiento	3	0,16 *	0,01 *	115,95 *	0,000624 *
T vs E1, E2, E3	1	0,12 ns	0,00011 ns	0,67 ns	0,001667 *
E1 vs E2, E3	1	0,29 *	0,02 *	320,05 *	0,000001 ns
E2 VS E3	1	0,09 ns	0,0024 ns	27,14 *	0,000204 ns
Error	44	0,03	0,00017	2,21	
Total	47				
Coeficiente de variación %		23,33	4,97	4,91	5,33

Tabla 3. Efecto de la influencia del alga *Ascophyllum nodosum* como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje de la trucha Arco Iris *Oncorhynchus mykiss* en las variables peso inicial (g), ganancia diaria de peso (g), peso final (g), conversión alimenticia.

Tratamientos	Peso inicial (g)	Ganancia diaria (g)	Peso final (g)	Conversión alimenticia
T	0,83 A	0,26 B	30,11 B	0,21 A
E1	0,84 A	0,30 A	34,60 A	0,19 B
E2	0,59 B	0,26 B	29,33 B	0,19 B
E3	0,71 AB	0,24 C	27,21 C	0,19 B

En la *Figura 3* se presentan las comparaciones ortogonales significativas en el estudio de influencia del alga *Ascophyllum nodosum* como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje de la trucha Arco Iris *Oncorhynchus mykiss*.

3.1.1. Peso inicial

En la *Tabla 1*, se presentan valores obtenidos para los diferentes tratamientos y el testigo. Existen diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$), diferencia que fue corregida al momento de realizar el análisis de ganancia diaria de peso.

La comparación de medias con el método de Duncan indica que el tratamiento que empieza con mayor peso inicial, fue el E1 con un peso de (0,84 g) en relación con los demás tratamientos: T (0,83 g), E3 (0,71 g) y E2 (0,59 g). (*Tabla 2*). La comparación ortogonal E1 vs E2, E3 resultó significativa y corrobora al resultado obtenido con el método de Duncan.

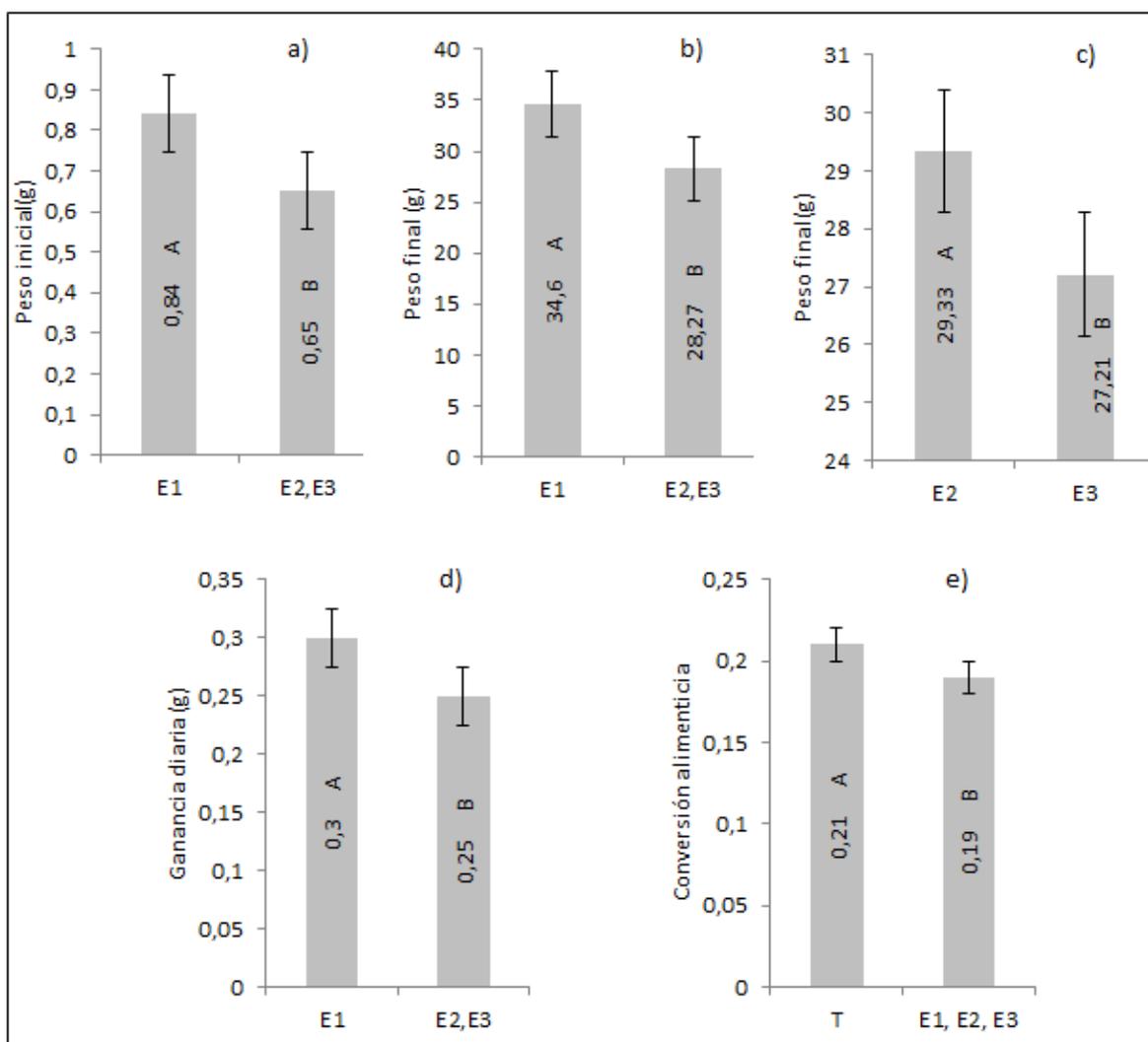


Figura 3. Comparaciones ortogonales significativas en el estudio de influencia del alga *Ascophyllum nodosum* como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje de la trucha Arco Iris *Oncorhynchus mykiss*. a) comparación ortogonal del peso inicial en gramos de E1 versus E2, E3; b) comparación ortogonal del peso final en gramos de E1 versus E2, E3; c) comparación ortogonal del peso final en gramos de E2 versus E4; d) comparación ortogonal de la ganancia diaria de peso en gramos de E1 versus E2, E3 y e) comparación ortogonal de la conversión alimenticia de T versus el resto de tratamientos.

3.1.2. Ganancia diaria de peso

Estadísticamente se observan diferencias entre tratamientos en la variable ganancia de peso diaria ($p \leq 0,05$). Así mismo la comparación ortogonal E1 vs E2, E3 presentó diferencias (Figura 3) donde sobresale en promedio de E1 con un valor de 0,30 g respecto al promedio conjunto de E2, E3. De acuerdo con Duncan E1 obtuvo la mayor ganancia diaria de peso (0,30 g); seguido por el tratamiento T (0,26 g), a continuación el E2 (0,26 g) y por último el E3 (0,24 g) (Tabla 2). Probablemente el tratamiento E1 (2% de alga) sea la cantidad adecuada, mejore la digestibilidad y logre incrementar el valor nutritivo del balanceado.

3.1.3. Peso final

El análisis de varianza para el peso final muestra diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos, el coeficiente de variación en esta etapa de la investigación fue de

4,91%. Según los resultados de la prueba de Duncan, los tratamientos T (30,11 g) y E2 (29,33 g) son estadísticamente iguales y se diferencian de los tratamientos E1 (34,60 g) y E3 (27,21 g). El tratamiento que alcanzó mayor peso final fue el E1 (34,59 g) en los 112 días de investigación, este resultado sugiere que la adición de 2% del alga *Ascophyllum nodosum* en la alimentación de alevines de trucha es una cantidad adecuada permite ganar un mayor peso en relación con los demás tratamientos. Las comparaciones ortogonales en peso final muestran diferencias estadísticas entre E1 (34,6 g) versus E2, E3 (28,27 g) y es mejor el uso de 2% de adición de alga; mientras que al comparar E2 versus E3 resulta mejor E2 con 2,12 gramos sobre E3.

3.1.4. Conversión alimenticia

La conversión alimenticia presenta diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$) con un coeficiente de variación de 5,33%. Duncan establece dos rangos, en el primero se ubican los tratamientos E1, E2, E3 que son los que contienen suplemento alga *Ascophyllum nodosum* con una mejor conversión alimenticia (0,19) y en el segundo lugar se ubica el tratamiento testigo con una conversión de (0,21); la comparación ortogonal entre T vs. E1, E2, E3 corrobora al resultado calculado por el método de Duncan. Lo descrito anteriormente permite decir que para obtener una mejor conversión alimenticia es recomendable adicionar un suplemento alimenticio en base al alga *Ascophyllum nodosum*.

3.1.5. Mortalidad

La prueba de chi cuadrado sugiere una relación estadística entre los tratamientos y el número de tilapias muertas con un p-valor $< 0,0001$ y con 3 grados de libertad. Se puede notar que el mejor porcentaje de mortalidad es para E1 con 4,60% (2% suplemento) respecto a T con 8,53%, E2 con 14,80% (2,5% suplemento) y E3 con 12,07% (3% suplemento). Probablemente, el menor porcentaje obtenido por el T2 (2% suplemento) se deba a que este consiguió de alguna manera mantener cierta estabilidad de la formulación del balanceado, con lo que pudo conseguir una mejor resistencia de los alevines a los factores adversos.

Tabla 4. Efecto de la influencia del alga *Ascophyllum nodosum* como promotor de crecimiento en la etapa de alevinaje de la trucha Arco Iris *Oncorhynchus mykiss* en la variable mortalidad.

Tratamiento	Muertos	Vivos	Total
T	128 (8,53%)	1372 (91,47%)	1500
E1	69 (4,60%)	1431 (95,40%)	1500
E2	222 (14,80%)	1278 (85,20%)	1500
E3	181 (12,07%)	1319 (87,93%)	1500
Total	600	5400	6000
Chi cuadrado de Pearson: 97,7			GL: 3
			p-valor: $< 0,0001$

El resultado obtenido sobre mortalidad se corrobora con los estudios realizados por Acadian Seaplants y citado por Summer Zone, (2013) donde obtienen mejores resultados con el 2% de suplemento nutricional en peces, principalmente en lo referente a la resistencia de *Aeromonas salmonicida*.

3.1.6. Análisis de costos

El costo por kilogramo de peso vivo producido en cada uno de los tratamientos fue el siguiente: \$ 35,24 para el E1; \$42,05 el T; \$44,80 E2 y el E3 \$49,77. El tratamiento E1 al finalizar la investigación presentó una baja mortalidad, mejor ganancia de peso diaria y

peso final. Estos parámetros antes mencionados determinaron que el costo por kilogramo de carne producida se reduzca considerablemente en relación con los demás tratamientos.

3.2. Evaluación del alga *Ascophyllum nodosum* como estimulante del sistema inmunitario de alevines de trucha Arco Iris ante desafíos patógenos

No existió mortalidad de alevines después de la inoculación de la cepa pura del hongo *Saprolegnia* sp., en todos los tratamientos, esto puede atribuirse al buen manejo en cuanto a bioseguridad y nutrición durante la investigación.

4. Conclusiones y recomendaciones

El tratamiento que mejores resultados presentó en relación a las variables en estudio fue el E1 (98% de alimento y 2% de alga *Ascophyllum nodosum*), proporcionó mejor asimilación del alimento y mayor resistencia a factores adversos que afrontan los alevines de trucha Arco Iris en sus primeros días de vida.

El alga *Ascophyllum nodosum* administrada en la dieta alimenticia en alevines de la trucha Arco Iris (2%, 2,5% y 3%), proporcionaron una excelente resistencia al desafío micótico con *Saprolegnia* sp., esto se comprobó con la ausencia de mortalidad de alevines durante los 15 días de observación a partir de la inoculación, demostrando la eficiencia del alga a la resistencia de enfermedades comunes.

Finalizada la investigación se recomienda utilizar el alga *Ascophyllum nodosum* al 2% como suplemento nutricional en la alimentación de alevines y en las diferentes etapas de desarrollo de la trucha Arco Iris, realizar un estudio más profundo del metabolismo de los alimentos, de la eficiencia del alga *Ascophyllum nodosum* en alevines respecto a otros desafíos de enfermedades.

Bibliografía

- ACADIAN SEAPLANTS, (2017). *La comida de Kelp (Kelp meal) para animales de ACADIAN SEAPLANTS*. Recuperado el 01 de diciembre del 2017, de <http://www.acadianseaplants.com/es/animals>
- CENTRO EGIPCIO INTERNACIONAL PARA LA AGRICULTURA, (1994). *Curso sobre el desarrollo de la Piscicultura*. Cairo, CEIA. pp. 15
- Conroy, D (1991). *Principales enfermedades de los salmónidos; una guía de diagnóstico y control para el biólogo*. 3ª. ed. Zaragoza, Acribia. pp. 120
- Di Rienzo J, Balzarini M, Casanoves F, González L, Tablada M, Guzmán W. y Robledo CR. 2016. *InfoStat. Software estadístico*. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- FAO, (2017). *Papel de la FAO en la acuicultura*. Recuperado el 01 de diciembre del 2017, de <http://www.fao.org/aquaculture/es/>
- Imaki, A (1987). *Introducción a la Crianza de Trucha Arco Iris*. La Paz, Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) pp. 41-42-43-44
- Niwa, Y. y Zeballo, A (1990). *Guía de enfermedades de la trucha Arco Iris*. La Paz, Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). pp. 32-33-34.
- Nilubol, K. y Yuasa, K, (1998). *Mycoscience: Morphological aspects of Saprolegnia sp., isolated from pejerrey*. Tokyo (Japón). pp. 365-366-367.
- Summer Zone, (2017). *Programas de orgánicos Ecuador Summer Zone*. Extraído el 1 de mayo del 2017. Disponible en <http://www.organicosecuador.com/nosotros>

El efecto visual y la necesidad de la determinación de un método de blanqueamiento superficial de la nuez de macadamia

(The visual effect and the necessity of determining the superficial whitening method of the macadamia's nut)

María José Jijón¹ Teresa Guerrero Villegas¹, Adriana Barahona¹
Pablo Aguilar Barriga¹

Resumen:

La nuez de macadamia es considerada "la reina de las nueces", por su alto contenido energético y valor nutritivo. Cierta tipo de nueces se considera poco comercial debido a su color, por lo cual el objetivo del presente estudio fue determinar un método de blanqueo superficial utilizando aditivos que no afecten el sabor, olor y textura de la nuez. Se emplearon tres aditivos alimentarios como agentes blanqueadores: ácido cítrico al 1% durante 2 minutos y al 3% durante 1 minuto, ácido ascórbico al 0.1% durante 1 minuto y al 0.3% durante 3 minutos, y bicarbonato de sodio al 5 y 10% durante 1 minuto. Para todos los tratamientos se realizaron análisis de color, humedad de la nuez, análisis sensorial de olor, sabor y textura. Las nueces se blanquearon superficialmente después de secarse. Los resultados indican que el mejor tratamiento para blanquear la nuez de macadamia es el ácido ascórbico al 0.3%; con ello se consigue aportar a la nuez un color más homogéneo y natural, libre de manchas negruzcas.

Palabras clave: Antioxidante; aditivo; cualidad sensorial; agente blanqueador.

Abstract:

Macadamia nut is considered "the queen of nuts", because of its high energy content and nutritional value. Certain types of nuts are considered to be non-commercial due to their color; therefore, the aim of this study was determining a method of surface bleaching using additives that do not affect the taste, smell and texture of the walnut. Color is a sensory quality of food; it's an indicator and a critical quality factor in fresh and processed products. Three food additives were used as bleaching agents: 1% citric acid for 2 minutes and 3% for 1 minute, 0.1% ascorbic acid for 1 minute and 0.3% for 3 minutes, and 5 and 10% sodium bicarbonate for 1 minute. For all treatments, color analysis, walnut moisture, sensory analysis of odor, taste and texture were carried out. Walnuts were bleached superficially after drying. The results indicate that the best treatment for bleaching macadamia nut is ascorbic acid at 0.3%, with this it is possible to add a more homogeneous and natural color to the nut, free of blackish spots.

Keywords: Antioxidant; additive; sensory quality; bleaching agent.

1. Introducción

La macadamia (*Macadamia integrifolia*) es originaria de Australia. Fue introducida en Ecuador en 1976 y su fruto seco, la nuez, es considerado un cultivo exótico, por su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (Rodríguez Millán, Silva Ramírez & Carrillo Inungaray, 2011), además de su delicado sabor. Aulestia (2010), manifiesta que el cultivo de macadamia en Ecuador es relativamente nuevo; las plantaciones productoras se encuentran en zonas subtropicales de la Costa, como Quinindé, Santo

¹ Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito - Ecuador ({adriana.barahona, pablo.aguilar, esthela.guerrero, jcmj41290} @ute.edu.ec)

Domingo de los Tsáchilas, Puerto Quito, Pedro Vicente Maldonado, Quevedo, La Maná, La Concordia, San Lorenzo, y en la región Amazónica ciudades como Francisco de Orellana (El Coca), Tena y Lago Agrio.

La nuez de macadamia es de forma esférica, de color blanquecino o crema, reconocida como la nuez más fina del mundo debido al delicado sabor que posee, lo que la ubica en el mercado de los productos *gourmet* (Erazo, 2006). El fruto es una nuez comestible de color blanco cremoso, cuyo diámetro oscila entre 12 y 20 mm; está encerrada en una fuerte cáscara o concha lisa de color café, que a su vez se encuentra dentro de una cáscara verde suave que se abre cuando el fruto está maduro. Las diferentes variedades de *Macadamia integrifolia* producen nueces cuyo color puede ir desde blanco crema a habano claro. Las nueces más oscuras no satisfacen visualmente a los clientes, lo que dificulta su venta y puede causar pérdidas económicas a sus productores (Lavin et al., 2001).

Para Reyes y Moreno (2009), las nueces de macadamia, al igual que otros frutos secos, están libres de colesterol y son una gran fuente de fibra; poseen un alto contenido en grasa, ya que casi el 80 % es grasa monoinsaturada, un tipo de grasa buena que ayuda a reducir el colesterol total y el colesterol malo o LDL y aumenta el colesterol HDL o colesterol bueno. Es uno de los pocos alimentos que contienen Omega-7 o ácido palmitoleico, reduce el colesterol, y el riesgo de enfermedades del corazón, pero también puede afectar el metabolismo, frenando el apetito y ayudando a quemar grasa más rápido. La composición nutricional por cada 100 g de porción comestible es de: 718 kcal, 7.91 g de proteína, 13.82 g de carbohidratos, 1.05 g de almidón, 4.57 g de azúcares simples, 75.77 g de lípidos, 8.6 g de fibra total, 1.36 g de ceniza y 2.88 g de agua (Gil & Ruíz, 2010).

Se conocen diferentes variedades de macadamia que presentan diversos colores, algunas de ellas no satisfacen visualmente a los clientes por lo que se dificulta su venta en el mercado, para reducirla completamente, la mejor opción consiste en escaldarlas o blanquearlas; el objetivo del presente estudio fue determinar el método óptimo de blanqueo superficial para la nuez de macadamia y establecer su porcentaje de humedad para exponerla a un proceso de secado, realizar la caracterización sensorial de sabor, olor, textura y someterla al proceso de blanqueamiento.

El color es una cualidad sensorial de los alimentos, es un indicador y un factor crítico de calidad en algunos productos frescos y procesados. Existen algunos factores que modifican o determinan el color de un alimento, como puede ser la deshidratación, evaporación, ahumado o el blanqueamiento. Para determinar un método de blanqueo superficial para la nuez de macadamia, se utilizaron tres aditivos alimentarios como agentes blanqueadores: ácido cítrico al 1% y al 3%; ácido ascórbico al 0.1% y al 0.3% y bicarbonato de sodio al 5% y 10% los resultados de los análisis concluyen que el mejor tratamiento para blanquear la nuez de macadamia es el ácido ascórbico al 0,3%.

2. Metodología

2.1. Material Vegetal y procesamiento

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1995), en la norma NTE INEN 1 233:95, de muestreo para granos y cereales, en los ensayos se utilizó 6.3 kg de nuez macadamia; se dividió en 300 g, para cada tratamiento de la siguiente manera: 100 g para realizar la caracterización física de la nuez de macadamia, 10 g para la determinación de la humedad después del proceso de secado y 190 g para realizar el análisis sensorial. Según FAO (2006), para reducir la humedad de la nuez de macadamia a valores entre 3 y 1.5%, se realiza un proceso de secado que ayuda en el momento de romper la cáscara o concha lisa de color café. Para que la almendra no sufra daño y no se quede pegada a la concha, existen dos maneras de secar la nuez, la primera se

realiza de forma natural en tendales y en la segunda se utiliza el secado por calor en hornos.

2.2. Soluciones Blanqueadoras

Las soluciones blanqueadoras utilizadas fueron: ácido cítrico al 1 y 3 %, ácido ascórbico al 0.1 y 0.3 % y bicarbonato de sodio al 5 y 10 % (George et al., 1999), y se secó por un tiempo de 4 horas a 60° C, para luego medir el color utilizando el colorímetro Konica Minolta Chroma Mater CR-200.

En la *Tabla 1* se indica el agente blanqueador, la concentración de la solución blanqueadora y el tiempo de inmersión que se utilizó en cada tratamiento, cabe indicar que en las pruebas que se realizaron en la Escuela Politécnica Nacional se aplicaron los mismos tiempos para las tres soluciones blanqueadoras, una vez analizados los resultados se determinaron los mejores tiempos a utilizarse en la investigación.

Tabla 1. Agentes blanqueadores, concentración y tiempo de inmersión

Tratamientos	Muestras		
	Agente blanqueador	Concentración	Tiempo (min)
T 1	Ácido cítrico	1%	2
T 2	Ácido cítrico	3%	1
T 3	Ácido ascórbico	0.1%	1
T 4	Ácido ascórbico	0.3%	3
T 5	Bicarbonato de sodio	5%	1
T 6	Bicarbonato de sodio	10%	1
T 7	Testigo		

2.3. Caracterización Física y Análisis Sensorial

La caracterización física fue realizada en el Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología de la Escuela Politécnica Nacional donde se midió el nivel de color obtenido utilizando el colorímetro Konica Minolta Chroma Mater CR-200. Este equipo se utilizó para obtener el valor de los parámetros de color (Carvajal, Aristizábal, Oliveros, & Mejía, 2011).

La escala Cielab está basada en la respuesta de los observadores patrones a un estímulo luminoso, lo que quiere decir que se trata de imitar la respuesta humana promedio a las longitudes de onda de la luz y cómo una persona normal ve el color a través del espectro de luz visible. En este modelo, el espacio de color es un sistema coordinado cartesiano definido por tres coordenadas rectangulares (L^* , a^* , b^*) de magnitudes dimensionales. La coordenada acromática L^* es la luminosidad o claridad y representa si un color es oscuro, gris o claro, variando desde cero para un negro y hasta cien para un blanco. Las coordenadas cromáticas a^* y b^* forman un plano perpendicular a L^* . La coordenada a^* corresponde a rojo si a^* es mayor a cero, o a verde se a^* es menor a cero. La coordenada b^* corresponde a amarillo si b^* es mayor a cero, y a azul si b^* es menor a cero (Carvajal, Aristizábal, Oliveros, & Mejía, 2011).

Para el análisis sensorial se conformó un panel de 9 degustadores; los panelistas evaluaron olor, sabor y textura de las nueces en una escala de 1 a 7; 1 corresponde a “me disgusta extremadamente” y 7, a “me gusta extremadamente”. Los puntajes obtenidos en el análisis sensorial se calcularon mediante la prueba de Friedman (Barragán, 2012).

Para el estudio se utilizó un Diseño Experimental completamente al azar (DCA), en este tipo de diseño todas las repeticiones experimentales se realizan en orden aleatorio completo, pues no se han tenido en cuenta otros factores de interés, de forma que los posibles efectos se repartan equitativamente entre los tratamientos, la investigación se realizó con siete tratamientos y tres repeticiones cada uno; el orden de los tratamientos fue aleatorio.

2.4. Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico del programa Sedex (Software Estadístico Didáctico de Diseño Experimental) Versión 1.0. Se detectaron diferencias significativas en el análisis de resultados y se aplicó la prueba de Tukey con una significancia del 0.05%.

3. Resultados

3.1. Análisis del color de la nuez de macadamia

Los instrumentos de medición de color, incluyendo espectrofotómetros y colorímetros, pueden cuantificar estos atributos de color fácilmente. Ellos determinan el color de un objeto dentro del espacio de color y muestran los valores para cada coordenada L^* , a^* , y b^* .

En la *Tabla 2* se presentan los resultados obtenidos del análisis de color y humedad en la nuez de macadamia.

Tabla 2. Prueba de color y humedad de la nuez de macadamia después del proceso de secado

Tratamientos	Análisis	Análisis
	Luminosidad (L^*)	Humedad (%)
Ácido cítrico 1 %	76.22 ± 1.50 ^{ab}	3.74 ± 0.18 ^b
Ácido cítrico 3 %	76.90 ± 0.99 ^{ab}	3.19 ± 0.37 ^{ab}
Ácido ascórbico 0,1 %	77.54 ± 2.71 ^{ab}	3.32 ± 0.31 ^{ab}
Ácido ascórbico 0,3 %	78.10 ± 1.24 ^a	2.63 ± 0.16 ^a
Bicarbonato de sodio 5 %	73.53 ± 1.86 ^b	2.79 ± 0.05 ^{ab}
Bicarbonato de sodio 10 %	73.94 ± 0.77 ^{ab}	2.94 ± 0.68 ^{ab}
Testigo	76.15 ± 0.10 ^{ab}	2.78 ± 0.38 ^{ab}

Nota. a L^* . La coordenada a^* corresponde a rojo si a^* es mayor a cero, o a verde si a^* es menor a cero. La coordenada b^* corresponde a amarillo si b^* es mayor a cero, y a azul si b^* es menor a cero (Carvajal, Aristizábal, Oliveros, & Mejía, 2011). Media ± desviación estándar (n=3).

3.2. Análisis sensorial de olor

En el análisis sensorial de la nuez de macadamia se evaluaron tres aspectos fundamentales: olor, sabor y textura. La *Tabla 3* presenta los resultados obtenidos en el análisis sensorial de olor.

Para la textura, la prueba de Friedman no detecta diferencia significativa en los tratamientos tanto de ácido cítrico, ácido ascórbico y bicarbonato de sodio; el efecto de los agentes blanqueadores es el mismo. El ácido ascórbico y sus sales de sodio, potasio y calcio suelen usarse como aditivos antioxidantes de los alimentos.

Tabla 3. Análisis sensorial de olor, sabor y textura

	Análisis de olor													
	Ácido cítrico 1 %		Ácido cítrico 3 %		Ácido ascórbico 0,1 %		Ácido ascórbico 0,3 %		Bicarbonato de sodio 5 %		Bicarbonato de sodio 10 %		Testigo	
	T1	R	T2	R	T3	R	T4	R	T5	R	T6	R	T7	R
Media degustadores 1 al 9	5,00	5,20	4,89	5,25	4,78	4,70	4,11	2,80	4,11	2,90	3,22	1,67	4,89	5,33
Sumatoria de Rangos		44		40.5		40.5		30		33.5		23		42.5
$X^2 = 8.86^{n5} - 6 \text{ gl} \begin{cases} 0.05 \rightarrow 15.592 \\ 0.01 \rightarrow 16.812 \end{cases}$														
En la prueba de Friedman, se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos, es por lo tanto similar el efecto de los agentes blanqueadores.														
	Análisis del sabor													
	Ácido cítrico 1 %		Ácido cítrico 3 %		Ácido ascórbico 0,1 %		Ácido ascórbico 0,3 %		Bicarbonato de sodio 5 %		Bicarbonato de sodio 10 %		Testigo	
	T1	R	T2	R	T3	R	T4	R	T5	R	T6	R	T7	R
Media degustadores 1 al 9	5,22	4,20	4,56	4,00	4,67	3,50	4,22	3,00	4,78	4,75	4,00	2,33	5,00	4,75
Sumatoria de Rangos		43		34		37.5		30.5		38.5		31		37.5
$X^2 = 2.83^{n5} - 6 \text{ gl} \begin{cases} 0.05 \rightarrow 15.592 \\ 0.01 \rightarrow 16.812 \end{cases}$														
En la prueba de Friedman, se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos, es por lo tanto similar el efecto de los agentes blanqueadores.														
	Análisis de textura													
	Ácido cítrico 1 %		Ácido cítrico 3 %		Ácido ascórbico 0,1 %		Ácido ascórbico 0,3 %		Bicarbonato de sodio 5 %		Bicarbonato de sodio 10 %		Testigo	
	T1	R	T2	R	T3	R	T4	R	T5	R	T6	R	T7	R
Media degustadores 1 al 9	4,78	3,67	4,67	3,20	4,56	4,00	4,67	3,25	4,67	3,29	4,44	3,86	4,67	4,80
Sumatoria de Rangos		38.5		35		35.5		34.5		31		37		36
$X^2 = 0.26^{n5} - 6 \text{ gl} \begin{cases} 0.05 \rightarrow 15.592 \\ 0.01 \rightarrow 16.812 \end{cases}$														
En la prueba de Friedman, se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos, es por lo tanto similar el efecto de los agentes blanqueadores.														

4. Discusión

El ácido L-ascórbico, sus isómeros y derivados, son los inhibidores más eficaces y seguros del pardeamiento enzimático (Man, 2002). Este ácido actúa como agente reductor y mantiene los polifenoles en un estado reducido lo cual evita el oscurecimiento en las frutas (Canet & Álvarez, 2000). El ácido cítrico refuerza determinados sabores, regula el pH y actúa sinérgicamente con los antioxidantes, inactiva enzimas y previene el pardeamiento, el deterioro del sabor, y actúa como blanqueador (Hughes, 1987). El bicarbonato de sodio, en el caso de las nueces de macadamia es utilizado como un agente blanqueador, no tóxico.

Después de aplicar las soluciones blanqueadoras, como se observó en la *Tabla 1*, la nuez de macadamia se secó por un tiempo de 4 horas a 60 °C.

El tratamiento de ácido ascórbico al 0.3% que se utilizó en la nuez de macadamia presentó valores superiores de L*; existió una diferencia significativa con el bicarbonato de sodio al 5%, este valor indica que la nuez de macadamia presenta una coloración que se acerca al blanco. En cuanto al tratamiento con bicarbonato de sodio al 5%, el valor L* es el más bajo, en este caso se puede decir que la disminución en la luminosidad de la nuez de macadamia fue porque se dejó en inmersión menos tiempo en la solución con el agente blanqueador. En el estudio realizado por Luna & Guerrero (2012), los mayores valores de L* corresponden a la nuez de macadamia y nuez de castilla, lo cual indica que

estos dos fueron los más pálidos, para la nuez de macadamia se obtuvo el valor de 47.22 y para la nuez de castilla se obtuvo el valor de 31.67.

Cuando existen más de dos tratamientos, se puede utilizar la prueba de los rangos o también llamada de clasificación; en este caso se presentan varias muestras y se les solicita a los jueces que lo clasifiquen u ordenen por orden de preferencia y se suman los rangos para cada muestra. Estas sumas pueden ser interpretadas con la prueba de Friedman (Catania & Avagnina, 2007). Esta prueba indica que no existe diferencia significativa entre tratamientos lo que permite decir que no hay influencia de los agentes en el sabor de la macadamia.

En la evaluación realizada por Luna y Guerrero (2012), los resultados de la macadamia concuerdan con los reportados por la Sociedad Australiana de macadamia, cuyo valor para la humedad es de 1.4%, estos evaluadores aseguran que el porcentaje de humedad es uno de los factores de mayor importancia que se debe tomar en cuenta ya que puede alterar las propiedades sensoriales de la nuez de macadamia y generar olores y sabores indeseables. Como se observa en la *Tabla 3*, la nuez de macadamia tiene en el tratamiento de ácido ascórbico al 0.3%, con el proceso de secado al horno durante 4 horas a 60 °C, la humedad más baja de 2.63% a diferencia del bicarbonato de sodio y ácido cítrico; estos valores se encuentran dentro del rango permitido de humedad.

5. Conclusiones y recomendaciones

Luego de realizados los estudios, se determinó que el método óptimo para el blanqueamiento de la nuez de macadamia fue el tratamiento 4, de ácido ascórbico al 0.3% por tres minutos, ya que este presentó el mayor valor de L*, correspondiente al color más blanco. El ácido ascórbico presenta una mayor capacidad captadora de radicales y bloquea la etapa de propagación de la autooxidación. Con el proceso de secado en el horno durante 4 horas a 60° C, se logró obtener el menor porcentaje de humedad para el Tratamiento 4, el cual se encuentra dentro de los rangos permitidos para humedad en la nuez de macadamia. Al aplicar la prueba de Friedman se pudo demostrar que no hay diferencia significativa entre los tratamientos de ácido cítrico, bicarbonato de sodio y ácido ascórbico en sus respectivas concentraciones, en el análisis sensorial en cuanto a sabor, olor y textura, es decir, que no existe influencia de los agentes de blanqueamiento en las propiedades sensoriales de la macadamia.

Bibliografía

- Aluisa, C. (2013). Proyecto de factibilidad para la exportación de nuez de macadamia natural a Miami, Estados Unidos. Facultad de Ciencias Económicas y Negocios. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/16504>
- Aulestia, X. (2010). Estudio de Factibilidad para la exportación de confites, elaborados a base de nuez de macadamia ecuatoriana hacia el mercado chileno. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Ibarra, Ecuador. dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/179/1/T72468.pdf.
- Anzaldúa Morales, A. (2005). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Zaragoza: Acribia. S.A.
- Barragán, R. (2012). *Métodos estadísticos aplicados al diseño de experimentos*, 2° edición. Quito, Ecuador.
- Barreiro, M., Sánchez, R., Ochoa, R., Rodríguez, F., Zavaleta, J., Ortega, C., (2010). *Macadamia, la nuez más fina del mundo*. Abriendo Surcos, 23.
- Canet, W., & Álvarez, M. (2000). *Aplicación de frío de los alimentos*. Congelación de los alimentos vegetales. Madrid, 206-251.

- Carvajal, J., Aristizábal, I., Oliveros, C., & Mejía, J. (2011). Colorimetría del Fruto del Café (*Coffea arabica* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Medellín 64 (2), 6229 - 6240.
- Catania, C., & Avagnina, S. (2007). El Análisis Sensorial. EEA Mendoza. INTA, 15.
- Comisión del Codex Alimentarius/FAO/OMS. (2016). Armonización de las disposiciones sobre aditivos alimentarios de normas para productos con las disposiciones pertinentes de la NGAA. Programa Conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias; Comité del Codex sobre aditivos alimentarios. Tema 4b del Programa. China.
- CODEX STAN 192. (1995). *Norma General del Codex para los Aditivos Alimentarios*. http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf
- George, D.P., Rigge, R.J., Williams, D.L., & Hansberry, R.D. (1999). Method for bleaching nuts. Patent US 5871800 A
- Erazo, E. (2006). Proyecto de prefactibilidad para la exportación de nuez de macadamia al mercado de Holanda período 2005-2014. Facultad de Ciencias Económicas y Negocios. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador. <http://repositorio.ute.edu.ec/browse?type=author&value=ERAZO+COLMACHI%2C+E+REN+DARIO>
- FAO. (2006). *Fichas Técnicas: Productos frescos y procesados*. http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/Pfrescos/MACADAMIA.HTM
- Fernández, S. (2012). *Toxicología de los Aditivos Alimentarios: Toxicología Alimentaria*. Madrid: Díaz de Santos, 454.
- Fórmula Estructural Ácido Cítrico. (23 de febrero del 2007). Wikimedia commons, Public domain. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c5/Zitronens%C3%A4ure_-_Citric_acid.svg
- George, D., Rigge, R., & Williams, D. (1999). *Patente nº 5,871,800*. United States.
- Gil, Á., & Ruiz, D. (2010). Tratado de Nutrición. E, *Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos*, Madrid: Panamericana, 201-202.
- Hernández, E. (2005). Evaluación Sensorial, 18-20. Bogotá DC.
- Hughes, C. (1987). *The Additives Guide*. Great Britain: Wiley.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1995). NTE INEN 1 233:95, Granos y cereales. Muestreo.
- Lavín, A., Lemus, G., Contreras, M., Negrón, C., & Orellana, A. (2001). Evaluación de nuevas alternativas de frutales de nuez y mejoramiento de la productividad en Nogal y calidad de la nueces en predios de pequeños productores de la V región. Curso Frutales de nuez no tradicionales: Macadamia, Pistacho, Pecano, Avellano Europeo , 5.
- Luna, J., & Guerrero, J. (2012). Evaluación de algunos índices Físico y Químicos de aceites extraídos de nuez pecanera, nuez de castilla y macadamia. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 35-36.
- Man, D. (2002). Caducidad de los alimentos. Zaragoza: Acribia S.A.
- Reyes, R., & Moreno, A. (2009). Proyecto para la industrialización de la macadamia y su influencia en el desarrollo de frutas no tradicionales en el Ecuador. Facultad de Ciencias Humanísticas y Económicas. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaqui, Ecuador. Recuperado el 20 de abril del 2013 de, <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6826>.
- Rodríguez Millán, P. S., Silva Ramírez, A. S. & Carrillo Inungaray, M. L. (2011). Caracterización fisicoquímica del aceite de nuez de macadamia (*Macadamia integrifolia*). *CyTA – Journal of Food*, 9:1, 58-64.

Uso de bentonita sódica como pretratamiento a la microfiltración tangencial de vino de mora de Castilla *Rubus glaucus* Benth

(Use of sodium bentonite as a pretreatment to the tangential microfiltration of Castilla's blackberry wine Rubus glaucus Benth)

Mariño Gabriel¹, Coronel Manuel¹, González Carlos¹, Elena Beltrán¹

Resumen:

Se estudió la influencia de técnicas de clarificación en vino de mora de Castilla *Rubus glaucus* Benth sobre su cromaticidad, turbidez y rendimientos del proceso. Inicialmente con la microfiltración tangencial (MFT) a tres diferentes presiones de trabajo (1.5, 2.0 y 2.5 bar) y complementariamente con el pretratamiento de la alimentación con bentonita sódica. La MFT a 1.5 bar obtuvo el mayor Factor de Retención Volumétrica (FRV) y el mejor rendimiento, estandarizando las condiciones de presión para la MFT con pretratamiento. En función del pH, en 9 gramos se estableció la cantidad óptima de floculante añadido a cada lote de vino, llevado a reposo a 6°C (6, 12 y 24 horas), obteniéndose 610 ± 38 g para la mayor proporción de turbios en el lote de 6 horas de reposo, producto de una mayor captación inestable por parte del clarificante. La MFT de los pretratamientos indica mejoras representativas de hasta 40% en el rendimiento. Todas las muestras analizadas de vino microfiltrado con y sin pretratamiento, lograron una turbidez menor a 2 NTU, lo cual cumple con el criterio de calidad de "tinto brillante", y se concluye que la MFT por separado y con pretratamiento, mejoran la calidad del producto, pero pueden provocar deterioros en el color.

Palabras clave: microfiltración tangencial; vino; mora de Castilla *Rubus glaucus* Benth; bentonita.

Abstract:

This research studied the influence of clarification techniques of Castilla's blackberry wine *Rubus glaucus* Benth on its chromaticity, turbidity and yields of the process. Initially, the tangential microfiltration (TMF) at three different working pressures (1.5, 2.0 and 2.5 bar) and then the treatment of the feed with sodium bentonite prior the filtration. The TMF at 1.5 bar obtained the highest Volume Reduction Factor (VRF) and the best performance, standardizing the pressure conditions for the TMF with pretreatment. According the pH, the optimum quantity of flocculant added to each batch of wine was established at 9 grams, carried to rest at 6 ° C (6, 12 and 24 hours), obtaining 610 ± 38 g for the highest proportion of turbid in the batch of 6 hours of rest, product of a greater unstable catch by the clarifier. The TMF of the pretreated batches indicated representative improvements in the yield, up to 40%. All the analyzed microfiltered wine samples with and without pretreatment achieved a turbidity less than 2 NTU, accomplishing with the quality criterion of "bright red", concluding that the TMF separately and with pretreatment improve the quality of the product, but they can cause color deterioration.

Keywords: crossflow; tangential microfiltration; wine; Castilla's blackberry *Rubus glaucus* Benth; bentonite.

¹ Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador ({mbga31291, manuel.coronel carlose.gonzalez, elena.beltran} @ute.edu.ec).

1. Introducción

La calidad, aceptación y preferencias de un vino, son atributos relacionados con estímulos percibidos por los sentidos del consumidor; son el color y la translucidez, las primeras características sometidas a valoración y simultáneamente adoptadas como indicadores del tipo, edad, procesos de elaboración y posibles defectos del producto (Coronel, 2010). Es indispensable la utilización de técnicas de clarificación como sedimentación espontánea, uso de aditivos, centrifugación o filtración, para reducir la cantidad de compuestos coloidales de alto peso molecular (taninos, pectinas y manoproteínas) conocidos como sólidos insolubles en suspensión (s.i.s.), “turbios” o “enturbiamientos”, responsables de causar una translucidez no deseada en el producto final (Arozarena, 2007)]. En etapas de reposo y a través de procedimientos inestables e insuficientes, se observa una tendencia de los vinos a clarificarse por la precipitación espontánea y natural de los s.i.s.; son necesarios prolongados períodos para que se adquiera la limpidez y estabilidad requerida por los estándares de calidad (Molina, 2000). Una clarificación “inducida”, es la incorporación de sustancias floculantes o “clarificantes” que reducen la carga de s.i.s. (generalmente de carga positiva), debido a la atracción electrostática de los enturbiamientos con el aditivo (carga negativa), lo cual forma un complejo, capaz de sedimentarse en etapas de reposo y ser separado por medios físicos, siempre y cuando exista un diferencial entre las densidades de la partícula y del medio líquido. Su alta capacidad de estabilización y adsorción de compuestos que afectan a la limpidez, hacen del uso de bentonitas una alternativa adecuada para procesos de clarificación (Arozarena, 2007; Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean, & Dubourdieu, 2006).

La Microfiltración tangencial (MFT) es un proceso de separación, generado por una fuerza motriz o impulsora (presión, concentración, potencial eléctrico, etc.) sobre un medio filtrante poroso semipermeable conocido como “membrana”, que favorece la transferencia o transporte de uno o más componentes y restringe el paso de otros a través de ella (permeabilidad selectiva), caracterizado por la dirección de flujo de sus corrientes. En función de la disposición de la membrana, el tránsito del volumen filtrado o de “permeado” (V_p) es tangencial y para el volumen de “alimentación” (V_a) sometido a filtración es paralelo, al igual que la corriente que no pudo superarla, conocida como “retenido” o concentrado (V_r) (Figura 1). La permeabilidad selectiva de la membrana está determinada por el tamaño de sus poros y para MFT se trabaja con diámetros que oscilan entre 0.1 a 10 μm . Los principales parámetros de operación, son mediciones y factores concernientes al tipo de membrana, tamaño de poro (permeabilidad selectiva), presión transmembrana (PTM), temperatura, volumen de alimentación y de permeado (Benítez, 2012; Laverde, 2010; Raventós, 2005).

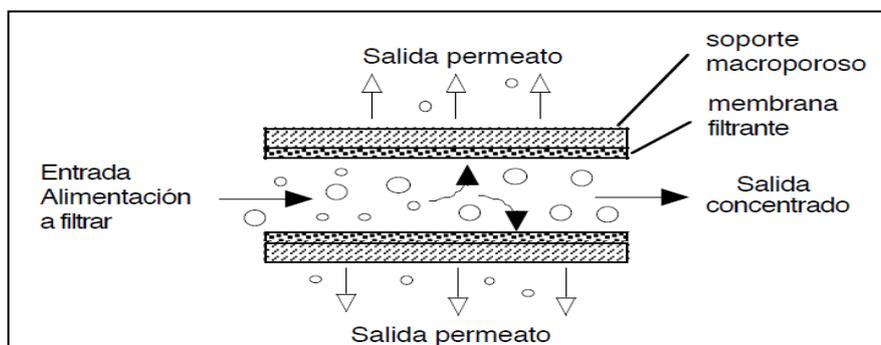


Figura 1. Esquema del principio de microfiltración tangencial

El flujo transmembrana o *flux* de permeado (J_p) es la expresión de capacidad del proceso, en función del volumen de permeado (V_p) que atraviesa la membrana por unidad de área (A_m) en transcurso del tiempo (dt) y limitada por la formación de un depósito irreversible de solutos sobre el medio filtrante, conocida como “colmatación” o ensuciamiento (Bacchin, Espinasse, & Aimar, 2005). La presión transmembrana (PTM) es la fuerza motriz necesaria para el transporte de soluto a través del medio filtrante, proporcional al flujo e inversamente proporcional al tamaño del poro. Se define como el promedio de la presión de entrada (P_e) y salida (P_s) al módulo de filtración tangencial, menos la presión del flujo de permeado (P_p) (Yacelga, 2007). El incremento de la PTM puede favorecer la colmatación irreversible de la membrana, lo cual provoca descensos pronunciados y no lineales del *flux*, es decir, el punto donde se superan las condiciones óptimas de filtración, conocidas como PTM y Flux críticos (Benítez, 2012; Laverde, 2010; Rodríguez, 2011; Yacelga, 2007). El factor de retención volumétrica (FRV) describe el efecto de concentración del volumen de Retenido (V_r) o el rechazo del medio filtrante respecto a un soluto presente en la Alimentación (V_a) (Montero, 2008; Yacelga, 2007). A su vez, como indicador de eficiencia industrial, el FRV nos permite calcular el rendimiento del proceso, entre el volumen de alimentación y de permeado (Montero, 2008).

El color de un vino es un indicador directo de calidad, químicamente ligado a los compuestos fenólicos presentes en las frutas, que permite evaluar las diferentes etapas de elaboración, estado de las materias primas, alteraciones, defectos, etc. (Olivero, 2006). La teoría del color es la unificación de métodos, medidas y escalas en condiciones estándar regidas por la CIE (Commission internationale de l'éclairage – “Comisión Internacional de la Iluminación”), para la obtención de resultados cualitativos, cuantitativos y comparables, con todo lo relacionado al fenómeno físico de la percepción visual de los colores y sus propiedades de “cromaticidad” (Tono, Saturación y Luminosidad) (Maldonado, 2005; Coronel, 2010; Vilavella, 1997).

La Turbidez, es la medida que se utiliza para describir la limpidez de un vino, en función de la cantidad de s.i.s., presentes y expresada en forma de unidades nefelométricas de turbidez (NTU), generalmente obtenidas por comparación con una suspensión de sílice. Como referencia para estas mediciones, se han desarrollado parámetros de turbidez que vinculan la lectura de NTU con el aspecto (Tabla 1). Un vino tinto de calidad o “brillante” es considerado cuando su turbidez es menor a 2 NTU y “turbio” cuando esta supera los 8 NTU (Vilavella, 1997).

Tabla 1. Comparación de turbidez (NTU) con el aspecto del vino

Aspecto del vino	Intervalo de turbidez (NTU)
Brillante	0.4 – 1.5
Claro	1.5 – 2.5
Velado	2.5 – 5.0
Opalescente	5.0 – 15
Turbio	> 15

(Vilavella, 1997)

2. Metodología

Para su desarrollo y análisis, el presente estudio fue separado en dos partes fundamentales. La primera para determinar a qué presión de trabajo se alcanzó el mayor rendimiento o FRV, de 3 microfiltraciones de vino de mora de Castilla *Rubus glaucus* Benth realizadas a 1.5, 2.0 y 2.5 bar, respectivamente, con la finalidad de fijarla como presión de operación óptima para la segunda fase, donde se realizó el tratamiento de la alimentación con bentonita sódica previo a la MFT a diferentes tiempos de reposo (6, 12, y 24 horas).

Elaboración de Vino de Mora de Castilla

Se elaboró vino de mora de Castilla *Rubus glaucus* Benth en un biorreactor de escala piloto, a partir de materia prima previamente caracterizada. En la *Figura 2*, se presentan las diferentes etapas del proceso.

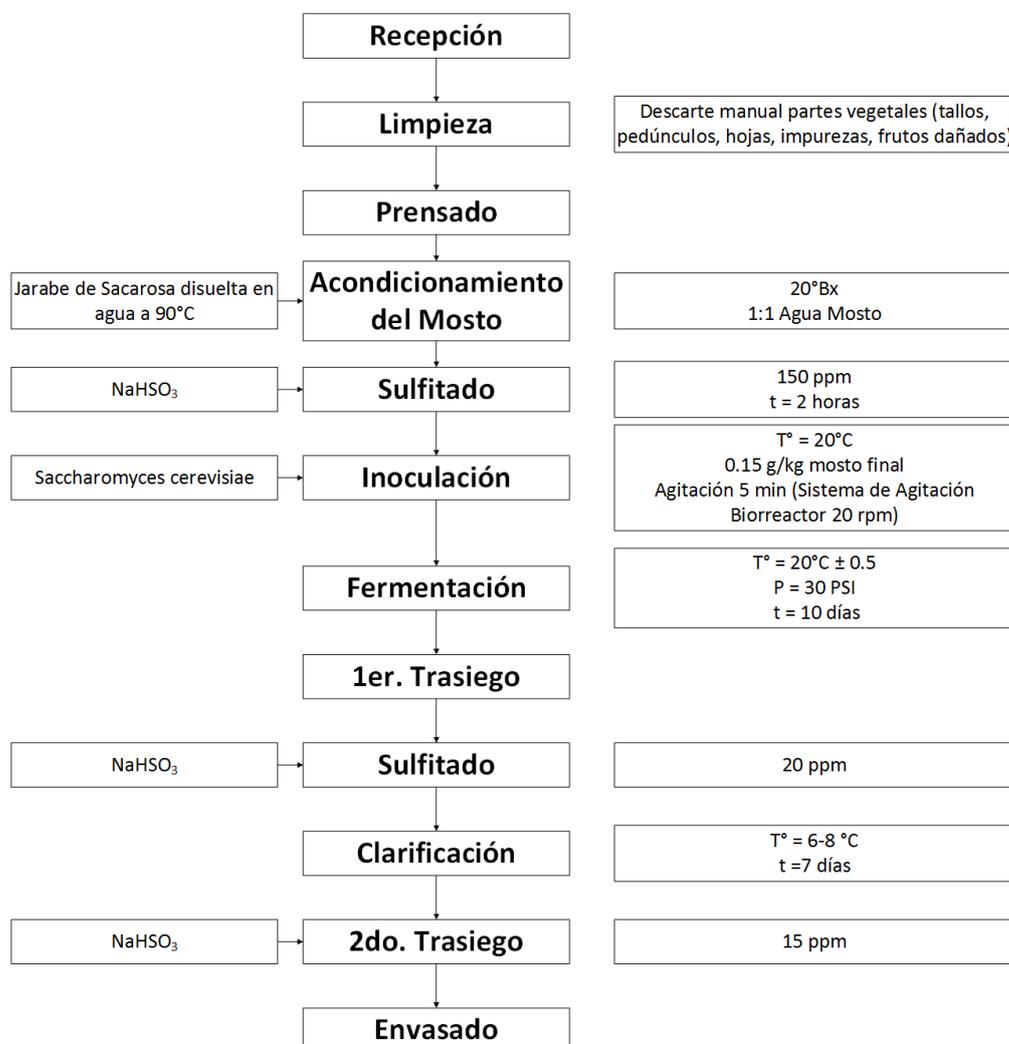


Figura 2. Proceso de elaboración de vino de mora de Castilla (Clarke, 2001)

Microfiltración Tangencial

En esta fase se utilizó un equipo de MFT de escala piloto (*Figura 3*), compuesto de un módulo de filtración (E-5) que posee en su interior a la membrana de cerámica marca Pal (USA) (108 cm de largo, superficie de filtración de 0.36 m², 19 canales, diámetro de poro de 0.45 μm de diámetro, resistente a 10 bar de presión y 95°C de temperatura máxima) recubierta por una carcasa de acero inoxidable AISI 310 y un sistema de refrigeración por chaqueta provisto de agua a temperatura ambiente (T≈18°C) (E-6), para mantener las propiedades físico-químicas de la alimentación, cuando su temperatura aumenta por la fricción generada con la membrana. Además, el equipo posee una bomba centrífuga (E-4), bomba de diafragma (capacidad de 8 bar) (E-3), unidad móvil de aire comprimido (E-1), sistema de control de presión (V-1), manómetros (I-1; I-2), termómetros(I-3), tuberías (AISI 310) y válvulas sanitarias (V-1; V-2; V-3). La capacidad volumétrica del equipo es de 6 L y de la membrana 1.5 L.

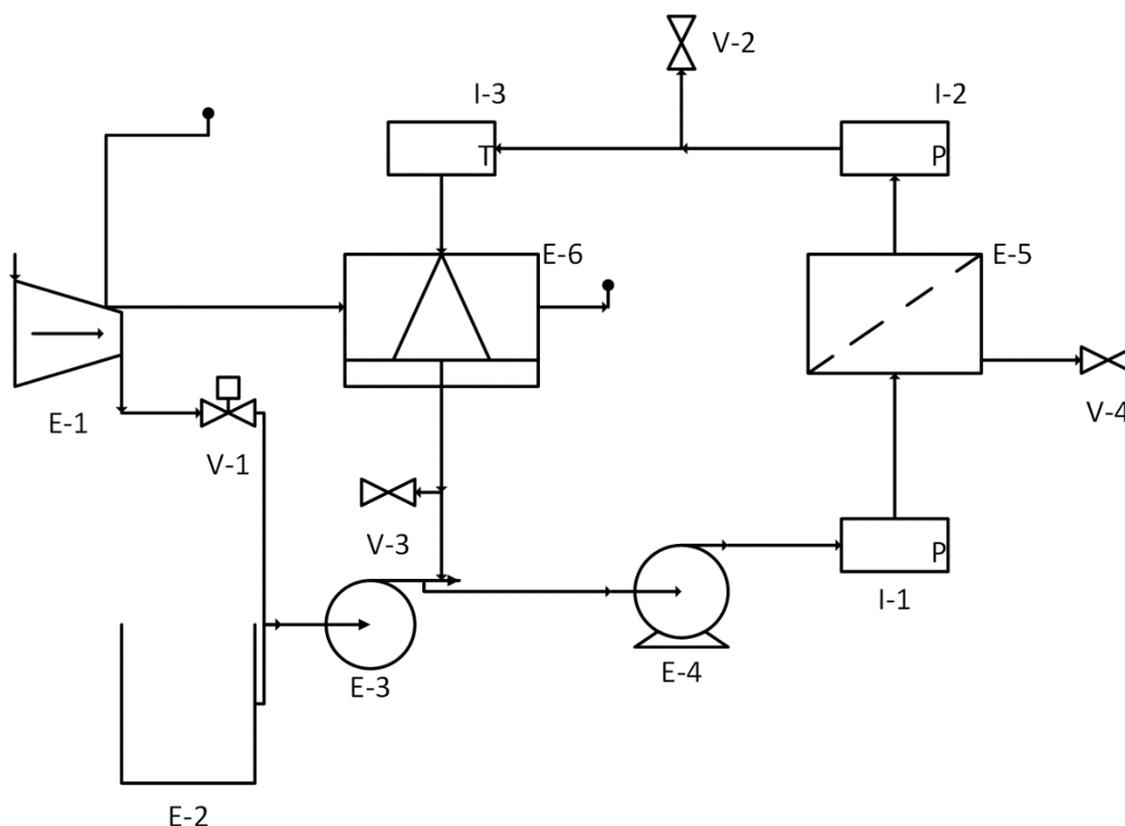


Figura 3.Esquema del equipo de microfiltración tangencial

Se siguieron los protocolos de uso y limpieza, para recuperar la permeabilidad inicial de la membrana en cada sesión; la primera parte del estudio realizó por duplicado la MFT de tres lotes de vino de mora de Castilla de 15 litros cada uno, a tres niveles de presión de trabajo (1.5, 2.0 y 2.5 bar) para determinar su respectivo FRV (5). Por comparación de dichas mediciones, la presión de operación correspondiente al valor mayor de FRV, fue establecida como la presión única de trabajo para la segunda etapa de la investigación.

Por separado y con su respectiva réplica, la segunda parte del estudio utilizó cuatro lotes de vino de mora de Castilla de 10L c/u, tres de ellos con una cantidad específica de bentonita añadida como tratamiento en función de su pH (*Tabla 2*) y el lote restante como testigo sin tratamiento. Para mejorar su disponibilidad y difusión, la bentonita previamente requirió ser hidratada bajo agitación de 10 minutos, a una relación de 1:7.5 partes de bentonita y agua, hasta la obtención de un gel estable. Cada lote fue trasladado a refrigeración a 6 °C y sometido a reposo de 6, 12 y 24 horas, respectivamente. Después del reposo de cada contenedor, se procedió a trasegar el vino para separar los turbios decantados en el fondo del recipiente por acción del floculante y como paso final su microfiltración.

Tabla 2.Cantidad de Bentonita Sódica en función del pH

Cantidad	pH
10g/hL	2,3
50 g/hL	3,0
200 g/hL	3,6

(Molina, 2000)

En cada uno de los procedimientos de MFT de la primera y segunda parte, se midieron los flujos y volúmenes de permeado, retenido y de alimentación (1), tiempo de

operación, presiones de entrada y salida del módulo de microfiltración, para respectivamente calcular Flujo Transmembrana J_p (2), PTM (3), FRV (4) y el rendimiento de la operación (5) de cada experimentación.

$$V_a = V_r + V_p \quad (1)$$

$$J_p = \frac{1}{A_m} \frac{V_p}{dt} \quad (2)$$

$$PTM = \frac{P_e + P_s}{2} - P_p \quad (3)$$

$$FRV = \frac{V_a}{V_r} = \frac{V_r + V_p}{V_r} = 1 + \frac{V_p}{V_r} \quad (4)$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{V_p}{V_a} = 1 - \frac{1}{FRV} \quad (5)$$

Medición del color

Espectrofotometría

Con un espectrofotómetro marca Thermo Scientific - Evolution 60S UV-Visible en modo de barrido o escaneo, se realizaron lecturas de absorbancias en un rango espectral de 380 a 780 nm, para cada muestra y por triplicado. Las mediciones obtenidas fueron analizadas mediante el modelo matemático de Glories (7) (8) (9) (10) (11), para determinar los parámetros cromáticos en vinos tintos de Intensidad Colorante (IC), Tono (T) y porcentajes de color amarillo, azul y rojo. (Ribéreau-Gayon et al., 2006)

$$IC = A_{420} + A_{520} + A_{620} \quad (7)$$

$$T = A_{420}/A_{520} \quad (8)$$

$$\% \text{ Amarillo} = (A_{420}/IC) * 100 \quad (9)$$

$$\% \text{ Rojo} = (A_{520}/IC) * 100 \quad (10)$$

$$\% \text{ Azul} = (A_{620}/IC) * 100 \quad (11)$$

Turbidez

Para la toma de las mediciones se empleó un Turbidímetro o Nefelómetro marca Hach 2100P (0 – 1000 NTU), capaz de determinar la intensidad de la luz dispersada a 90 grados, cuando un rayo de luz atraviesa una muestra de agua.

Diseño Experimental

El estudio de microfiltración de vino de mora de Castilla a diferentes presiones de trabajo con su respectiva réplica, utilizó un diseño unifactorial completamente al azar para comparar el proceso, empleando como variable dependiente al FRV e independientes a los tres niveles de presión de trabajo (1.5, 2.0 y 2.5 bar). De igual forma, la segunda parte del estudio y su réplica, utilizaron un diseño unifactorial completamente al azar para contrastar un pretratamiento de la alimentación a la MFT con bentonita sódica; se adoptaron como variables dependientes al FRV e independientes a los pretratamientos con floculante (PT): Sin Bentonita "SB" (testigo), Con Bentonita y reposo 6 horas "CB-6h", Con Bentonita y reposo 12 horas "CB-12h", Con Bentonita y reposo 24 horas "CB-24h". Los resultados y mediciones obtenidas de espectrofotometría y turbidez en todas las muestras,

fueron examinadas con un análisis de varianza simple “ANOVA”, a través de la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%, a partir de 5 determinaciones de cada muestra.

3. Resultados y Discusión

MFT de Vino de mora de Castilla a 3 niveles de presión.

Contrariamente a lo observado en la *Tabla 3*, donde el flujo transmembrana mayor se produce a la presión de 2.0 bar, su FRV es menor en relación con el más alto (1.5 bar con 1.71 de FRV). El proceso con mayor FRV, indicó la mayor proporción de retención de la membrana sobre los s.i.s de la alimentación (superiores a 0.45 μm) y simultáneamente permitió determinar la presión de operación única para la segunda etapa del estudio (1.5 bar), a partir de su respectiva dependiente. Existe una relación inversamente proporcional entre el FRV y el flujo transmembrana, producto de la permeabilidad selectiva y sobre todo por el incremento de la presión transmembrana por encima del punto crítico que aumenta la velocidad de crecimiento de la torta de filtración y tapona la membrana, perjudicando al *flux* (Cabrera & Perlera, 2009; Chacón, 2005; Mendoza, 2010). Es necesario indicar que el volumen inicial de cada lote era 15 litros, pero solo se tomó como volumen real de alimentación a aquel que ingresó en el equipo hasta que el flujo transmembrana se estabilizó (5 mediciones iguales), es decir, cuando la membrana se colmató, cuando se obtuvieron 12 ± 0.245 , 10.5 ± 0.393 y 9.7 ± 0.154 litros para 1.5, 2.0 y 2.5 bar de presión de trabajo, respectivamente.

Tabla 3. Parámetros de MFT de Vino de Mora de Castilla a 3 niveles de presión

Presión de trabajo (bar)	(PTM) (bar)	JP ^{inicial} (l/h*m ²)	JP ^{final} (l/h*m ²)	FRV	Rendimiento
1.50	1.41 \pm 0.08	39.44 \pm 0.35	5.14 \pm 0.09	1.71 \pm 0.08	41.67% \pm 0.02
2.00	2.00 \pm 0.15	58.68 \pm 0.56	10.5 \pm 0.55	1.62 \pm 0.03	38.1% \pm 0.14
2.50	2.33 \pm 0.08	45.58 \pm 0.45	9.26 \pm 0.40	1.45 \pm 0.07	30.93% \pm 0.13

El comportamiento característico de una curva de Microfiltración para fluidos biológicos como el vino, es descrito por un descenso pronunciado y progresivo del flujo transmembrana, hasta alcanzar la estabilidad en un intervalo de tiempo (Mendoza, 2010), generado por los efectos de la polarización de los solutos y colmatación de la membrana. En la *Figura 4*, se observan comportamientos semejantes entre las microfiltraciones de cada presión, diferenciándose por los *flux* iniciales, pero con asíntotas similares al momento del ensuciamiento. Las variaciones de presión en MFT producen cambios en el FRV y flujos permeados, pero no significativamente en el grado de colmatación, cuando referenciamos el mismo tipo de alimentación (Mendoza, 2010).

Pretratamiento con Bentonita Sódica

La cantidad de bentonita aplicada en función del pH del vino (3.21) (*Figura 5*), se determinó en 9 g de bentonita por cada 10 litros (volumen de cada lote), a partir de la interpolación de los datos de la *Tabla 2*.

Por acción del floculante y separados por un proceso de trasiego, se obtuvieron 0.610 ± 0.038 kg, 0.491 ± 0.013 kg y 0.307 ± 0.064 kg de s.i.s de los tratamientos de 6, 12 y 24 horas de reposo, respectivamente, observándose un descenso marcado del 20 y 50 % en relación con el primero. Las bentonitas para clarificación de vinos remueven los compuestos de acuerdo con su punto isoeléctrico (pI) sin afectar las características organolépticas del producto, formando enlaces electroestáticos estables entre las sustancias que tengan el pI cercano o similar al de la bentonita (8.5 – 10), pero perdiendo firmeza por el transcurso del tiempo o por cambios en el diferencial entre los puntos isoeléctricos (Olivero, 2006). Las proteínas son elementos presentes en el vino que

producen mayor formación de enturbiamientos, potencialmente removidas con la adición de bentonita, porque poseen un pI entre 5.8 a 8 y forman enlaces firmes, a diferencia de los taninos y antocianinas (compuestos responsables del color), que crean enlaces menos estables, fácilmente descompuestos en sus elementos originales.

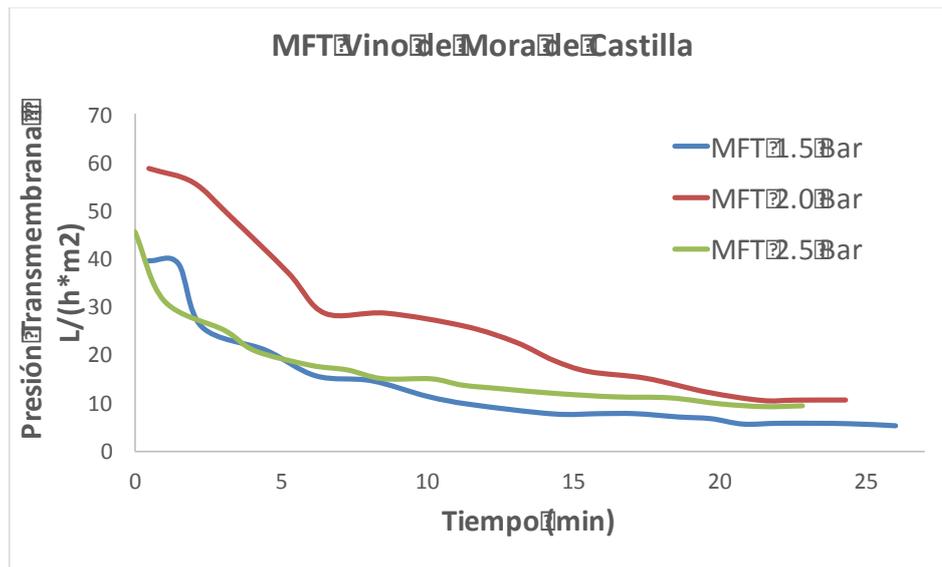


Figura 4. MFT de Vino de Mora de Castilla a 3 niveles de presión

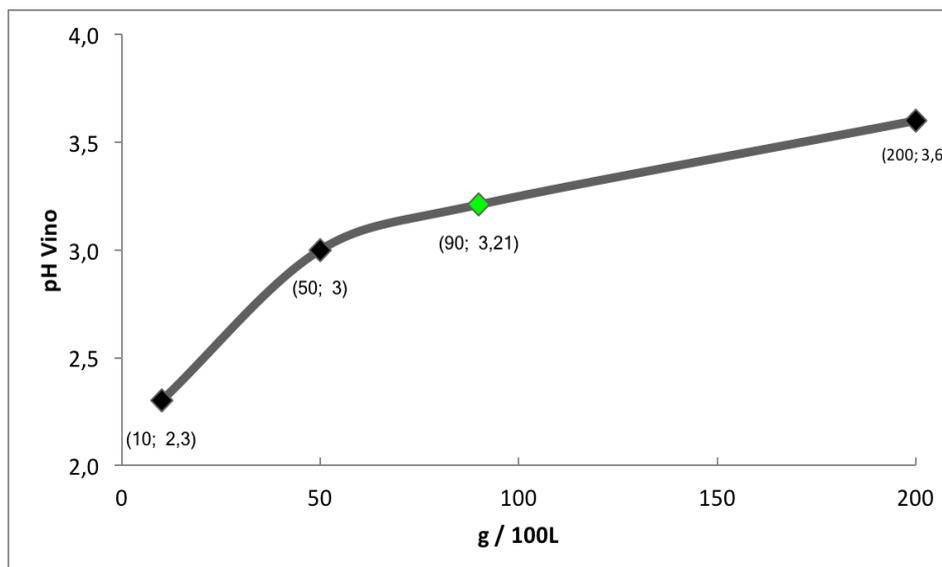


Figura 5. Cantidad de Bentonita en función del pH

Microfiltración Tangencial de vino de Castilla con pretratamiento de bentonita sódica

A partir de la MFT de 9.00 ± 0.11 ; 9.00 ± 0.05 ; 9.00 ± 0.19 y 9.50 ± 0.20 litros de alimentación para “SB”, “CB-6h”, “CB-12h”, “CB-24h”, correspondientemente, se obtuvieron los *flux* iniciales en los diferentes procedimientos y se concluyó que la bentonita como pretratamiento influye y mejora el proceso, en comparación con la MFT sin pretratamiento (*Tabla 4*), lo cual provoca aumentos generalizados en el FRV, porcentajes de rendimiento y flujo transmembrana. La remoción de s.i.s., después del reposo de los lotes de vino con bentonita, aumentó el rendimiento de la MFT de hasta un 11.77 % y 18.84% del FRV en el pretratamiento “CB-6h”, originado por una mayor agrupación de varios compuestos en forma inestable que fueron removidos en el trasiego, sin embargo,

se pudo observar una disminución cuando el tiempo aumenta (“CB-12h” y “CB-24h”), producida una floculación parcializada con las proteínas (estabilización proteica). Las partículas de bentonita hidratada poseen una red electronegativa, capaz de mantener enlaces firmes con proteínas (carga positiva) y en menor grado por su mayor diferencial en el potencial con otros compuestos (polifenoles, antocianinas, etc.), pero ambos afectados por el transcurso del tiempo (Cabrera et al., 2009).

Tabla 4. Parámetros de MFT de Vino de Mora con pretratamiento de bentonita sódica

PT	Presión de trabajo (bar)	PTM (bar)	JP _{inicial} (l/h*m ²)	JP _{final} (l/h*m ²)	FRV	Rendimiento
SB	1.50	1.41 ± 0.01	32.1 ± 0.09	6.35 ± 0.9	1.38 ± 0.01	27.78% ± 0.31
CB-6h	1.50	1.44 ± 0.10	61.3 ± 0.06	11.13 ± 0.73	1.64 ± 0.06	38.89% ± 0.32
CB-12h	1.50	1.38 ± 0.12	67.5 ± 0.79	12.81 ± 0.59	1.5 ± 0.08	33.33% ± 0.23
CB-24h	1.50	1.45 ± 0.17	102.1 ± 0.68	20.69 ± 0.71	1.45 ± 0.05	31.05% ± 0.15

Para el caso de los vinos, donde la filtración tangencial por membranas no es totalmente efectiva sobre algunas partículas inestables capaces de originar nuevos enturbiamientos, se genera la necesidad de procesos previos de clarificación mediante la adición de sustancias floculantes y posteriormente provocar aumentos en el rendimiento, disminuir costos de producción, reducir la colmatación, mejorar estabilidad y calidad sensorial del producto (Molina, 2000). La *Figura 6*, describe el aumento significativo de los flujos transmembrana mínimos y máximos de las MFT con pretratamiento en relación con el testigo, observándose un incremento de los *flux* iniciales desde 91 a 318 % y también para la zona de colmatación entre un 75 a 326 %. Los complejos formados entre bentonita, proteína y otros compuestos, fueron removidos en el trasiego previo a la filtración, lo cual redujo la cantidad de s.i.s., de la alimentación y su consecuente aumento en el rendimiento del proceso.

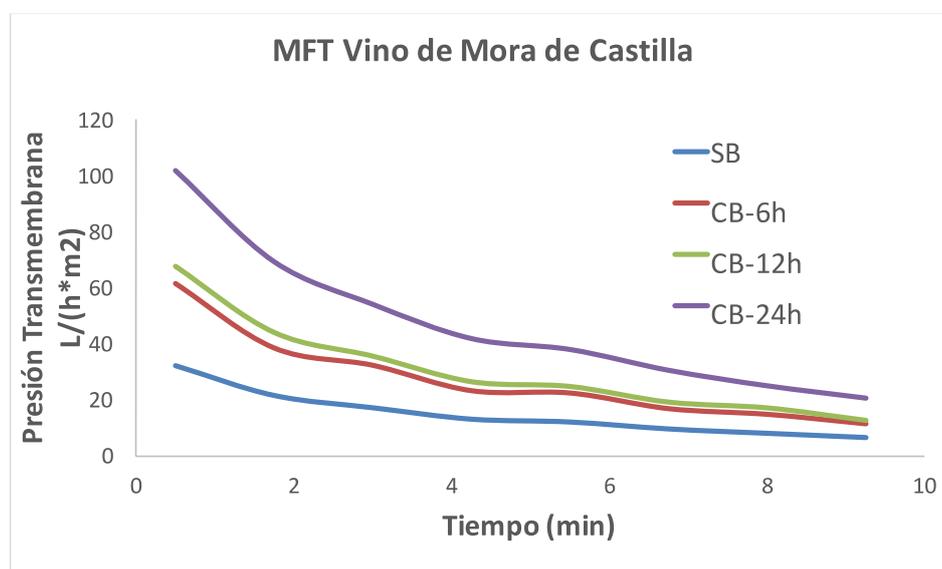


Figura 6. MFT de Vino de Mora con pretratamiento y muestra testigo

Análisis de color

Método Glories

En la *Figura 7* se representa el análisis de color para muestras microfiltradas a 3 diferentes presiones de trabajo, por medio de espectrofotometría con sus respectivos promedios de absorbancias. Se comprobó que las cuatro muestras tienen su pico máximo entre 515 y 520 nm, lo cual describe una indirecta y cualitativa composición fenólica con

presencia de antocianinas, responsables del color característico de los vinos tintos. Por otra parte visualmente imperceptible, se determinó un decrecimiento representativo de la absorbancia por efecto de la colmatación de la membrana, cuando la presión de operación supera las condiciones críticas de flujo transmembrana, lo cual evidencia una mayor retención de compuestos de color. La retención de antocianinas en MFT en ciertas condiciones puede ser nula, pero puede ser afectada por una colmatación irreversible o porque fueron atrapadas por algún tipo de s.i.s., que no sobrepasarán el medio filtrante (Peri, Riva, & Decio, 1988).

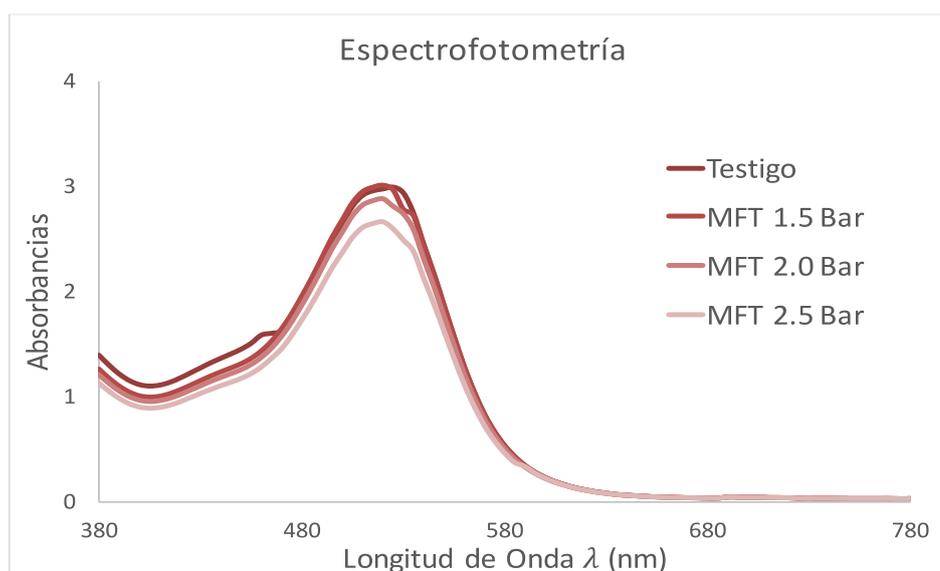


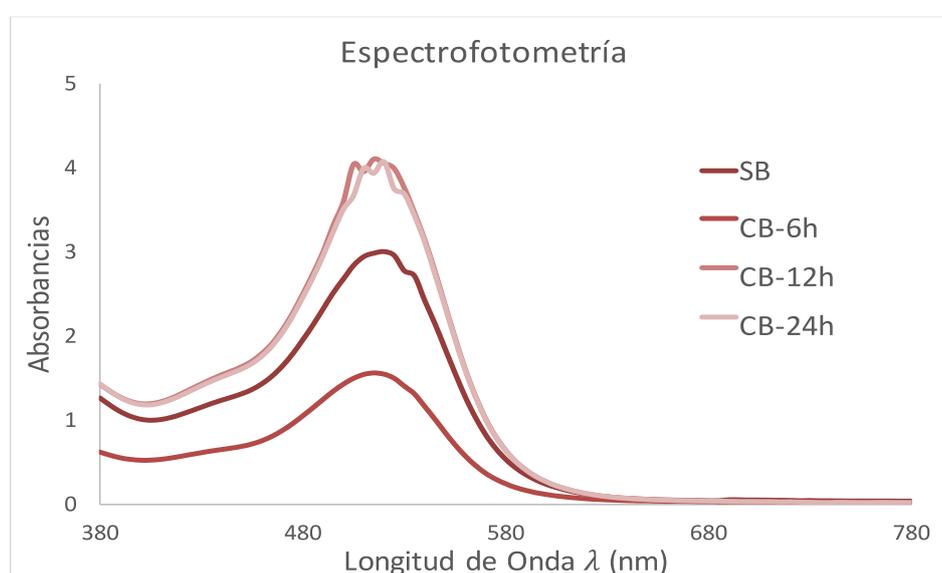
Figura 7. Espectrofotometría de MFT a diferentes niveles de PTM

El método Glories para análisis de color en muestras de vino microfiltrado a tres diferentes niveles de presión de trabajo (*Tabla 5*), presenta las características cromáticas de Intensidad Colorante (7) y Tono (8), con sus respectivos porcentajes de amarillo (9), rojo (10) y azul (11). La detención de compuestos responsables de color en la MFT no afectó al tono de las muestras, pero ejerció una influencia significativa sobre las absorbancias a 420 y 520nm, lo cual estableció grupos heterogéneos sobre la IC de las muestras, es decir, la filtración altera la saturación del color, principalmente al porcentaje de azul. Una desventaja de la microfiltración de vinos es la colmatación irreversible, reflejada en la retención de proteínas y fenoles como antocianinas, capaces de taponar la membrana y originar reducciones en la tasa de *flux* y deterioros en el color (Mendoza, 2010; Ribéreau-Gayon, et al., 2006).

En la espectrofotometría de las muestras microfiltradas con pretratamiento de bentonita (*Figura 8*), se observó que el valor máximo de absorbancia de cada muestra permanece entre 515 y 520 nm, sin desplazamientos provocados por efecto de la bentonita o por la MFT, no obstante, se pudo determinar que el pretratamiento afectó el nivel de absorbancia en dichas longitudes de onda, y presentó a "SB" (b) y "CB-6h" (a) como grupos heterogéneos y a "CB-12h" (c) con "CB-24h" (c) como homogéneos, lo cual describió una desagregación considerable de los compuestos responsables de color procedentes de los complejos formados con el floculante, cuando se incrementa el tiempo de reposo. Indirectamente los complejos formados de proteína y bentonita pueden unirse con antocianinas y generar pérdidas de color (Gómez, Gil, López, M. De La Hera, & Martínez, 2000).

Tabla 5. Método Glories para la MFT a 3 niveles de presión

Presión	Testigo	1.5 bar	2.0 bar	2.5 bar
$\lambda = 420 \text{ nm}$	1.18 ± 0.00^d	1.06 ± 0.02^c	1.02 ± 0.00^b	0.95 ± 0.01^a
$\lambda = 520 \text{ nm}$	2.97 ± 0.00^c	3.00 ± 0.05^c	2.87 ± 0.01^b	2.66 ± 0.02^a
$\lambda = 620 \text{ nm}$	0.11 ± 0.00^b	0.11 ± 0.00^b	0.11 ± 0.00^a	0.11 ± 0.00^{ab}
IC	4.26 ± 0.00^c	4.17 ± 0.07^c	3.99 ± 0.02^b	3.73 ± 0.03^a
Tono (T)	0.40 ± 0.00^a	0.35 ± 0.00^a	0.35 ± 0.00^a	0.36 ± 0.00^a
% Amarillo	27.61 ± 0.00^a	25.45 ± 0.00^a	25.45 ± 0.00^a	25.57 ± 0.00^a
% Rojo	69.71 ± 0.00^a	71.82 ± 0.00^a	71.83 ± 0.00^a	71.45 ± 0.00^a
% Azul	2.68 ± 0.00^a	2.73 ± 0.00^c	2.73 ± 0.00^b	2.98 ± 0.00^d

**Figura 8.** Espectrofotometría de Pretratamientos

En la *Tabla 6*, se exhiben los parámetros cromáticos calculados a través del método Glories, para muestras microfiltradas con pretratamiento de bentonita. El cambio considerable pero imperceptible a la vista de las absorbancias a 420 y 520 nm, provocaron variaciones sobre los porcentajes de azul, rojo y amarillo, con un consecuente cambio del Tono para las muestras de 12 y 24 horas de reposo. La Intensidad Colorante presentó mayores diferencias significativas en comparación con la muestra testigo, alcanzando una mayor reducción para "CB-6h" de 48%, dependiente de una gran cantidad de complejos inestables formados entre los s.i.s., con la bentonita y a su vez con los compuestos responsables de color, pero, cuando sus enlaces pierden fuerza por paso del tiempo, únicamente se observará una interacción con los s.i.s., que serán removidos mediante procesos físicos después del reposo y permitirán que la absorbancia se incremente en la muestra, debido a que el paso de la luz en su presencia es obstaculizado en mayor proporción. La adición de clarificantes en la elaboración de vinos, disminuyen la intensidad colorante sin generar cambios significativos en el tono del producto (Gómez et al., 2000).

Turbidez

El vino de mora de Castilla clasificado como tinto (rojo rubí), utiliza la categoría de "tinto brillante" (turbidez ≤ 2 NTU), como criterio de calidad comercial (*Tabla 2*) (Vilavella, 1997)]. En las muestras microfiltradas se observó una reducción progresiva y significativa

de la turbidez de hasta un 98% (*Tabla 7*) y se alcanzaron los parámetros de calidad para todas ellas, pero con una heterogeneidad individual, producto de una mayor retención de solutos en la MFT a presiones que sobrepasan el flujo transmembrana crítico. La MFT permite obtener productos de alta estabilidad microbiológica, organoléptica y de limpidez (inferior a 1 NTU).

Tabla 6. Método Glories para la MFT de los diferentes pretratamientos

PT	SB	CB-6h	CB-12h	CB-24h
$\lambda = 420 \text{ nm}$	1.06 ± 0.017^b	0.56 ± 0.009^a	1.31 ± 0.006^c	1.28 ± 0.005^c
$\lambda = 520 \text{ nm}$	2.99 ± 0.036^b	1.53 ± 0.014^a	4.05 ± 0.147^c	4.05 ± 0.194^c
$\lambda = 620 \text{ nm}$	0.11 ± 0.007^b	0.06 ± 0.007^a	0.12 ± 0.004^b	0.12 ± 0.007^b
IC	4.17 ± 0.058^b	2.16 ± 0.029^a	5.48 ± 0.151^c	5.46 ± 0.187^c
Tono (T)	0.35 ± 0.003^b	0.36 ± 0.003^b	0.32 ± 0.012^a	0.31 ± 0.016^a
% Amarillo	25.4 ± 0.135^b	26.1 ± 0.100^b	23.9 ± 0.673^a	23.5 ± 0.886^a
% Rojo	71.8 ± 0.260^a	70.7 ± 0.388^a	73.8 ± 0.680^b	74.1 ± 1.002^b
% Azul	2.73 ± 0.140^{bc}	3.06 ± 0.290^c	2.25 ± 0.034^a	2.26 ± 0.166^{ab}

Tabla 7. Turbidez de MFT a tres niveles de presión

Tratamiento	Turbidez (NTU)
Vino de Mora sin microfiltrar (testigo)	63.470 ± 1.340^a
Vino microfiltrado (1,5 bar)	1.420 ± 0.050^b
Vino microfiltrado (2,0 bar)	1.240 ± 0.020^c
Vino microfiltrado (2,5 bar)	0.720 ± 0.020^d

Al aplicar bentonita sódica como pretratamiento al proceso de microfiltración, existe una evolución positiva sobre la turbidez de todas las muestras microfiltradas, observándose una reducción del 45, 43 y 39% en comparación con el testigo, respectivamente; esto permitió considerarlas en la categoría de vino "tinto brillante" (*Tabla 8*). Sin embargo, el aumento del tiempo de reposo (6, 12 y 24 horas), proporcionalmente incrementó la turbidez con diferencias significativas entre las muestras, debido a que la interacción electroestática de bentonita con los s.i.s pierde fuerza y desagrega progresivamente los complejos formados en sus compuestos originales. Un vino clarificado con bentonita puede alcanzar 9 NTU y otro por MFT de 4 a 1 NTU, lo cual proporciona al proceso dos técnicas efectivas para mejorar considerablemente la turbidez (Vilavella, 1997).

Tabla 8. Turbidez de MFT de pretratamientos con bentonita sódica

Pretratamiento	Turbidez (NTU)
SB	$1,413 \pm 0,005^d$
CB-6h	$0,776 \pm 0,005^a$
CB-12h	$0,803 \pm 0,005^b$
CB-24h	$0,863 \pm 0,005^c$

4. Conclusiones y recomendaciones

La microfiltración bajo condiciones críticas de operación y de PTM, es decir, donde la colmatación es reversible y no se reducen las tasas de flujo transmembrana, hacen de esta tecnología una herramienta óptima para la clarificación de vinos; se conservan

nutrientes, se concentran los componentes, se mantienen las características organolépticas o se mejora la estabilidad.

La adición de bentonita mejoró considerablemente el proceso sin afectar al Tono; se removieron compuestos que no podrían ser removidos con facilidad en la microfiltración y a su vez taponarían los poros de la membrana con mayor facilidad.

El tiempo de reposo óptimo de bentonita con vino como pretratamiento, deberá superar las 12 horas, para provocar solo una estabilización proteica y no afectar las características cromáticas del vino, caso contrario se están removiendo compuestos responsables de color.

La microfiltración por separado y paralelamente con un pretratamiento del vino con bentonita sódica, contribuyeron significativamente en la reducción de la turbidez, porque disminuyen considerablemente la concentración de s.i.s., a niveles bajos, mejoran el rendimiento de la MFT y alcanzan los requisitos de calidad.

Se recomienda estudiar la influencia de este tipo de tratamientos de clarificación sobre la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles totales.

Bibliografía

- Arozarena, I. (2007). Memorias del Curso Tecnología para la elaboración de vinos de frutas. Ambato: Universidad Pública de Navarra.
- Bacchin, P., Espinasse, B., & Aimar, P. (2005). Distributions of critical flux: Modelling, experimental analysis and consequences for cross-flow membrane filtration. *Journal of Membrane Science*, 223-234.
- Benítez, A. J. (2012). *Estudio en planta piloto de la aplicación de la tecnología de membranas para el tratamiento anaerobio de Aguas Residuales Urbanas. Estudio de las Condiciones Críticas de Filtración*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Brito, B., L, P., Vera, E., & Vaillant, F. (2010). *Estudio de las Condiciones Óptimas de Operación para la Obtención de Jugo Clarificado de Granadilla (Passiflora Ligularis L .) a través de la Microfiltración Tangencial*. Quito: INIAP.
- Cabrera, L., & Perlera, A. (2009). *Evaluación de la capacidad de clarificación de la arcilla de la zona de texistepeque, en vino obtenido a partir de hibiscus sabdariffa (flor de jamaica) .* San Salvador: Universidad de El Salvador.
- Chacón, A. V. (2005). Tecnologías de membranas en la agroindustria láctea. *Agronomía Mesoamericana*, 243-264.
- Clarke, O. (2001). *Introducción al Vino*. Barcelona: NATURART, S.A.
- Coronel, M. A. (2010). *Estandarización y Optimización de Procesos de Vino de Mora de Castilla (Rubus glaucus Benth)*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- González, I. A. (2010). *Caracterización Química del Color de Diferentes Variedades de Guayaba (Psidium Guajava L.) Colombiana*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Gómez, E., Gil, R., López, J., M. De La Hera, M., & Martínez, A. (2000). Effect of the Addition of Bentonite and Polyvinylpolypyrrolidone on the Colour and Long-term Stability of Red Wines. *Journal of Wine Research*, 11(3), 223-231.
- Laverde, J. L. (2010). *Estudio de las Condiciones Óptimas para la obtención de Jugo Clarificado de Arazá (Eugenia Stipitata), Mediante Procesos Enzimático y Membranario*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

- Maldonado, F. (2005). *Optimización del Proceso de Teñido de Telas*. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes.
- Mendoza, J. H. (2010). *Uso de la Tecnología de Membranas en la Clarificación de Vinos*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Molina, R. (2000). *Teoría de la clarificación de mostos y vinos y sus aplicaciones prácticas*. Madrid: AMV- Mundi Prensa.
- Montero, M. (2008). *Estudio del proceso para la elaboración de jugo clarificado de mora por microfiltración tangencial*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Olivero, R. E. (2006). *Optimización del Proceso de Clarificación en la Elaboración de Vino de Naranja Criolla (Citrus sinensis)*. Mayagüez: Universidad de Puerto Rico.
- Pérez, S. M., & San José, L. G. (2006). Relationships among colorimetric parameters of rosé wines evaluated by different methods. *Journal of Wine Research*, 17(1), 35-43.
- Peri, C., Riva, M., & Decio, P. (1988). Crossflow Membrane Filtration of Wines: Comparison of Performance of Ultrafiltration, Microfiltration, and Intermediate Cut-Off Membranes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 39(2), 162-168.
- Raventós, M. (2005). *Industria alimentaria. Tecnologías emergentes*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2006). *Handbook of Enology, The Chemistry of Wine: Stabilization and Treatments: Second Edition*. WILEY.
- Rodríguez, P. (2011). *Composición química y perfil sensorial de vinos de crianza de la D.O. Jumilla*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Vilavella, M. (1997). *La filtración tangencial en el tratamiento de vinos*. Lleida: Escola Técnica Superior D'enginyeria Agraria Universitat de Lleida.
- Yacelga, N. P. (2007). *Obtención de jugo clarificado de mora (rubus glaucus benth) mediante Microfiltración tangencial*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Evaluación física, química y microbiológica del ensilaje de yuca con caupí y cultivo microbiano

(Physical, chemical and microbiological evaluation of cassava silage with cowpea and microbial culture)

JE Miranda-Yuquilema¹, A Marin-Cárdenas², M González-Pérez³, D Sánchez-Macías⁴

Resumen:

El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios físicos, químicos, microbiológicos, fibrosos y del ácido láctico del ensilaje de yuca con caupí y cultivo microbiano. Se utilizaron 50 kg de yuca integral (raíz, tallo, hojas), 20 kg de harina de caupí y 4 L de cultivo microbiano que contenía *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus* y *Klyumyces fragilis* (L-4 UCLV). Las variantes evaluadas fueron: yuca integral (Y100), yuca integral más 20% caupí (Y+C), yuca integral más 20% caupí y 8% biopreparado (Y+C+BP). El material ensilado se conservó en frascos de cristal estériles con boca ancha. Se utilizó un diseño completamente aleatorio. Se evaluaron las características fisicoquímicas, fibrosas, microbiológicas y de ácido láctico. Durante 18 meses, los contenidos de materia seca, proteína cruda y verdadera, ácido láctico y la viabilidad microbiana fue mayor ($P < 0.05$) en el tratamiento Y+C+BP a partir de los dos meses hasta el final. La fibrosidad y el pH del ensilaje fue menor ($P < 0.05$) al final del estudio en el tratamiento Y+C+BP. Se concluye que con la inclusión del cultivo microbiano en el ensilaje de yuca con caupí se logra conservar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas por 18 meses; asimismo, los valores de la materia seca, proteína cruda y verdadera y ácido láctico se mejoran.

Palabras clave: ensilado; cultivo microbiano; caupí; yuca.

Abstract:

The aim of this work was to evaluate the physical, microbiological, fibrous and lactic acid changes of cassava silage with cowpea used on biological mix. Fifty kg whole cassava (root, stem and leaves), 20 kg of cowpea flour and 4 L of microbial culture containing *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus* and *Klyumyces fragilis* (L-4 UCLV) were used. The evaluated treatments were: Y100 integral cassava (Y100), integral cassava more 20% cowpea (Y+C), and integral cassava more 20% cowpeas and 8% of microbial culture (Y+C+BP). The ensiled material was preserved in sterile glass bottles with wide mouth. A completely randomized design was used. The physicochemical, microbiological, fibrous and lactic acid characteristics were evaluated. For 18 months, the dry matter, crude and true protein, lactic acid contents and the microbial viability was higher ($P < 0.05$) in Y+C+BP treatments from 2 to 18 months. The fibrosity and the pH of the silage was also lower ($P < 0.05$) at the end of the study in this treatment Y+C+BP. It is concluded that with the inclusion of the microbial mix in the cassava silage with cowpea, it is possible to preserve the physicochemical and microbiological properties for 18 months, as well as the values of dry matter, crude and true protein, and lactic acid contents were improved.

Keywords: silage; microbial culture; cassava; cowpea.

¹ Instituto de Fomento a Talento Humano, SENESCYT, Ecuador (efra_miranda@outlook.com)

² Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara – Cuba

³ Centro de Investigación Agropecuarias (CIAP-UCLV), Santa Clara – Cuba

⁴ Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba – Ecuador

1. Introducción

La producción y conservación de los tubérculos, granos, frutales y forrajes es clave en muchas regiones del mundo, sobre todo en los países en vía de desarrollo, para paliar los desafíos actuales que atraviesa el planeta. En tal sentido, se hace apremiante la búsqueda de soluciones y alternativas que logren dar respuesta a las necesidades básicas en la producción animal (Hoffman *et al.*, 2011). Un método económico y de fácil acceso es el ensilaje, el cual permite conservar productos de rápido deterioro. A su vez, permite aumentar los valores biológicos en los productos obtenidos mediante estas técnicas (Danelon *et al.*, 2010). En las últimas décadas se ha dado lugar el desarrollo de ensilaje con fines de obtener productos en mayores cantidades y con alto valor biológico durante la conservación (Fernández *et al.*, 2013) al reducir la pérdida de nutrientes por rápido deterioro y compensar los costos de producción (Miranda *et al.*, 2014; Ali *et al.*, 2014). El aumento continuo de costos de los alimentos balanceados para animales, en la mayoría de los casos llegando a superar el 80% del costo total de producción (Heguy *et al.*, 2016), ha limitado su uso y minimizado las utilidades para el pequeño y mediano productor.

No obstante, el uso de la planta entera de yuca (hoja, tallo y raíz) mezclada con harina de caupí, a lo cual se adicionan cultivos microbiológicos, pudiera resultar eficiente y económico para obtener ensilajes para la alimentación animal. En este sentido, se ha encontrado en la literatura estudios que utilizan técnicas de ensilaje como un medio idóneo para conservar el contenido nutritivo de los forrajes, tubérculos, granos y frutos (alfalfa, hojas de maíz, sorgo, plátano, yuca, patatas, frijoles forrajeros, pastos, entre otros) (Heguy *et al.*, 2012; Spanghero *et al.*, 2015).

A base de lo anterior, los alimentos alternativos han sido evaluados y utilizados para diferentes especies animales con resultados positivos. Un ejemplo de esto es el aumento de peso y ganancia media diaria de peso de cerdos en la etapa ceba (Kung *et al.*, 2015). En las vacas y cabras lecheras se ha visto mejorar la producción de leche (Danelon *et al.*, 2010; Guglielmo *et al.*, 2015). Unido a esto, Ali *et al.* (2014), al incluir 50% de ensilaje con enzimas celulolíticas en pruebas “*in situ*”, observaron mejorar la degradación de alimentos fibrosos. Asimismo, Miranda *et al.* (2014) reportaron extender el tiempo de conservación sin afectar al contenido nutritivo y con reducción de las partes fibrosas de la yuca al inocular cultivo mixto de bacterias ácido lácticas y levaduras. De igual manera, Hoffman *et al.* (2011), Dadvar *et al.* (2013) y Lynch *et al.* (2014), con el uso de un cultivo mixto se lograron controlar el crecimiento de microorganismos toxigénicos como *Clostridium*, *S. aureus*, *C. botulinum*, *Salmonella sp.* y *Listeria monocytogenes*, así como de los microorganismos asociados al deterioro directo del alimento. Si se tiene en cuenta todo lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar los cambios físicos, químicos, microbiológicos, fibrosos y ácido láctico del ensilaje de yuca con caupí al emplear cultivo microbiano, durante 18 meses de conservación.

2. Materiales y Métodos

Área de estudio: el estudio se realizó en el laboratorio de bromatología, Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) y laboratorio de microbiología, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

Material empleado: se emplearon 50 kg de la planta entera (hoja, tallo y raíz) de yuca (*Manihot esculenta crantz*) fresca, con las siguientes características: 43.43% de materia seca (MS), 4.5% de proteína cruda (PC) y 0,9% ceniza (Cz); 20 kg harina de caupí (*Vigna unguiculata*) que contenía 85% MS, 26.1% PC, 1.0 % extracto etéreo (EE), y 3.2 Cz, y 5 L de preparado microbiano.

Selección, activación de las cepas y obtención del preparado microbiano: las cepas seleccionadas para la obtención del preparado microbiano fueron *Lactobacillus*

acidophilus, *Streptococcus thermophilus* y *Kluyveromyces fragilis* (L-4 UCLV) proveniente del banco de microorganismos de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Las cepas en formato biomasa fueron activadas en 250 mL leche de soya ácida a 37°C por 24 h en una estufa con zaranda (Nkubationshaube TH 15, Alemania) a 60 rpm. Una vez activados los microorganismos, se procedió a obtener el preparado microbiano. Se inocularon 150 mg (Balanza Analítica Radwag AS 220/C/2, Suiza) de biomasa anteriormente descrita en una mezcla de 2.5 L de yogur de soya y 600 g de melaza de caña de azúcar a 34 ± 2°C. La mezcla se incubó a 37°C durante 24 h. Finalmente se caracterizó de acuerdo con Miranda *et al.* (2014). El preparado microbiano previamente obtenido contenía 13.35% MS, 3.5% de proteína bruta (PB), 3.9 pH y 9x10⁸ y 9.1x10⁷ (bacterias y levaduras) UFC/mL de concentración microbiana.

Obtención de las variantes: la yuca entera (raíz, tallo, hojas) fue molida utilizando un molino martillo (modelo 301011, España), hasta obtener un tamaño de partículas entre 5-8 mm. Luego, según el tratamiento detallado en la *Tabla 1*, se mezcló con la harina de caupí, y posteriormente se procedió a inocular el preparado microbiano, en el caso del tratamiento con cultivo microbiano. Todos los tratamientos fueron conservados en frascos de cristal estériles de boca ancha con capacidad de 1 kg, y a una temperatura ambiente de 12 ± 2 °C.

Tabla 1. Los tratamientos empleados en el estudio.

Tratamientos	Variantes
Y100	Yuca integral (raíz + tallo + hoja)
Y+C	Yuca integral más 20% harina de caupí
Y+C+BP	Yuca integral más 20% harina de caupí + 8% preparado microbiano

Los tratamientos se realizaron por triplicado en diferentes días.

Caracterización, física y química: el color se evaluó mediante código HTML de acuerdo con Miranda *et al.* (2017). El aroma, sabor y textura se evaluaron por los sentidos sensoriales del investigador mediante la metodología descrita por Acevedo *et al.* (2009). La determinación de PC y proteína verdadera (PV) se realizó de acuerdo con Dadvar *et al.* (2015). Los contenidos de MS, Cz, EE, fibra ácida detergente (FAD), lignina y celulosa, se determinaron mediante los métodos de AOAC (2012). El pH se midió con un pHmetro (HANNA® *H 110, USA), calibrado a 4, 7 y 10.

Análisis microbiológico: a 25 g de cada tratamiento se le añadieron 50 mL de suero fisiológico y se incubó a 37°C por 24 h. A continuación, las muestras se centrifugaron las muestras (centrífuga BD DYNAC™ III) a 600 rpm por 5 minutos. La determinación de ácido láctico se realizó según la técnica "Conway" descrita por Conway (1957). Para el análisis de viabilidad, los tratamientos fueron preparados en las diferentes concentraciones hasta la escala 0,5 del esquema McFarland para la viabilidad. Posteriormente, se cultivaron las muestras y se realizó el recuento celular de número de unidades formadoras de colonias (UFC), según la metodología descrita por Miranda *et al.* (2017).

Análisis estadístico: la comparación de medias de los tratamientos se realizó mediante la prueba de Duncan (1955), y estos fueron analizados usando el *software* Statgraphic Plus versión 51.1.

3. Resultados

En la *Figura 1* se observa la caracterización organoléptica del ensilaje de yuca (Y100), yuca con caupí (Y+C) y de yuca más caupí y cultivo microbiano (Y+C+BP). El aroma y el sabor fueron de ácido a ácido dulzón; color verde lechoso a marrón; la textura fue semisólida al momento de ensilar para todas las variantes. Dichas características no

variaron hasta dos meses de conservado. En la medición a los 12 y 18 meses, se observó diferencias entre los tratamientos, pero el de mejor comportamiento fue la variante Y+C+BP.

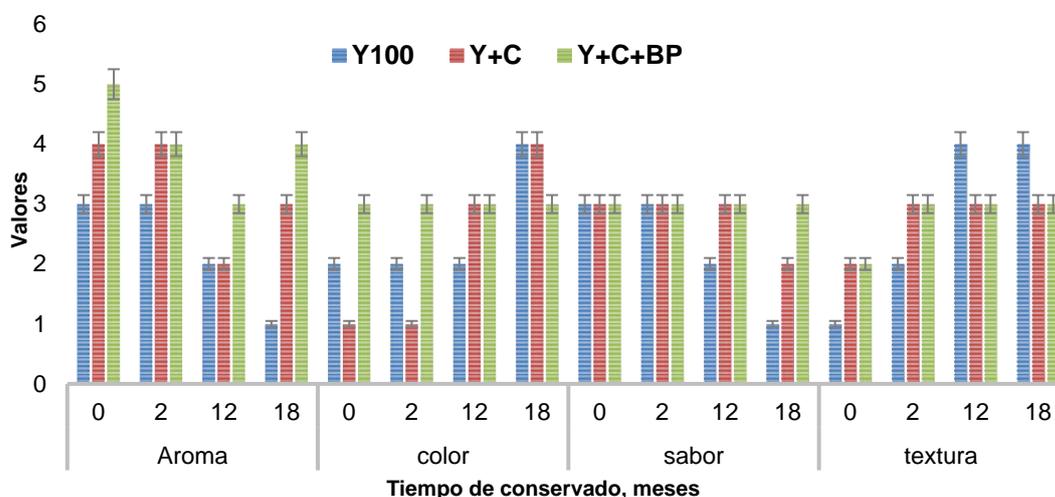


Figura 1. Características organolépticas de los ensilajes. **Y100.** Yuca integral (hoja, talla, raíz). **Y+C,** Yuca más 20% harina de caupí. **Y+C+BP.** Yuca más 20% harina de

En la *Tabla 2* se resumen los valores medios de la composición química básica de los ensilajes. Al momento del ensilar, la MS, PC y PV fue menor ($P < 0.05$) en el tratamiento Y100 en comparación con los otros tratamientos, sin variación entre estos dos últimos. Además, la Cz y EE no difirió entre variantes. A los 2, 12 y 18 meses, el contenido de MS, PC y PV fue mayor ($P > 0.05$) en Y+C+BP que en los otros tratamientos. En cuanto al EE, fue menor ($P < 0.05$) en Y+C+BP frente a Y100 y Y+C a los 12 y 18 meses de conservado. Los valores de Cz no defirieron entre tratamientos durante todo el estudio.

Tabla 2. Característica química del ensilado de yuca con caupí, al emplear preparado microbiano durante la conservación.

Tiempo, meses	Indicadores	Tratamientos			SEM	P-value
		Y100	Y+C	Y+C+BP		
0	Materia seca % (m/m)	25.25 ^b	30.32 ^a	30.57 ^a	0.07	0.0025
	Proteína cruda %, (m/m)	11.12 ^b	12.34 ^a	12.12 ^a	0,01	0.0056
	Proteína verdadera % (m/m)	7.11 ^b	8.25 ^a	8.14 ^a	0,01	0.0125
	Extracto etéreo %, (v/v)	2.21	2.28	2.22	0.02	0.2532
	Ceniza %, (m/v)	3.92	3.73	3.68	0.03	0.2307
2	Materia seca % (m/m)	29.75 ^c	33.22 ^b	34.17 ^a	0.03	0.0042
	Proteína cruda %, (m/m)	11.12 ^c	13.14 ^b	14.21 ^a	0.11	0.0271
	Proteína verdadera % (m/m)	7.81 ^c	8.73 ^b	9.94 ^a	0.06	0.0125
	Extracto etéreo %, (v/v)	2.18	2.51	2.12	0.04	0.6495
	Ceniza %, (m/v)	3.52	3.63	3.44	0.87	0.1389
12	Materia seca % (m/m)	32.25 ^c	37.12 ^b	39.34 ^a	0,13	<.0001
	Proteína cruda %, (m/m)	10.23 ^c	12.84 ^b	13.03 ^a	0.10	0.0028
	Proteína verdadera % (m/m)	7.22 ^c	9.22 ^b	10.11 ^a	0,11	0.0125
	Extracto etéreo %, (v/v)	2.43 ^a	2.51 ^a	1.89 ^b	0.01	0.0054
	Ceniza %, (m/v)	3.92	3.73	3.77	0,13	0.0675
18	Materia seca % (m/m)	22.61 ^c	35.14 ^b	39.58 ^a	0.10	<.0001
	Proteína cruda %, (m/m)	5.12 ^c	11.07 ^b	13.33 ^a	0,11	<.0001
	Proteína verdadera % (m/m)	2.32 ^c	7.65 ^b	9.64 ^a	0.01	0.0012
	Extracto etéreo %, (v/v)	2.06 ^b	2.14 ^a	1.32 ^a	0.11	0.0125
	Ceniza %, (m/v)	3.12	3.03	3.23	0,89	0.2030

^{a,b,c} letras desiguales en la misma fila, las medias difieren a $P < 0.05$ (Duncan, 1955). **Y100.** Yuca (hoja, talla, raíz). **Y+C,** Yuca más 20% harina de caupí. **Y+C+BP.** Yuca más 20% harina de caupí y 8% preparado microbiano. **m/m,** masa/masa. **v/v,** volumen/volumen. **m/v,** masa/volumen.

En la *Tabla 3* se presentan los valores medios de FAD, lignina y celulosa. Estos no variaron entre tratamientos al momento de ensilar. Tras dos meses de conservado, la FAD fue menor ($P=0.0021$) en Y+C+BP, en tanto que la lignina y celulosa no variaron entre Y100 y Y+C. A los 12 meses después de ensilar las partes fibrosas se redujeron en todas las variantes, y fue menor ($P<0.05$) en el Y+C+BP frente a Y100 y Y+C. La lignina no mostró variación entre Y100 y Y+C, en tanto que la celulosa no difirió entre tratamientos. En la medición realizada a los 18 meses después de ensilar fue menor ($P<0.05$) en Y+C+BP frente a Y100 y Y+C, sin diferencias entre estos últimos

Tabla 3. Característica de la fibra del ensilado de yuca con caupí, al emplear preparado microbiano en las diferentes etapas de conservación

Tiempo, meses	Indicadores	Tratamientos			SEM	P-value
		Y100	Y+C	Y+C+BP		
0	FAD %, (m/v)	11.18	11.28	11.22	0.01	0.8401
	Lignina % (m/v)	4.78	4.72	4.88	0.01	0.5721
	Celulosa % (m/v)	0.65	0.71	0.62	0.06	0.0642
2	FAD %, (v/v)	10.98 ^a	10.44 ^b	9.62 ^c	0.04	0.0021
	Lignina % (m/v)	4.52 ^a	4.53 ^a	4.01 ^b	0.12	0.0125
	Celulosa % (m/v)	0.61 ^a	0.62 ^a	0.49 ^b	0.04	0.0053
12	FAD %, (v/v)	10.93 ^a	9.98 ^b	8.92 ^c	0.01	0.0271
	Lignina % (m/v)	4.15 ^a	4.02 ^a	3.21 ^b	0.01	0.0125
	Celulosa % (m/v)	0.55	0.51	0.29	0.04	0.0578
18	FAD %, (v/v)	9.78 ^a	9.88 ^a	6.22 ^b	0.01	<.0001
	Lignina % (m/v)	3.89 ^a	3.43 ^a	1.73 ^b	0.03	0.0025
	Celulosa % (m/v)	0.51 ^a	0.42 ^a	0.11 ^b	0.02	0.0125

^{a,b,c} letras desiguales en la misma fila, las medias difieren a $P<0.05$ (Duncan, 1955). **Y100**. Yuca (hoja, talla, raíz). **Y+C**, Yuca más 20% harina de caupí. **Y+C+BP**. Yuca más 20% harina de caupí y 8% preparado microbiano. **FAD**, fibra ácida detergente. **v/v**, volumen/volumen. **m/v**, masa/volumen.

En la *Tabla 4* se observa la viabilidad microbiana y los valores de pH del ensilaje. Al momento de ensilar los valores de pH no mostró diferencia entre tratamientos, sin embargo, a partir de dos meses hasta el final del estudio fue menor ($P<0.05$) en el Y+C+BP frente a los demás tratamientos. En cuanto a la viabilidad microbiana fue mayor ($P<0.05$) en el Y+C+BP con respecto al Y100 y Y+C a partir de dos meses hasta los 18 meses de conservado.

Tabla 4. Característica microbiológica y los valores de pH del ensilaje de yuca con caupí al incluir preparado microbiano.

Tiempo, meses	Indicadores	Tratamientos			SEM	P-value
		Y100	Y+C	Y+C+BP		
0	Viabilidad % (v/v)	94	94	94	0.01	0.8431
	pH	4.42	4.46	4.37	0.12	0.2542
2	Viabilidad % (v/v)	93 ^b	93 ^b	94 ^a	0.01	0.0210
	pH	4.12	4.15	3.98	0.12	0.5214
12	Viabilidad %, (v/v)	89 ^b	90 ^b	94 ^a	0.11	<.0001
	pH	5.53 ^a	4.53 ^b	3.97 ^c	0.03	0.0015
18	Viabilidad %, (v/v)	81 ^c	89 ^b	93 ^a	0.02	0.0025
	pH	6.83 ^a	5.81 ^b	3.97 ^c	0.11	<.0001

^{a,b,c} letras desiguales en la misma fila, las medias difieren a $P<0.05$ (Duncan, 1955). **Y100**. Yuca (hoja, talla, raíz). **Y+C**, Yuca más 20% harina de caupí. **Y+C+BP**. Yuca más 20% harina de caupí y 8% preparado microbiano. **v/v**, volumen/volumen.

En la *Figura 2* se observa la concentración de ácido láctico en el ensilaje de yuca con caupí al inocular preparado microbiano. A partir de los 2 y hasta los 18 meses, los valores de ácido láctico fue mayor ($P<0.05$) en el tratamiento que contenida cultivo microbiano (Y+C+BP) en comparación con Y100 y Y+C.

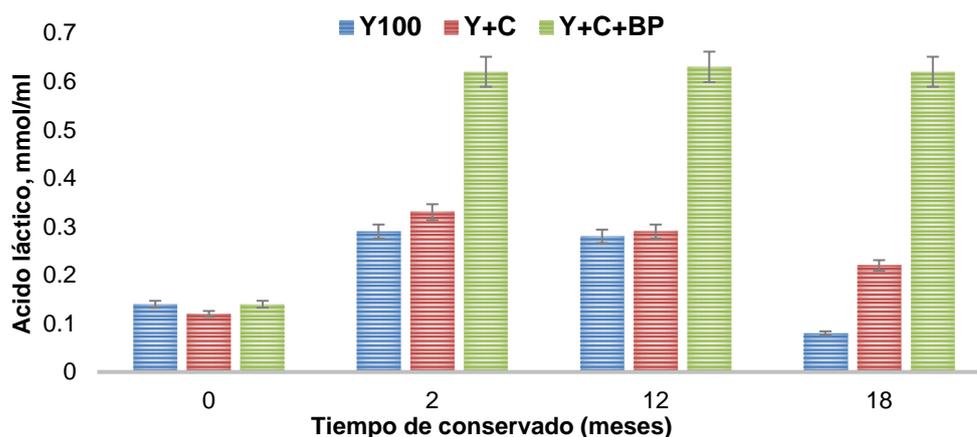


Figura 2. Comportamiento de ácido láctico del ensilaje durante 18 meses. **Y100.** Yuca (hoja, talla, raíz). **Y+C,** Yuca más 20% harina de caupí. **Y+C+BP,** Yuca más 20% harina de caupí y 8% preparado microbiano.

4. Discusión

Los resultados en cuanto a las características organolépticas en las variantes ensiladas del presente estudio (*Figura 1*), podrían estar relacionados con las propiedades funcionales que son reflejados atributos intrínsecos de la composición física, así como las posibles interacciones con otros componentes (Ke *et al.*, 2015). En tal sentido, Gugglielmo *et al.* (2015) reportaron la repercusión de la materia prima utilizada en la característica física de los ensilados. Por su parte, Danelon *et al.* (2010) observaron efecto ambiental, calidad del material y el valor nutritivo en la característica física del producto final, aunque este depende fundamentalmente de la materia prima, especies y la variedad que se emplea. En tal sentido, Fernández *et al.* (2013) presumen que el empleo de los microorganismos influye positivamente en las características físicas posiblemente por la acción fermentativa de los microorganismos anaerobios en las primeras 24 horas después de ensilar (Miranda *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos en el presente estudio se asemejan con los reportados por Fernández *et al.* (2013). Por su parte, Lynch *et al.* (2014) reportaron pH menor a 4.70 al emplear enzimas fibrolíticas en el ensilaje con alfalfa. Unido a esto, en estudio previo, Miranda *et al.* (2014) reportaron pH inferior a 4.23 al ensilar yuca más caupí y BIOPRANAL. Sin embargo, Ke *et al.* (2015) observaron pH con valores superiores a 5.85 y esto repercutía en las características físicas de los ensilajes.

Los resultados en cuanto a los parámetros químicos (*Tabla 2*) posiblemente fueron debidos al contenido de la materia prima y los microorganismos empleados para obtener ensilajes. Spanhero *et al.* (2015) observaron la influencia de materia prima sobre la calidad del ensilaje obtenido. Con referencia a lo anterior, Fernández *et al.* (2013) reportaron, efecto de la materia seca, contenido de compuestos nitrogenados, pérdidas de azúcares, cantidad de minerales y la capacidad de producir ácidos orgánicos del material a ensilar, sobre las características bromatológicas. Por su parte, Kung *et al.* (2015) observaron proteólisis durante el ensilaje, causado principalmente por los *clostridium* y esto aumentó sustancialmente los valores de pH hasta lograr la degradación el material ensilado. Mayor porcentaje de MS obtenido en el estudio podría estar relacionado con la evaporación de agua, unido al mayor desarrollo de microorganismos anaerobios empleado durante el ensilaje, similares valores fueron reportados por Miranda *et al.* (2014) al incluir BIOPRANAL en el ensilaje de yuca con caupí. Por su parte, Ke *et al.* (2015) observaron un leve aumento en la composición nutritiva al incluir bacterias ácido lácticas en el ensilaje de hojas de maíz. Un ligero aumento en la composición nutritiva también fue reportado por Ali *et al.* (2014) en pruebas realizadas “*in vitro*”. Según el estudio de Hoffman *et al.* (2011) mejoraron el contenido de PC y PV al inocular biopreparados en el ensilaje de maíz con alta humedad,

Sin embargo, Guglielmo *et al.* (2015) no observaron variación al ensilar sorgo con maíz. A diferencia de lo anterior Danelon *et al.* (2010) al emplear concentraciones energéticas en alfalfa mejoraron los valores de PC, PV y EE. No obstante, dichos parámetros se encuentran por debajo de los obtenidos en el presente estudio.

Asimismo, los valores obtenidos en cuanto a FAD, lignina y celulosa, son inferiores a los reportados por Heguy *et al.* (2010). Sin embargo, se asemejan con los reportados por, del Río *et al.* (2010). Por su parte Lynch *et al.* (2004) reportaron efecto de enzimas fibrolíticas sobre la degradación de las partes fibrosas del ensilaje. Del mismo modo, Kung *et al.* (2015) redujeron la cantidad de lignina en el ensilaje de sorgo con maíz. Por su parte Der Bedrosian *et al.* (2012) reportaron la reducción de los niveles de la celulosa y lignina al ensilar maíz planta entera. De modo similar Dadvar *et al.* (2015) observaron al fermentar pulpa de limón con *S. cerevisiae*. Por su parte, Heguy *et al.* (2016) mejoraron los índices nutritivos y redujeron los niveles de lignina al emplear enzimas. Mientras que Danelon *et al.* (2010) observaron la reducción en las fracciones celulósica y esta diferencia podría estar relacionada con el contenido de almidón y microorganismos con actividad fermentativa. Estudios previos fueron realizados por del Río *et al.* (2010) y Hoffman *et al.* (2011) al determinar los contenidos de lignina, celulosa y hemicelulosa, antes y después de ensilar con preparados microbianos, pero no informaron los valores obtenidos en dichos estudios.

Sin embargo, existen reportes sobre la asimilación de lactato en algunas especies de levaduras, lo que ayuda a mejorar el crecimiento de los microorganismos anaerobios en el ensilaje (Sourav y Arijit, 2010; Ali *et al.*, 2014). La viabilidad microbiana obtenida en el presente estudio pone de manifiesto que los microorganismos empleados se mantuvieron activos durante 18 meses y esto podría ser principalmente por la acción acidificante generada por las bacterias ácido lácticas (Dadvar *et al.*, 2015); el mismo comportamiento fue observada por Heguy *et al.* (2010) al emplear biopreparados. Asimismo, Hoffman *et al.* (2011) reportaron ligero aumento en la viabilidad microbiana en los ensilados al incluir 10% de yogur natural. Unido a esto, Ke *et al.* (2015) y Spanghero *et al.* (2015) observaron también mejorar la producción de microorganismos benéficos en los ensilajes al emplear medios biológicos. Por su parte, (Guglielmo *et al.*, 2015) reportaron mayor crecimiento de levaduras ligninolíticas en los ensilajes de maíz con alto grado de humedad. Sin embargo, en los estudios realizados por del Río *et al.* (2010), Ali *et al.* (2014) y Heguy *et al.* (2016) se vio que con el empleo de las enzimas en los ensilajes desarrollados con tallos de tabaco, algodón, girasol y paja de trigo la viabilidad microbiana fue menor a los obtenidos en el presente estudio.

5. Conclusiones y recomendaciones

La inclusión de *L. acidophilus*, *S. thermophilus* y *K. fragilis* (L-4 UCLV) aumentó los valores en la materia seca, proteína cruda y verdadera, ácido láctico y disminuyó el pH en el ensilaje de yuca integral con 20% harina de caupí, por 18 meses de conservado.

Los datos del presente estudio sugieren que la adición de preparado microbiano en el ensilaje de yuca integral con caupí puede solubilizar algunas de las partes de las fibras de fácil digestión de los carbohidratos de la pared celular y, por lo tanto, puede suministrar sustratos para la fermentación de ácido láctico.

Así mismo, la adición de bacterias lácticas y levaduras en el ensilaje podría ser eficaz para mejorar la calidad y mantener sobre los 18 meses de conservado a la yuca integral (hojas, raíz, tallo) con harina de caupí, debido a la disminución en el contenido de azúcar y/o al aumento en la concentración de proteínas.

Agradecimiento

El autor principal agradece a Instituto de Fomento a Talento Humano (IFTH), Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), Ecuador, por la beca de formación doctoral (PhD).

Bibliografía

- Acevedo, I., García, O., Contreras, J., y Acevedo, I. (2009). "Elaboración y evaluación de las características sensoriales de un yogurt de leche caprina con jalea semifluida de piña". *Revista UDO Agrícola*, 9 (2), 442-448.
- Ali, M., Cone, J.W., van Duinkerken, G., Klop, A., Kruisdijk, J., Blok, M.C., Bruinenberg, M., y Hendriks, W.H. (2014). "Relationship between chemical composition and in situ rumen degradation characteristics of grass silages in dairy cows". *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 70,9-15.
- AOAC. (2012). "Official methods of analysis, Association of official analytical chemist 19th edition", Washington D.C., USA.
- Conway, E.J. (1957). *Microdiffusion Analysis and Volumetric Error*. 4th ed. Crosby Lockwood and Son, London, Engl.
- Dadvar, P., Dayani, O., Mehdipour, M., y Morovat, M. (2015). Determination of physical characteristics, chemical composition and digestion coefficients of treated lemon pulp with *Saccharomyces cerevisiae* in goat diet. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 99(1):107–113.
- Danelon, J.L., D'Alesio, M., Barletta, L., Allocati, P.A., Wawrzkievicz, M., Ceballos, E., Colatto, C., y Victoria, D. (2010). "Ensilaje de alfalfa suplementado con distintos concentrados energéticos para alimentar cabras lecheras". *Asociación Latinoamericana de Producción Animal*, 18(1-2), 17-26.
- del Rio, S., Heguy, J.M., Lago, A. (2010). "Feed management practices on California dairies". *Journal of Dairy Science*, 93 (Suppl.1), 773.
- Der Bedrosian, M.C., Nestor, K.E., y Kung, L. (2012). "The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage". *Journal of Dairy Science*, 95:5115–5126.
- Duncan, D.B. (1955). "Multiple range and multiple F tests". *Biometrics* 11:1.
- Fernández-Herrero, A., Tabera, A., Agüeria, D., y Manca, E. (2013). "Obtención, caracterización microbiológica y físicoquímica de ensilado biológico de anchoíta (*Engraulis anchoíta*)". *REDVET - Revista electrónica de Veterinaria*, 14(2).
- Guglielmo, S., Proietti, S., Moscatello, S., Stefanoni, W., y Battistelli, A. (2015). "Anaerobic digestion of corn silage on a commercial scale: Differential utilization of its chemical constituents and characterization of the solid digestate". *Biomass and Bioenergy*, 83, 17-22.
- Heguy, J.M., Karle, B.M., Price, P.L., y Meyer, D. (2010). "Calculating field nutrient removal rates to comply with General Order for Existing Milk Cow Dairies from California's Central Valley Regional Water Quality Control Board". *Journal of Dairy Science*, 93 (Suppl. 1), 412.
- Heguy, J.M., Meyer, D., y Silva-del-Río, N. (2016). "A survey of silage management practices on California dairies". *Journal of Dairy Science*, 99(2), 1-6
- Hoffman, P.C., Esser, N.M., Shaver, R.D., Coblenz, W.K., Scott, M.P., Bodnar, A.L., Schmidt, R.J., y Charley, R.C. (2011). "Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starchprotein matrix in high-moisture corn". *Journal of Dairy Science*, 94, 2465–2474.
- Ke, W.C., Yangb, F.Y., Undersander, D.J., y Guo, X.S. (2015). "Fermentation characteristics, aerobic stability, proteolysis and lipid composition of alfalfa silage ensiled with apple or grape pomace". *Animal Feed Science and Technology*, 202, 12-19.
- Kung, L., Lim, J.M., Hudson, D.J., Smith, J.M., y Joerger, R.D. (2015). "Chemical composition and nutritive value of corn silage harvested in the northeastern United States after Tropical Storm Irene". *Journal of Dairy Science*, 98(3), 2055–2062.
- Lyncha, J., Jina, L., Larab, E.C., Baaha, J., y Beauchemina, K.A. (2014). "The effect of exogenous fibrolytic enzymes and a ferulic acidesterase-producing inoculant on the

- fibre degradability, chemical composition and conservation characteristics of alfalfa silage". *Animal Feed Science and Technology*, 193, 21-31.
- Miranda, J.E., Marin, A., y Baño, D. (2017). "Elaboration of a bioprepared with probiotic effect from a mixed culture of lactic bacteria and yeasts". *Bionatura*, 2(1), 245-247.
- Miranda-Yuquilema, J.E., Marin-Cárdenas, A., y Gonzales-Pérez, M. (2014). "Selage of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) with cowpeas (*Vigna unguiculata*) for pig alimentation". *REDVET - Revista electrónica de Veterinaria*. 15(2).
- Sourav, B., y Arijit, D. (2010). "Study of physical and culture parameters on the bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from traditional indian fermented food". *American Journal of Food Technology*, 5 (2), 111-120.
- Spanghero, M., Zanfi, C., Signor, M., Davanzo, D., Volpe, V., y Venerus, S. (2015). "Effects of plant vegetative stage and fielddrying time on chemical composition and in vitro ruminal degradation of forage soybean silage". *Animal Feed Science and Technology*, 200,102-106.

Estudio del cumplimiento de la norma INEN 2205 en los asientos de buses de transporte público urbano

(Study of the compliance of the INEN 2205 standard in the seats of urban public transport bus

Vinicio Reyes¹, Carlos Rosales¹, Alex Guzmán¹, Sebastián Báez¹

Resumen:

Una participación importante en la oferta de transporte público urbano de Quito está en manos de la empresa privada. Dada la elevada demanda, tienden a descatarse indicadores de seguridad y calidad del servicio. Este hecho es la motivación fundamental del presente artículo, mediante el cual se verificó el cumplimiento de la norma INEN 2205 para asientos de pasajeros y conductores en una compañía de transporte urbano específica. Se extrajo una muestra de veintitrés unidades y cada punto muestral representa un modelo de carrocería. En concreto, se realizaron mediciones de asientos utilizando: flexómetro, nivel de burbuja e inclinómetro. Además, se llevaron a cabo inspecciones visuales y experimentos simples de fricción mecánica para evaluar las características cualitativas. Finalmente, se efectuó un conteo simple de verificación en la muestra y se construyeron intervalos de confianza y pruebas de hipótesis para el estadístico proporción. Las inferencias poblacionales mostraron que el 41% y 55% de asientos de pasajeros y conductores, respectivamente, cumplieron con la normativa; mientras que el análisis multivariante permitió identificar grupos muestrales y correlaciones entre ellos. Se concluyó que existe inobservancia de la normativa en cuanto al estado de los asientos y parámetros angulares.

Palabras clave: carrocería; asientos; parámetros dimensionales; transporte público; buses

Abstract:

An important participation in the urban public transport offer of Quito is in the hands of the private company. Given the high demand, it will show the safety indicators and the quality of the service. This fact is the fundamental motivation of this article, which verified the compliance with the INEN 2205 standard for passenger and driver seats in a specific urban transport company. A sample of the units is shown and each point shows a body model. In particular, measurements were made of seats using: flexometer, bubble level and inclinometer. In addition, visual inspections and simple experiments of mechanical friction were carried out to evaluate the qualitative characteristics. Finally, a simple verification count was performed on the sample and confidence intervals and hypothesis tests were constructed for the statistical ratio. Population inferences showed that 41% and 55% of seats for passengers and drivers, respectively, did comply with the regulations; while the multivariate analysis allowed to identify sample groups and correlations between them. It was concluded that it exists in the observation of the regulations regarding the state of the seats and angular parameters.

Keywords: bodywork; seating; dimensional parameters; public transport; buses.

¹ Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador ({claudio.reyes, carlos.rosales, alex.guzman, bvws95468} @ute.edu.ec)

1. Introducción

En la actualidad, las ciudades en desarrollo son estructuras complejas con altos grados de organización social, cultural y económica que cuentan con la interacción de personas, grupos y sus actividades. Al mismo tiempo, estas han experimentado un rápido crecimiento demográfico y con ello un aumento en el parque automotor, razones por las cuales la congestión vehicular se ha incrementado considerablemente (Institute for Transportation and Development Policy, GTZ, 2006). La movilidad es un factor crítico dentro de la ciudad de Quito, constituyendo un elemento esencial del sistema de transporte urbano, puesto que promueve las interrelaciones, accesibilidad y desenvolvimiento en las actividades ciudadanas cotidianas (Demoraes, 2005). Este tipo de servicio de transporte constituye un negocio cuya demanda es muy alta, provocando que varias operadoras pasen por alto precauciones de seguridad y calidad de servicio.

En el país existen varios medios de transporte tanto para personas, animales, materia prima, etc., los buses llevan a varios destinos a los pasajeros que utilizan su servicio; un resultado negativo es cuando sufren accidentes de tránsito mientras viajan en estas unidades de transporte público. Un motivo importante es debido a que la carrocería y los accesorios no cumplen las normas INEN relacionadas con la homologación de parámetros de fabricación y de seguridad a nivel nacional. Es importante cumplir con los requisitos de las normas, ya que se debe en primer lugar preservar la integridad de las personas. Al aplicar las normas o sistemas normalizados es necesario que se incorporen los criterios técnicos de normalización como la base para la homologación de vehículos de transporte tanto de pasajeros como de carga (Sanzi & Asta, 2012). En algunos estudios se tienen parámetros para el diseño del espacio interno de vehículos de transporte escolar (Bernal et al 2014) y entre uno de los resultados más relevantes que se obtuvieron fue que las principales características materiales tenidas en cuenta tanto para las sillas como para los sistemas de retención fueron, la textura como atributo para evitar el deslizamiento del pasajero durante los cambios de velocidad del vehículo, la resistencia al fuego y la resistencia al desgaste; de la misma manera, se tuvo en cuenta el principio de compartimentalización (National Highway Traffic Safety Administration School, NHTSA, 2002), cuyo principal objetivo se centra en diseño de las sillas, de manera que si existiese un choque, amortigüen los impactos de los niños contra las mismas.

En el Ecuador se han aprobado normas y reglamentos para la homologación de los buses tipo de servicio de transporte. El Reglamento Técnico Ecuatoriano 038:2010 para bus urbano, establece los requisitos que deben cumplir los buses y minibuses urbanos de transporte de pasajeros con la finalidad de proteger la vida y la seguridad de las personas, el ambiente y la propiedad, como también prevenir prácticas engañosas de fabricación o modificación original de vehículos para el transporte urbano (RTE INEN 038, 2010).

El presente trabajo permitió verificar si los buses de una compañía de transporte urbano que opera en la ciudad de Quito, cumplen con la norma INEN 2205 (Vehículos automotores. Bus urbano. Requisitos) respecto a los parámetros dimensionales de asientos para conductor y pasajeros.

2. Metodología

Para realizar la verificación del cumplimiento de la norma INEN 2205:2010 vigente y la enmienda 1 del año 2015 de la Norma INEN 2205 para asientos de conductor y pasajeros en los buses de transporte urbano en la ciudad de Quito, en primer lugar se desarrolló una investigación bibliográfica de las normas pertinentes y en este contexto, se analizaron los requerimientos estipulados en la normativa para las diferentes partes de los asientos con sus respectivas dimensiones, ajuste y disposición que deben tener dentro de cada unidad operadora; se investigó la cantidad de buses y cooperativas de transporte urbano que operan dentro del Distrito Metropolitano de Quito para de esta manera seleccionar una cooperativa de transporte urbano. La cooperativa seleccionada dispone de 123 unidades,

cuyos modelos corresponden a los años comprendidos entre 2004 y 2015, y luego se analizó el número de empresas carroceras, 23 en total. Por tal motivo se determinó que el tamaño de la muestra para el desarrollo del estudio es de 23 unidades. Una vez que los elementos de la muestra fueron identificados, se llevaron a cabo las visitas de monitoreo a todas las unidades de la muestra. La verificación se centró en la medición de los parámetros que se presentan en el asiento para conductor y pasajeros; comparando con los requerimientos estipulados en la normativa. Los equipos necesarios para la verificación fueron: flexómetro calibrado por el INEN cuya incertidumbre se estimó de acuerdo con el documento “Guide to the Expression of the Uncertainty in Measurement” de la ISO, nivel de burbuja e inclinómetro calibrados con los estándares de la Norma DIN 18723, los cuales fueron utilizados sobre los asientos de pasajeros y posteriormente en el asiento del conductor como se indica en la *Figura 1*. En ambos casos se aplicó el mismo procedimiento como se muestra a continuación: se comprobó los valores de las medidas de los parámetros lineales mediante la utilización de flexómetro y nivel; después se ejecutaron las mediciones de los parámetros angulares a través del inclinómetro y nivel. Finalmente, se procedió a examinar el estado de los asientos mediante diversas inspecciones visuales y experimentos simples de fricción mecánica. El procedimiento descrito, se llevó a cabo en cuatro asientos de pasajeros y en el del conductor en cada uno de los buses en estudio.



Figura 1. Mediciones den asientos con un flexómetro y un nivel de burbuja

Una vez obtenidos los resultados de los parámetros dimensionales de todas las unidades, se desarrolló el análisis por conteo y posteriormente se dio el tratamiento estadístico a los datos. La primera técnica estadística empleada fue la determinación de intervalos de confianza, la segunda técnica estadística desarrollada fue la prueba de hipótesis y finalmente se utilizó el análisis de componentes principales (ACP).

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados de medición parámetros

El estudio consistió en la verificación del cumplimiento de la normativa vigente referente a asientos de pasajeros y de conductor que se aplica para vehículos diseñados y equipados para transporte público urbano, los cuales se clasifican en: bus urbano con una capacidad total; igual o mayor a 60 pasajeros y minibus urbano con una capacidad menor a 60 pasajeros. Se identificaron las marcas y carrocerías que cumplen con la normativa; además de identificar los parámetros que los fabricantes dan mayor importancia al diseño de los asientos de pasajeros. En lo que respecta a asientos de conductor; se verificó qué carrocerías son las que aprueban la verificación y que parámetros dimensionales cumplen en mayor proporción.

3.1.2. Resultados de parámetros de asientos de pasajeros en la muestra

Las mediciones de los parámetros dimensionales en asientos de pasajeros se realizaron en 4 asientos de la misma unidad operadora, permitiendo así promediar los resultados y registrar únicamente una medición por parámetro en cada carrocería. En la *Tabla 1* se muestran como ejemplo los resultados cuantitativos y cualitativos de 2 parámetros.

Tabla 1. Resultados de parámetros cuantitativos y cualitativos - asientos de pasajeros

Datos generales		Parámetros cuantitativos		Parámetros cualitativos	
Carrocerías	Marca	Ancho mínimo (mm)	Asientos continuos (mm)	Ancho mínimo (mm)	Asientos continuos (mm)
1	A	426.50	456.25	SI	SI
2	A	418.00	444.08	SI	NO
3	B	404.67	413.67	SI	NO
4	C	428.67	452.33	SI	SI
5	B	404.67	472.67	SI	SI
6	D	418.00	452.17	SI	SI
7	E	403.33	457.17	SI	SI
8	E	403.33	448.33	SI	NO
9	A	418.00	455.67	SI	SI
10	A	418.00	452.00	SI	SI
11	F	430.67	441.17	SI	NO
12	A	418.00	444.75	SI	NO
13	F	430.67	441.17	SI	NO
14	A	418.00	480.75	SI	SI
15	F	430.67	443.50	SI	NO
16	F	430.67	443.50	SI	NO
17	F	430.67	443.50	SI	NO
18	B	404.67	472.67	SI	SI
19	B	404.67	426.29	SI	NO
20	F	430.67	451.17	SI	SI
21	A	418.00	465.50	SI	SI
22	A	418.00	428.13	SI	NO
23	B	404.67	425.42	SI	NO

Para el caso de la carrocería 1 con marca de asientos de pasajeros A, el parámetro “ancho mínimo” es de 426.50 mm. Este parámetro cumple con la normativa; entonces, se etiquetó dicho parámetro con la palabra “sí”. En contraste, el parámetro “espacio entre espaldar y asidero de sujeción” de la misma marca el valor de 88.75 mm, este parámetro se verifica con la normativa, y no cumple por lo que fue etiquetado con la palabra “no”. Se aplicó el mismo procedimiento con los demás parámetros cuantitativos. Realizado el análisis por conteo se puede inferir que las carrocerías 7 y 8, con marca de asiento E cumplen 13 de 16 y 12 de 16 parámetros respectivamente y son así las carrocerías y marca de asientos de pasajeros que cumplen la normativa con más parámetros en la muestra. Además, el conteo indicó que las carrocerías 18 y 19 con marca de asientos de pasajeros B, incumplen varios parámetros, únicamente cumplen 5 de 16 parámetros en ambas carrocerías. Además, es plausible analizar los resultados de conteo por parámetro (en dirección vertical). En este contexto, parámetros como: “ancho mínimo”, “duro”, “protuberancias” y “lavable” acatan la norma en todas las unidades operadoras; sin embargo, se observa que solamente en uno de todos los casos, el parámetro: “ángulo entre espaldar y base” respeta la normativa y solo 2 de los 23 modelos verifican la norma en el caso de los parámetros, “altura total” y “espacio entre espaldar y asidero de sujeción”. De todo lo analizado, se determina que los fabricantes de asientos enfocan su interés en determinadas dimensiones, mientras que en otras definitivamente no.

En tanto que las características estructurales, tanto de la silla como de los sistemas de retención, están relacionadas con la resistencia estructural y la absorción de energía por deformación de la estructura en el momento de un impacto (Organización de las Naciones Unidas, ONU, 1999), (Society of Automotive Engineers, 1994).

3.1.3. Resultados de parámetros asientos de conductor en la muestra

Se realizaron las mediciones correspondientes a los parámetros establecidos en la norma, a excepción de aquellos que no constan dentro de los modelos que se clasifican dentro de la misma, dado que esos modelos no guardaban ninguna similitud con los estándares. Se encontró que los asientos de conductores, sin importar la marca o carrocería, no presentaban parámetros como: “Ángulo inclinación hacia atrás”, ya que la altura del respaldo no generaba un ángulo con relación al apoyacabeza. “Inclinación espaldar”, puesto que sus estructuras son fijas, es decir, no contaban con el mecanismo o bien se encontraba descompuesto. Finalmente, se verificó que no disponen del mecanismo de regulación para, “Recorrido vertical” y el “Recorrido horizontal”. Esto último evidentemente no permitió levantar esas mediciones y compararlas con la norma.

De los resultados obtenidos se concluye que la carrocería 8 cumple con la mayoría de los parámetros establecidos en la norma (9 de 11). Asimismo, la carrocería 13 solamente verifica (1 de 11) parámetros. En lo que respecta a los resultados obtenidos por parámetro, se comprobó que: “Ancho mínimo” y “Cinturón de tres puntos de apoyo” son parámetros que satisfacen la norma en una proporción de 78,3% (18 de 23) y una proporción de 100% (23 de 23), respectivamente, y por el contrario “Recorrido de ajuste vertical” con 0% y “Ángulo inclinación hacia atrás” con 9%, son los parámetros más irrespetados en la verificación de la normativa.

Dado que los resultados obtenidos por conteo dentro de la muestra no indican que la Compañía cumpla o incumpla parámetros medidos, se procedió a realizar el siguiente tratamiento estadístico correspondiente a los datos para de esta manera inferir correctamente dichos resultados y conclusiones sobre la población que en este caso es la Compañía.

3.2. Tratamiento estadístico de los datos

3.2.1. Intervalos de confianza

Con la finalidad de ejecutar un tratamiento de los datos recolectados, tal como se indicó en el apartado de la metodología, se comienza dicho tratamiento con el cálculo de intervalos de confianza. En este estudio, se toma en cuenta como rasgo de interés particular en la muestra, el parámetro de la población denominado proporción. En particular, el interés se centra en la proporción de unidades de la muestra que cumplen con la norma INEN 2205.

Se calculó la proporción muestral de cada una de las mediciones sumando el número de carrocerías que sí cumplen con cada uno de los parámetros dimensionales y dividiendo para el total del tamaño de la muestra. Para crear el intervalo de confianza para dicha proporción se verificó que las condiciones binomiales hayan quedado satisfechas; es decir, los datos de la muestra de buses es el resultado de conteos: se contó cuántos buses sí cumplen con la norma y cuántos no (dos posibles resultados), con respecto a cada parámetro dimensional medido. Además, se trabajó con la premisa que la probabilidad de tener un resultado “exitoso” (bien sea que sí o que no se cumple con la norma), permanece constante a través de todo el proceso de medición y que dichas mediciones son independientes entre sí.

Con la ecuación 1 se determinan los intervalos de confianza de la proporción de una población en cada parámetro. El valor de z igual a 1.96 se toma con el nivel de confianza del 95% (Douglas Lind, 2012).

$$p \pm z \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad [1]$$

Ahora bien, se tomó en cuenta la propuesta que un determinado parámetro dimensional no cumple con la norma si es inferior al 25% o la cuarta parte de los elementos en la población. Por el contrario, se acepta que otro parámetro cumple con la norma si al menos el 75% o las tres cuartas partes de la población cumplen con dicha norma. Una vez realizado el cálculo de los intervalos de confianza en cada uno de ellos, se infiere que los parámetros: “Ancho mínimo espaldar”, “Pasillo” (asientos de pasajeros), “Ancho mínimo”, “Profundidad”, “Altura mínima espaldar”, “Altura del asiento desde piso” y “Estado” (asiento de conductor); con sus respectivas proporciones poblacionales, efectivamente si se encuentran dentro del intervalos de confianza (Sí cumplen). Además, parámetros como: “Altura desde piso a base”, “Ángulo inclinación de base”, “Distancia entre asientos” (asientos de pasajeros), “Ángulo inclinación base de asientos”, “Inclinación espaldar”, “Recorrido horizontal” (asientos de conductor), con sus respectivas proporciones también se encuentran dentro del intervalo de confianza (No cumplen).

3.2.2. Pruebas de hipótesis

Dado que las mediciones tomadas, en conjunto, no pueden acreditar que un bus en particular acredita la norma respectiva salvo en el caso excepcional en el que todas las mediciones verifiquen la norma o todas las mediciones verifiquen que no cumplen la norma; entonces la única vía que resta es verificar la norma medición por medición. En este contexto se utilizó la Prueba de Hipótesis de una sola cola para el parámetro poblacional: proporción que sí cumplen, con la finalidad de complementar el análisis estadístico anterior. La idea central en este nuevo procedimiento es rescatar información relevante que proviene de la muestra (23 vehículos) que puede inferirse y proyectarse sobre la población. La prueba de hipótesis se inicia estableciendo la hipótesis nula, luego la correspondiente alternativa y finalmente se decide sobre la aceptación o rechazo de la primera.

La Hipótesis Nula es: la proporción de unidades vehiculares que sí cumplen con la norma es mayor o igual que 0.75; es decir:

$$p_0 \geq 0.75$$

Hipótesis alternativa: la proporción de unidades vehiculares que sí cumplen con la norma no es mayor o igual que 0.75; es decir:

$$p_0 < 0.75$$

Para esta investigación se utilizó el nivel de significación en 0.05. Se calcula el estadístico de prueba mediante la ecuación 2.

$$Z_o = \frac{P - \pi}{\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}} \quad [2]$$

Una vez encontrado el valor de Z_o calculado se procede a comparar con Z referencial (1.96) para posteriormente decidir sobre la aceptación o rechazo de la hipótesis nula. De esta manera, si el valor encontrado es menor que el referencial, se afirma que se acepta hipótesis nula y, por el contrario, si el valor de Z_o es mayor que Z referencial se rechaza hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. De acuerdo con la *Figura 2*, se verificó que el 59% de los parámetros analizados en la muestra aceptan la hipótesis alternativa e incumplen la norma, y el 41% acepta la hipótesis nula, dicho de otra manera, cumplen la normativa. Los porcentajes calculados sobre la base de la prueba de hipótesis para las muestras permiten inferir que 59% de la población no cumplen con la norma; mientras que el restante 41% de la población sí cumplen con la normativa.

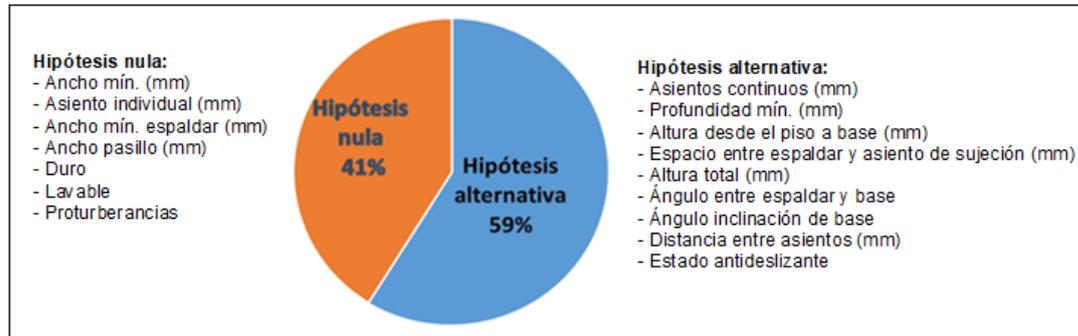


Figura 2. Resultados de la prueba de hipótesis asiento de pasajeros

De acuerdo con la *Figura 3* de los resultados obtenidos en asientos de conductor, el 45% de los parámetros examinados en la muestra acepta la hipótesis alternativa; es decir incumplen la norma y por el contrario el 55% acepta la hipótesis nula, dicho de otra manera, cumplen con la reglamentación. Los porcentajes calculados sobre la muestra permiten estimar que el 45% de la población no cumple la norma, mientras que el 55% de la población sí cumple con la normativa.

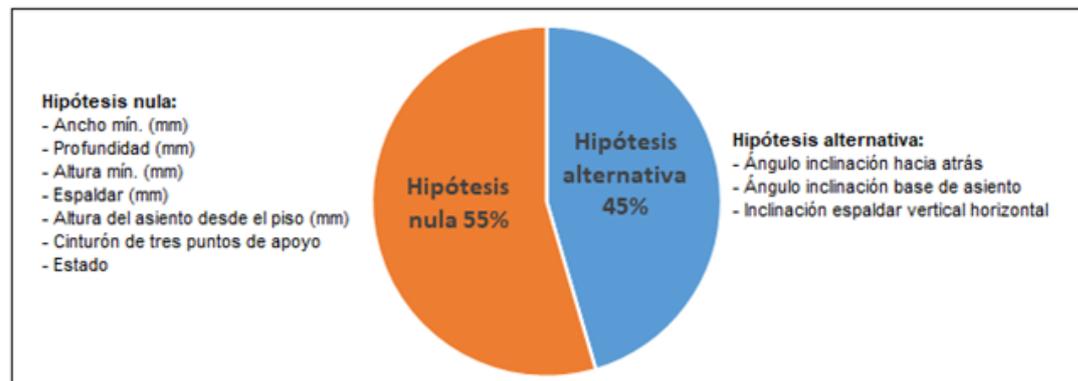


Figura 3. Resultado de prueba de hipótesis asiento de conductor

3.2.3. Análisis de componente principales

3.2.3.1. Asientos de pasajeros

Puesto que el problema central en este trabajo es multidimensional (27 parámetros medidos en veintitrés carrocerías); entonces se optó en primer lugar por reducir el número de variables intrínsecas del problema hasta un espacio de configuración en el cual el número de dimensiones sea menor que el original; luego surgió la necesidad de identificar posibles grupos subyacentes en la muestra. Con el fin de dar solución a estos inconvenientes, se procedió a ejecutar un Análisis de Componentes Principales (ACP) que es una técnica multivariante y permitió resolver dichos problemas simultáneamente. El tratamiento empieza con el ingreso de los datos cuantitativos de cada parámetro por carrocería. A partir de los resultados ingresados se procedió a realizar la matriz de correlaciones a partir de la cual se calcularon los valores y vectores para asientos de pasajeros. Los resultados se muestran en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Valores y vectores propios – asientos de pasajeros

Valores propios	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Valor propio	3.68	2.48	1.97	0.90	0.56	0.25	0.09	0.06	0.01	0.00
Variabilidad (%)	36.77	24.82	19.75	8.99	5.59	2.55	0.92	0.56	0.07	0.00
% acumulado	36.77	61.59	81.33	90.32	95.91	98.46	99.37	99.93	100.00	100.00

Las nuevas variables generadas por el ACP, que van desde F1 hasta F10, son los vectores propios calculados con el *software* Microsoft Excel. Para reducir el número de dimensiones se identificó el porcentaje acumulado que recogiera la mayor información posible; para el presente caso dicho porcentaje corresponde a la variable F3 (81.33%). Esto quiere decir que las tres primeras variables de la ACP (F1, F2, F3) recogen el 81.33% de la información original. A pesar que con este resultado se sacrifica el 18.67% restante de la información original; sin embargo, se consiguió reducir el problema a tres nuevas variables independientes o componentes principales. La subsecuente información creada por el ACP incluye los resultados correspondientes a los valores máximos y mínimos medidos para cada parámetro dimensional. Además, la técnica generó las nuevas coordenadas de los parámetros dimensionales medidos originalmente y que se encuentran proyectados en el círculo de correlaciones que se muestra en la *Figura 4*.

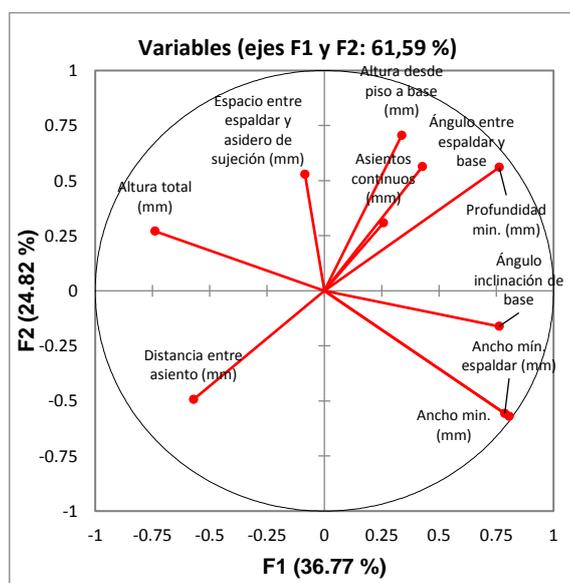


Figura 4. Círculo de correlaciones – asientos de pasajeros

En el círculo de correlaciones se tienen varios casos válidos posibles. Si dos variables cualesquiera se encuentran lejos del origen y están cerca entre ellas entonces están directamente correlacionadas, si son ortogonales, entonces no están correlacionadas y si se encuentran en lados opuestos con respecto al centro, entonces están inversamente correlacionadas. Ejemplos de estos casos: “Ancho mínimo” y “Profundidad”. Estos parámetros se encuentran lejos del origen y además son ortogonales entre sí, por lo tanto, no están correlacionados; esto significa que el aumento o disminución de la profundidad no afecta en ningún caso el ancho mínimo. Igual interpretación se da a las variables: “Altura total” y “Distancia entre asientos”. En contraste, “Ángulo entre espaldar y base” y “Altura desde piso a base”, son magnitudes que están directamente correlacionadas. Esto quiere decir que cuando la una aumenta de valor, la otra también lo hace. Finalmente, la “Distancia entre asientos” y la “Altura de piso a base” son magnitudes que están inversamente correlacionadas. Esto quiere decir que cuando la una magnitud aumenta la otra decrece y viceversa. Posteriormente, a través del ACP se construyó el mapa bivariado que se muestra en la *Figura 5*.

El mapa bivariado muestra tres grupos, en el cual las variables están mutuamente correlacionadas: en el primer cuadrante se identifican seis carrocerías (Obs.). En este caso se observa que las carrocerías dentro de este grupo comparten parámetros cuyas medidas son parecidas. Esto es, las carrocerías 9, 12 y 14 todas con marca de asientos de pasajeros A, poseen medidas de algunos parámetros que son muy parecidos entre sí. A propósito de las carrocerías que no se encuentran dentro de ningún grupo, sus parámetros son similares a los del grupo en su cuadrante respectivo, pero cumplen o incumplen ciertos parámetros.

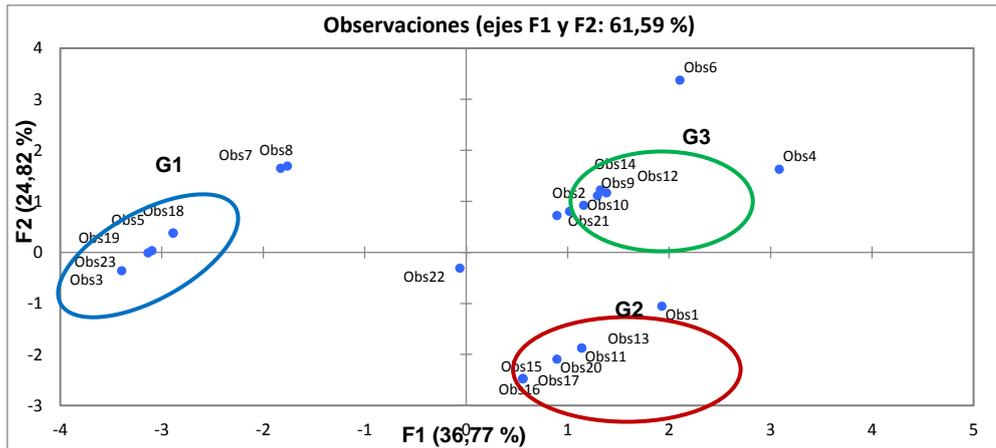


Figura 5. Mapa bivariado – asientos de pasajeros

3.2.3.2. Asientos del conductor

De igual manera se realizó el Análisis de Componentes Principales en asientos del conductor, para lo cual, se ingresaron únicamente los resultados cuantitativos de cada una de las carrocerías. El programa mencionado realizó la matriz de correlaciones y posteriormente la determinación de los valores y vectores propios los cuales se muestran en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Valores y vectores propios – asiento del conductor

Valores propios	F1	F2	F3	F4	F5
Valor propio	1.89	1.25	1.01	0.49	0.37
Variabilidad (%)	37.72	24.93	20.10	9.86	7.39
% acumulado	37.72	62.65	82.75	92.61	100.00

En la *Tabla 3* se observan los vectores propios calculados desde F1 hasta F5. Identificando que la mayor variable que representa un mayor porcentaje de la información acumulada es F3 (82.75%). Esto quiere decir que las variables del ACP (F1, F2, F3) absorben un 82.75% de la información original y a la vez sacrifica el 17.25%. No obstante, se logró reducir el número de variables a tres componentes principales. De igual manera las nuevas coordenadas factoriales se encuentran proyectadas dentro del círculo de correlaciones como se muestra en la *Figura 6*. Se distinguen diferentes casos: “Altura del asiento desde piso” y “Altura mínima espaldar”, estos parámetros se encuentran lejos del origen y son ortogonales, por lo que no se encuentran correlacionados de ninguna manera. Otro caso, “Profundidad” y “Altura mínima espaldar” son magnitudes que se encuentran directamente correlacionadas. Por último, en el caso de “Ángulo inclinación base de asiento” y “Altura espaldar” se encuentran inversamente correlacionadas.

Finalmente, a través de esta técnica se construyó el mapa bivariado en el que se identificaron grupos entre las diferentes carrocerías que forman la muestra del presente trabajo. En la *Figura 7* se muestra el mencionado mapa en el que se proyectan las nuevas coordenadas factoriales de las diferentes carrocerías, en el espacio de configuración de los dos primeros componentes principales. En el mapa bivariado que se muestra en la *Figura 6*, se identifican tres grupos dentro de los cuales las variables están mutuamente correlacionadas, nótese por ejemplo en el primer cuadrante el grupo G1 en el cual se identifican cinco carrocerías puesto que comparten parámetros cuyas medidas son parecidas. Dichas carrocerías son: 7, 8, 10, 21 y 18.

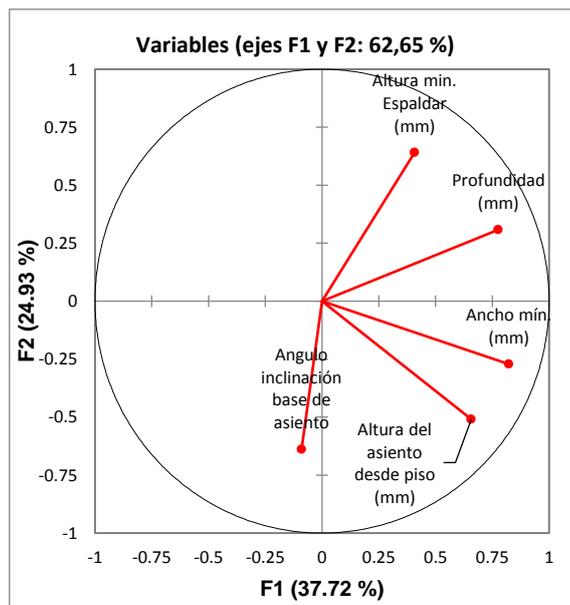


Figura 6. Círculo de correlaciones – asiento del conductor

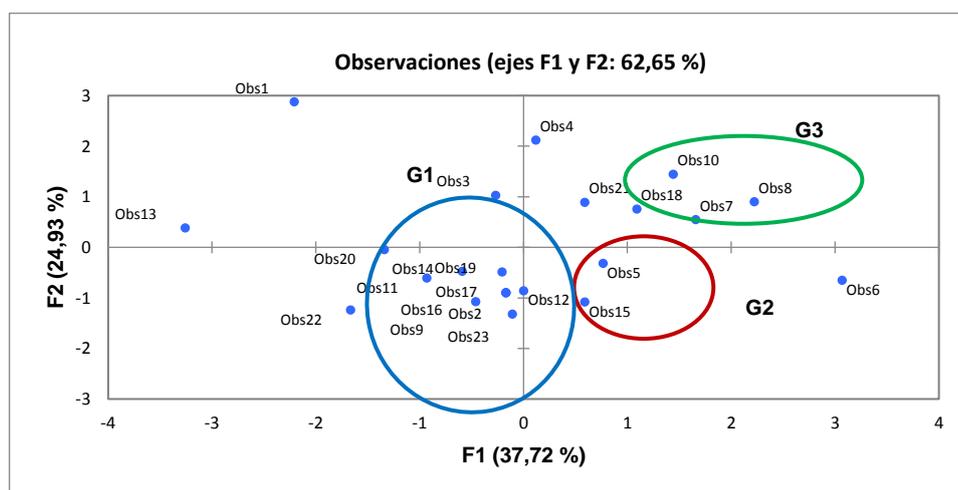


Figura 7. Mapa bivariado – asiento del conductor

3.2.4. Experimento de fricción mecánica en asientos de pasajeros

Dentro de la norma se especifica que los asientos de pasajeros deberán ser antideslizantes. Es por ello, que se procedió a verificar mediante un experimento simple de fricción mecánica el cumplimiento de la norma. El experimento consistió en colocar una masa (0.028 kg) sobre el punto más alto del asiento. De esta manera se verificó si el coeficiente de fricción estático cambia a coeficiente dinámico. Se pudo constatar a través de este experimento que las marcas de asientos; C (1 de 1), D (1 de 1), E (2 de 2), F (1 de 6), B (3 de 5), A (3 de 8) sí cumplen con dicho parámetro. Sin embargo, marcas como: A (5 de 8), F (5 de 6) y B (2 de 5) incumplen este parámetro. Posteriormente, se procedió a realizar el cálculo del coeficiente de rozamiento referencial mediante la segunda ley de Newton, aun cuando el ángulo máximo permisible en la norma de la base del asiento sea de 6° y la masa permanezca inmóvil. El coeficiente encontrado es 0.105 es decir, que en aquellos asientos que no se deslizó la masa. Por lo contrario, se considera deslizante cuando el coeficiente es menor 0.105. Sin embargo, el coeficiente de fricción dinámica en seco de materiales compuestos moldeados y materiales tejidos para asientos de vehículos está comprendido entre 0.25 y 0.45 respectivamente (en la clasificación E o F de la

Sociedad de Ingenieros Automotrices - SAE). El valor de coeficiente de fricción 0.105 calculado se clasifica con la letra D (mayor a 0.15 pero no mayor que 0.25) según la clasificación de coeficientes de fricción de la SAE.

3.3. Solución de propuesta gráfica y parámetros

De la muestra analizada, el porcentaje de incumplimiento de la norma es relativamente alto, por lo que se presenta una propuesta de las dimensiones de los asientos como se muestra en la *Figura 8*. La propuesta gráfica permitirá atenuar las consecuencias del incumplimiento de la norma, en este sentido se realizó una comparación entre los parámetros que se indican en la norma INEN 2205 y la propuesta de solución enmarcada en la norma mexicana NOM-119-SCFI-2000, industria automotriz-vehículos automotores-cinturones de seguridad - especificaciones de seguridad y métodos de prueba, establecido en el manual técnico de seguridad, accesibilidad, comodidad y fabricación de autobuses nuevos corto, mediano y largo, de piso alto, entrada baja y motor de aplicación delantera y trasera para prestar el servicio público de transporte de pasajeros emitido por la Secretaría de Movilidad del Distrito Federal de México.

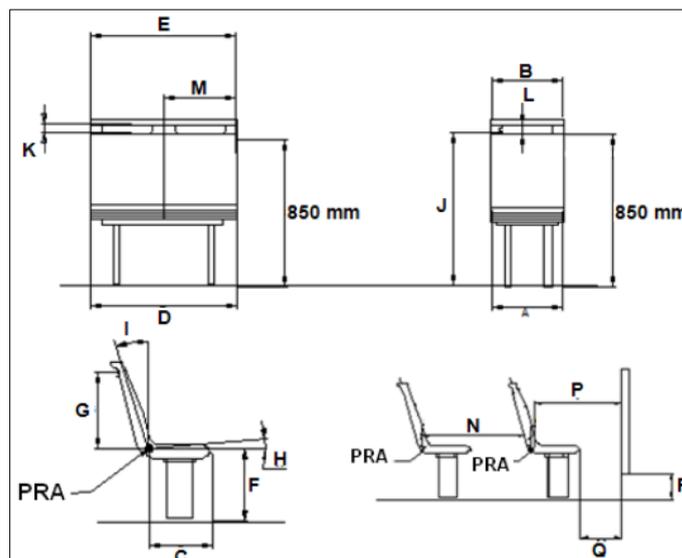


Figura 8. Propuesta gráfica asiento de pasajeros

En la *Tabla 4* se enumeran los parámetros dimensionales de la propuesta gráfica para el diseño y construcción de los asientos. Tales parámetros permitirán contrarrestar las consecuencias que se producen durante una colisión.

Los parámetros lineales propuestos son: “Ancho asiento individual”, “Ancho de respaldo individual”, “Profundidad”, “Ancho respaldo asientos continuos” de modo que, el usuario tendrá una mayor superficie de contacto, además de brindar ergonomía y soportar mayores fuerzas transversales que se producen cuando el automotor se encuentra en marcha; “Altura total”, y “Distancia entre asientos”, ya que la estatura promedio de los ecuatorianos es de 1.60 m – 1.70 m, lo cual permite obtener una mayor visibilidad, *confort* y evitar reducir posibles lesiones en caso de una colisión. En parámetros angulares se propone modificar: “Ángulo de base de asiento” y “Ángulo del respaldo” de tal forma que evite el deslizamiento de pasajeros cuando el bus realice movimientos bruscos. Finalmente, en lo que respecta a otros parámetros dimensionales, se plantea cumplir parámetros como: “Altura respaldo”, “Altura desde piso al centro del asidero”, “Claro libre entre asidero y respaldo”, “Sección del asidero de asiento” y “Largo asidero de asiento” que no se mencionan en la norma INEN 2205 y son necesarios, puesto que permitirán dar importancia no solo al pasajero que va sentado, sino también a los pasajeros que se sujetan

del asidero cuando van parados. Además, se plantea incorporar sobre la superficie del respaldo y base, en todos los modelos de asientos sin excepción; una zona texturizada o aumentar la rugosidad, que permita aumentar el coeficiente de rozamiento y así evitar el desplazamiento de los pasajeros. Adicionalmente, reforzar tanto el respaldo como la base mediante una armadura metálica a base de perfiles tubulares de acero (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2014).

Por último, los asientos deberán soportar diferentes fuerzas aplicadas cuando la unidad se encuentre en movimiento. En la *Figura 9* se indican las fuerzas aplicadas, el respaldo deberá soportar una fuerza horizontal en dirección de la marcha de la unidad de 5101 N, una fuerza horizontal contraria a la marcha del bus de 956 N y soportar una fuerza vertical en el centro del asiento de 1275 N (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2014).

Tabla 4. Propuesta de parámetros dimensionales de asiento

Nomenclatura	Parámetros	Valor (mm)	Parámetros (mm) INEN 2205	Nomenclatura	Parámetros	Valor (mm)	Parámetros (mm) INEN 2205
A	Ancho asiento individual	440 mín.	400	I	Ángulo respaldo de asiento	95° a 110°	100 – 105
B	Ancho de respaldo individual	420 mín.	400	J	Altura desde piso al centro del asidero	850 mín.	-
C	Profundidad	380 – 450	380	K	Claro libre entre asidero y respaldo	40 mín.	-
D	Ancho asientos continuos	900 mín.	900	L	Sección del asidero de asiento	31.8 – 40	-
E	Ancho respaldo asientos continuos	840 mín.	800		Altura total	881.8 – 890	900
F	Altura de asiento desde piso.	INEN 2205 400 – 420	400 – 420	M	Largo asidera de asiento	200 mín.	-
G	Altura respaldo	450 mín.	-	N	Distancia entre asientos	700 mín.	680 mín.
H	Ángulo de base de asiento	4° a 7°	2° - 6°				

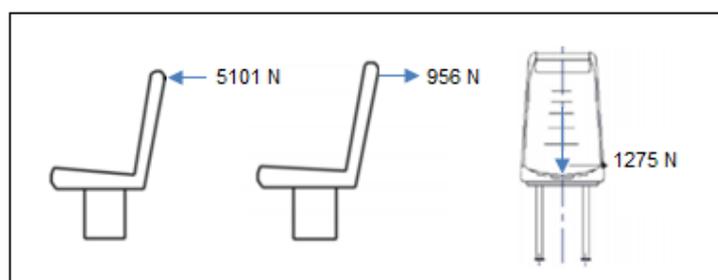


Figura 9. Propuesta gráfica – fuerzas aplicadas (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2014)

Resaltar que la propuesta de los parámetros dimensionales de los asientos es un complemento de los manuales de lineamientos técnicos de fabricantes originales; mejorando la seguridad y comodidad de los pasajeros en relación con los parámetros actuales de la norma INEN 2205, con especificaciones mínimas requeridas para los alcances y requerimientos necesarios, por lo que los fabricantes deberán considerar todos aquellos aspectos técnicos adicionales y comerciales y normas nacionales e internacionales en cuanto a funcionamiento y seguridad para el servicio de transporte público de pasajeros, en lo relativo a vialidades, tránsito vehicular, baches, reductores de velocidad (topes), topografía, etc.

4. Conclusiones y recomendaciones

Las normas y reglamentos que rigen sobre los buses de transporte público urbano en la ciudad de Quito son las siguientes: Norma INEN 2205 la cual define los requisitos de los buses urbanos, INEN 1323 que menciona requisitos para diseño, fabricación y montaje de carrocerías e INEN 034 que establece los elementos mínimos de seguridad.

A través de la prueba de hipótesis, el 59% y 45% de los parámetros en asientos de pasajeros y conductor, respectivamente; no cumplen con la norma. En este contexto, por ejemplo, el parámetro “Altura desde piso a base en asientos de pasajeros” no cumple con la norma de acuerdo con la hipótesis alternativa, así como tampoco con el intervalo de confianza construido alrededor de este.

Con el análisis de componentes principales; se identificaron tres grupos tanto para asientos de pasajeros como de conductor, cada uno de los cuales poseen características similares de acuerdo con determinados parámetros dimensionales, que se relacionan con los porcentajes calculados para las dos primeras componentes principales.

El cumplimiento de la norma INEN 2205; con respecto a distintos parámetros dimensionales es heterogéneo, puesto que el porcentaje de no cumplimiento es relativamente bajo en unos casos, mientras que en otros no. La propuesta gráfica se presentó con la finalidad de atenuar las consecuencias generadas por las inobservancias de la normativa.

Aplicar la propuesta para la actualización de la norma INEN 2205 y posteriormente en la fabricación de los asientos para buses de transporte urbano de la ciudad de Quito.

Realizar a base del método establecido en este estudio un análisis del cumplimiento de los parámetros dimensionales y de seguridad que indican las normas respecto a los asientos de buses de transporte público interparroquiales e interprovinciales.

Bibliografía

- Bernal, M., Daza, C., Rincón, O., Fajardo, J., & Barrero, L. H. (2014). *Parámetros para el diseño del espacio interno de vehículos de transporte*. Ponencia Conferencia comunidades seguras.
- Demoraes, F. (2005). *Movilidad, elementos esenciales y riesgos en el distrito metropolitano de Quito*. Quito: Colección Quito Metropolitano.
- Douglas Lind, S. W. (2012). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. México: Mc Graw Hill.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (14 de octubre de 2014). *Manuales técnicos de seguridad, accesibilidad, comodidad y fabricación de autobuses nuevos corto, mediano y largo, de piso alto, entrada baja y motor de aplicación delantera y trasera para prestar el servicio público de transporte de pasajeros*. México.
- Institute for Transportation and Development Policy, GTZ. (2006). *Opciones de transporte público masivo*. Eschborn: Manfred Breithaupt, Stefan Optiz, Karl Fjellstrom, Jan Shwaab.
- National Highway Traffic Safety Administration School, NHTSA. (octubre de 2002). *Crashworthiness Research*. Obtenido de NHTSA: <http://www.nhtsa.dot.gov>
- Organización de la Naciones Unidas, ONU. (1999). *Prescripciones relativas a la homologación de los asientos de los vehículos de gran capacidad*. Ginebra: ONU.
- Sanzi, H., & Asta, E. (2012). Lineamientos generales para el diseño estructural de bastidores y trailers. *22 jornadas argentinas de ingeniería estructural*, 1-11.
- Society of Automotive Engineers. (1994). *Securing Child Restraint Systems in Motor Vehicles*. Warrendale: SAE J1819.

Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente

(Design and implementation of an automatically controlled plastic bottles cutting recycling machine)

Luis Hidalgo Aguilera¹, Jimmy Imbaquingo¹, Daniel Mideros¹

Resumen:

Se ha diseñado una máquina automática para la obtención de hilos y cintas mediante un proceso de corte rotacional continuo. Esta máquina procesa botellas plásticas usadas como envases para almacenamiento y transporte de bebidas gaseosas y no gaseosas con capacidad de tres litros. Es un diseño mecatrónico, compuesto por sencillos sistemas mecánicos/neumáticos, eléctricos y de control, que permite procesar hasta cincuenta botellas por hora. Se puede obtener una variedad de productos comprendidos entre aproximadamente 46.5 m de longitud de hilo de 1.6 mm de espesor (ancho) y 11.3 m de longitud de cinta de 6.7 mm de ancho por botella. Estos productos son materia prima económica obtenida de material de desecho como son las botellas plásticas, elementos altamente contaminantes del ambiente por el pequeño porcentaje que es reciclado especialmente en Ecuador. Esta materia prima puede tener aplicaciones en algunos procesos de manufactura como son: la fabricación de escobas, cuerdas, canastos, fundas, elementos sujetadores entre otros.

Palabras clave: contaminante; envases; máquina; plástico; reciclaje.

Abstract:

An automatic machine has been designed to obtain threads and ribbons through a continuous rotational cutting process. This machine processes plastic bottles used as containers for storage and transportation of soft drinks and non-carbonated drinks with a capacity of three liters. It is a mechatronic design, composed of simple mechanical / pneumatic, electrical and control systems, which allows to process up to fifty bottles per hour. A variety of products can be obtained; from threads with approximately 46.5 m in length and 1.6 mm thick (width) to ribbons with 11.3 m in length and 6.7 mm in width per bottle can be obtained. These products are economic raw material obtained from waste material such as plastic bottles, which are highly polluting elements of the environment due to the small percentage that is recycled especially in Ecuador. This raw material can have applications in some manufacturing processes such as the manufacture of brooms, ropes, baskets, bags, fasteners among others.

Keywords: contaminant; containers; machine; plastic; recycling.

¹ Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador ({lahidalgo, icjd92912, dmideros}@ute.edu.ec).

1. Introducción

“La mitad del plástico que producimos se convierte en residuo en cuatro o cinco años” (Geyer, Jambeck, & Lavender Law, 2017). Se calcula que desde que se inventó el plástico hasta el año 2015 se han producido unos 8300 millones de toneladas métricas que correspondería a unos 1100 Kg por habitante en el mundo. De esta cantidad de plástico que se ha producido en la historia de la humanidad, todavía está en uso aproximadamente un 30 % es decir unas 2490 toneladas métricas, el 70% restante se ha convertido en residuos. Del total de estos residuos, el 79% ha sido arrojado en cualquier lugar del planeta contaminando el ambiente o en algún vertedero, el 12% ha sido incinerado y tan solo el 9% que significa aproximadamente unas 540 toneladas ha sido reciclado. Si continúa la tendencia actual de fabricación y gestión de plásticos, para el año 2050 habrá 13000 millones de toneladas de plásticos arrojadas en los vertederos o en el ambiente. Respecto a la incineración como medio de “eliminación” del plástico, no es nada aconsejable, debido a la emisión de gases y partículas perjudiciales para la salud y el ambiente. (Geyer, Jambeck, & Lavender Law, 2017).

En el Ecuador, al igual que en el mundo entero existe una gran preocupación por la eliminación de los desechos plásticos “sólidos” tal como las botellas utilizadas como recipientes contenedores principalmente de líquidos, las mismas que no son biodegradables razón por la cual resulta demasiado costosa tanto su presencia en el ambiente como sus intentos de eliminación.

Según el INEC (Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos), en el año 2014, el 11.78 % de los residuos sólidos recolectados a nivel nacional por los Municipios, corresponde a los plásticos; es el porcentaje más alto después de los residuos orgánicos que constituyen el 61,12% (INEC, 2015). De acuerdo con la misma fuente, en los últimos seis años, a nivel nacional los hogares muestran una tendencia a clasificar en mayor proporción el plástico, seguido por residuos orgánicos, papel / cartón y finalmente el vidrio, lo que ha dado como resultado que para el año 2015, esta proporción de plástico alcance el 32.7% (INEC, 2015).

Existen sistemas de reciclaje de desechos plásticos “sólidos”, los cuales en su gran mayoría son procesos de compactación y trituración, (García Villalba, Ponce Corral, Martínez López, & León Ordaz, 2016) cuyos productos son utilizados como complemento en procesos energéticos o de infraestructura (Pereira de Oliveira & Castro-Gomes, 2011), mas sin embargo, es muy poco lo que se ha trabajado en proyectos que involucren directamente la reutilización de las botellas plásticas, como por ejemplo la obtención de fibras en forma de hilos a partir de las botellas (Damián Eneque, 2016); permitiendo así la integración de esta actividad a un nuevo ciclo económico, generando la reutilización como materia prima para la elaboración de nuevos productos.

Por lo mencionado, el objetivo principal de este proyecto es diseñar e implementar una máquina automática para la obtención de hilos y cintas mediante un proceso de corte rotacional continuo a partir de botellas plásticas usadas como envases para almacenamiento y transporte de bebidas gaseosas y no gaseosas con capacidad de tres litros.

Los beneficios que se lograrán mediante la implementación de este dispositivo de reciclaje serán: la disminución considerable de contaminación que estos producen y una rentabilidad a todos los actores en el proceso, ya que las botellas plásticas desechables serán convertidas en nueva materia prima que puede ser utilizada como fibra para escobas, hilos para uso agrícola y confección de artesanías entre otros.

1.1 Etapas del reciclaje

Recolección: proceso de recogida de residuos plásticos separándolos de los orgánicos e inorgánicos. Por lo general este proceso lo inician personas recolectoras de

residuos en los basureros o lugares de acopio de basura, actividad a través de la cual han encontrado un medio de sustento.

Centro de Reciclaje: lugar en donde se reciben los residuos plásticos, para su posterior tratamiento.

Clasificación: proceso por el cual se agrupan los residuos plásticos de acuerdo con el tipo y color de plástico. En esta etapa, se valoran los residuos que pueden ser reciclados. La etapa final consiste en el reciclaje.

Reciclaje: proceso por el cual se transforman física, química o biológicamente los desechos plásticos con el objetivo de obtener nueva materia prima con la que se elaborarán los mismos o diferentes productos. (Nadales Díaz, 2017)

Hay que tener en cuenta que si bien el reciclaje mecánico tiene un mejor perfil ambiental que el químico, las fibras químicamente recicladas tienen una gama más amplia de aplicaciones que las fibras recicladas mecánicamente. (Shen, Worrell, & Patel, 2010)

1.2 Tipos de máquinas recicladoras

Existen una gran variedad de máquinas que son utilizadas en el reciclaje de botellas plásticas, las mismas que pueden ser agrupadas de la siguiente manera:

- 1.2.1 **Compactadoras:** permiten reducir considerablemente el volumen de los residuos reciclados mediante la aplicación de una fuerza de compresión sobre los residuos.
- 1.2.2 **Trituradoras:** permiten producir materiales de menor tamaño a partir de los materiales originales, esto se logra mediante la molienda de los materiales desechados.
- 1.2.3 **Granuladoras:** se encarga de reducir el tamaño del material obtenido de la trituradora para convertirlo en pequeños pedazos llamados gránulos o grageas.
- 1.2.4 **Máquinas cortadoras:** permiten extraer hilos de diferentes tamaños de las botellas plásticas recicladas mediante corte continuo. Pueden ser accionadas manualmente o por medio de un motor y de acuerdo con la posición de la botella pueden ser horizontales o verticales.
 - **Máquina cortadora vertical:** las botellas son colocadas en forma vertical en la cortadora, por lo general estas deben tener la base ya previamente cortada para su funcionamiento, en este tipo de máquina se pueden procesar hasta 5 botellas al mismo tiempo, pero es necesario la intervención del operador para colocarlas.
 - **Máquina cortadora horizontal:** las botellas son colocadas en forma horizontal, por lo general no es necesario la extracción de la base para su proceso, se puede procesar una sola botella y es necesaria la intervención del operador para sujetar la botella en la máquina.

Conviene aclarar que las máquinas cortadoras de botellas con el propósito de hacer hilos que se pueden encontrar localmente en el Ecuador son demasiado básicas y nada automáticas, por lo cual el proyecto se convierte en algo inédito que: contribuirá a reducir la contaminación ambiental, a generar fuentes de ingreso y a la elaboración de materia prima que podrá ser utilizada de manera directa o en la producción de otros elementos plásticos.

2. Metodología

Para el diseño de la máquina se siguió la metodología del modelo en V o de cuatro niveles, que es una representación gráfica de las relaciones temporales entre las distintas fases del ciclo de desarrollo de un proyecto (Inteco, 2009). Lo que significa que para cada fase del desarrollo existe una fase correspondiente o paralela de verificación o validación, es decir que para cada fase del desarrollo debe existir un resultado verificable (Flores, 2009).

2.1 Diseño geométrico / funcional de la máquina

- **Requerimientos:** como todo sistema mecatrónico, se determinó en la máquina un sistema mecánico/neumático, uno eléctrico/electrónico y uno de programación debidamente integrados de tal manera que se garantice la consecución de los objetivos planteados para el proyecto. Además se definieron rangos de valores para las variables que intervienen en el proceso como son: capacidad de producción, capacidad de almacenamiento, número y tipo de funciones, tipo de energía, interface hombre máquina. Para la materia prima se establecieron las dimensiones y condiciones de las botellas a procesar.
- **Limitaciones y restricciones:** se identificaron los procesos en los cuales se necesita la intervención del operador y se determinó que el tipo de materia prima a utilizar influye en el diseño de la máquina.
- **Diseño general del sistema:** se estableció de forma general la estructura del sistema con todos los elementos que debían conformar la máquina para su funcionamiento y la manera de cómo estos elementos debían interactuar entre sí.

2.2 Diseño específico de la máquina

- Para el diseño y/o selección de los elementos que conforman el sistema mecánico, se consideraron tanto los esfuerzos como las deformaciones máximas a las cuales estarían sometidos según el tipo de carga que se ejerzan sobre ellos, cuando la máquina opera a plena carga, cuidando que en ningún caso sobrepasen los permisibles establecidos para el material o el elemento mismo, además se tomó en cuenta que las dimensiones y características estén de acuerdo con las establecidas en los requerimientos (Budynas & Nisbett, 2008). Este sistema básicamente consta de: estructura, tolva de alimentación, ejes, tornillos sin fin, poleas, bandas, caja reductora y carrete de producto.

Tanto para el modelado mecánico y especialmente para la validación del diseño se hizo uso del *software* SolidWorks Simulation que determina el comportamiento de los desplazamientos de cada uno de los nodos, la deformación unitaria, las tensiones para cada uno de los puntos y del factor de seguridad, el mismo que como mínimo debe tener un valor de 2.5 de acuerdo con las recomendaciones de diseño (Gómez González, 2010).

- De acuerdo con las funciones que son: controlar el sistema de distribución, controlar el sistema de elevación, controlar el sistema sujetador y controlar el sistema de corte y con las cargas que deben soportar los elementos neumáticos que se muestran en la *Tabla 1*, al realizar estas funciones se diseñó el circuito correspondiente en el *software* Festo FluidSim (Valentín Labarta, 2012) de tal manera de poder simularlo y validarlo, luego de lo cual se seleccionaron los siguientes elementos: compresor, cilindros, electroválvulas, cañerías y accesorios complementarios (Serrano, 2009).

Tabla 1. Datos de los cilindros neumáticos.

Sistema	Carrera (mm)	Fuerza necesaria (N)	Fuerza cilindro seleccionado (N)
Distribución	125	23.94	120
Elevación	200	47.91	120
Punzón	50	47.91	120
Corte	50	217.87	228

- De acuerdo con las funciones que son: actuadores rotacionales como los motores, actuadores lineales como los cilindros neumáticos, sensores como los finales de carrera y de presencia; e indicadores y mando y las cargas de trabajo que deben soportar estos y otros elementos eléctricos / electrónicos complementarios se diseñó el circuito correspondiente a base del cual se seleccionaron los siguientes elementos: motores eléctricos, electroválvulas, contactores, disyuntor, relés, sensores, tarjeta de control, HMI, cables y accesorios complementarios (Bolton, 2016).

Para el diseño del circuito de control se utilizó el *software* PROTEUS 8.5 SP (Tojeiro Calaza, 2014), esta herramienta permitió diseñar el circuito electrónico, el circuito impreso, desarrollar el *software* y realizar pruebas de funcionamiento.

La PCB, sensores y actuadores son alimentados con una fuente conmutada que entrega 5 VDC – 5 A, 12 VDC – 1.5 A, para la PCB y los sensores se utiliza 5VDC, los motores de corriente continua son alimentados por una fuente adicional de 12 VDC – 22 A, las fuentes son conectadas directamente a la red eléctrica 220VAC.

- Se realizó la lógica de control de la máquina y el código para controlar la tarjeta PCB. Se hizo uso de los softwares: Bascon AVR para programar el microcontrolador en lenguaje Basic y Nextion Editor para desarrollar el interfaz de control y visualización entre el humano y la máquina (Siemens, 2015).

2.3 Pruebas de validación del funcionamiento de la máquina

Con el propósito de confirmar que la máquina cumplía con los requerimientos y el objetivo principal del proyecto planteado en la introducción del documento, es decir de validar su funcionamiento, se realizaron las siguientes pruebas:

- El funcionamiento en vacío de cada uno de los sistemas que la componen.
- El funcionamiento del sistema de control de acuerdo con la lógica de control establecida para la misma.
- El funcionamiento de la máquina tanto en modo semiautomático como en automático.
- Tiempos de corte.
- Grosor (ancho) del hilo (cinta) obtenido.
- Cantidad de fibra obtenida por botella.
- Calidad de corte.

3. Resultados y Discusión

3.1 Características generales de la Máquina

En la *Tabla 2*, se muestran los valores o el comportamiento de las características generales de la máquina.

Tabla 2. Características generales de la máquina.

Características	Valores / Comportamiento
Peso	120 Kg aproximadamente
Dimensiones	1800 x 1250 x 800 mm
Ruedas para su movilidad	4
Movilidad	Fácil en el área de trabajo

3.2 Características Técnicas

En la *Tabla 3*, se muestran los valores o el comportamiento de las características técnicas de la máquina.

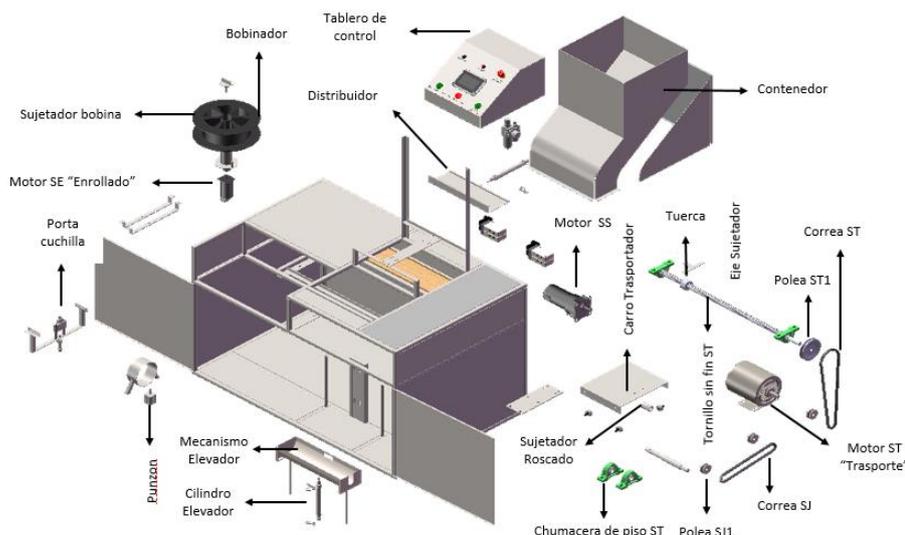
Tabla 3. Características técnicas de la máquina.

Características	Valores / Comportamiento
Funciones	Corte automático y semiautomático
Capacidad de proceso	30 botellas de 3 litros por hora
Suministro eléctrico	AC 220 V, bifásico
Potencia	1.5 kW
Requerimientos	Aire comprimido a 40 psi de presión
Control	Mediante HMI
Opciones	Monitoreo de productividad
Riesgos específicos	Atascamiento y corte

3.3 Componentes seleccionados

- Un sistema de almacenamiento y distribución
- Un sistema de elevación
- Un sistema sujetador
- Un sistema de transporte
- Un sistema de corte
- Un sistema de enrollamiento

La *Figura 1* muestra una vista explosión de los componentes de cada uno de los sistemas de la máquina recicladora por corte.

**Figura 1.** Máquina recicladora por corte.

La *Tabla 4*, muestra, el material o marca y la cantidad de los elementos que componen los sistemas de almacenamiento y distribución, de elevación, sujetador, de transporte, de corte, de enrollamiento, y neumático de la máquina

Tabla 4. Componentes de la máquina recicladora.

Lista de componentes de la máquina recicladora			
Sistema	Elementos	Cantidad	Material
Sistema de almacenamiento y distribución	Contenedor	1	ASTM 570
	Mecanismo distribuidor	1	ASTM A36
	Estructura tubo cuadrado de ¾"	1	ASTM A36
Sistema de elevación	Elevador	1	ASTM A36
	Base para elevador	1	ASTM A36
Sistema sujetador	Poleas de 2.5 in	2	ALUMINIO
	Banda Tipo A36	1	DAYCO
	Eje sujetador	1	AISI 1018
	Base roscada	1	AISI 1018
	Motor DC de ¼ Hp, 330 Rpm	1	KING
	Chumaceras de ¾"	2	NTN
	Base	1	ASTM A36
Sistema de transporte	Polea de 4.5"	2	ALUMINIO
	Banda Tipo A40	1	DAYCO
	Motor Trifásico de ¼ Hp	1	WEG
	Variador de Frecuencia de 0.37KW	1	OMRON
	Chumaceras ¾"	2	NTN
	Tornillo sin fin	1	AISI 1018
	Base para carro	1	ASTM A36
	Rodamientos 6200	4	NTN
	Ejes para rodamiento	4	AISI 1018
Sistema de corte	Portacuchillas	1	ALUMINIO
	Chuchilla	1	INOX
	Guía de corte	1	ASTM A36
	Eje guiador	1	ASTM A36
Sistema de enrollamiento	Soporte para caja reductora	1	ASTM A36
	Soporte para bobina	1	ASTM A36
	Bobina	1	PLASTICO
	Motor DC ¼ Hp, 20 Libras, 220 Rpm	1	KING
Sistema neumático	Unidad de mantenimiento 1/8" a 8 PSI	1	AIRTAC
	Reguladores de flujo	8	FESTO
	Cilindro neumático (16mmx125mm)	1	AIRTAC
	Cilindro neumático (16mmx200mm)	1	AIRTAC
	Cilindro neumático (16mmx50mm)	1	AIRTAC
	Cilindro neumático (22mmx50mm)	1	MAIDMAN
	Compresor 1/3 HP, 100 PSI	1	PORTER
	Cañería, diámetro 4mm	20 m	FESTO
	Electroválvulas 5/2 monoestable 110v	4	AIRTAC
	Accesorios y acoples	varios	AIRTAC

Tanto la *Figura 1* como las *Tabla 4* y *5* muestran todos los componentes de la máquina recicladora de botellas plásticas por corte que se obtuvo como resultado final

con sus diferentes sistemas, integrados para su funcionamiento de acuerdo con los objetivos planteados por medio de un sistema eléctrico/ electrónico, un sistema neumático y una lógica de programación.

En la *Tabla 5*, se muestran los componentes de los sistemas eléctrico y de control de la máquina.

Tabla 5. Componentes del sistema eléctrico y de control de la máquina recicladora.

Lista de componentes de la máquina recicladora			
Sistema	Elementos	Cantidad	Material
Sistema eléctrico y de control	Breaker 2P	2	SCHNEIDER
	Portafusibles	2	SASSIN
	Contactador	1	CHINT
	Relé auxiliares 8 pines 110 VAC	3	CAMSCO
	Fuente conmutada	1	
	Luz piloto verde 22 mm	2	CAMSCO
	Luz piloto rojo 22 mm	1	CAMSCO
	Pulsadores verde	1	CAMSCO
	Pulsadores rojo	1	CAMSCO
	Pulsador hongo NC/Retención	1	CAMSCO
	Puente H	1	
	Shield de relés 5Vdc	1	
	Regulador de voltaje	1	
	PCB	1	
	Pantalla TFT	1	NEXTION
	Borneras	50	KLEMSAN
	Micro Limit switch	6	ROLLER
	Sensor Fotoeléctrico	1	
Conectores, cable, canaleta, riel DIM, etc.			VARIOS

3.4 Circuito neumático

La *Figura 2*, muestra el circuito neumático mediante el cual se logra complementar el funcionamiento de los sistemas de distribución, de elevación, de sujeción y de corte.

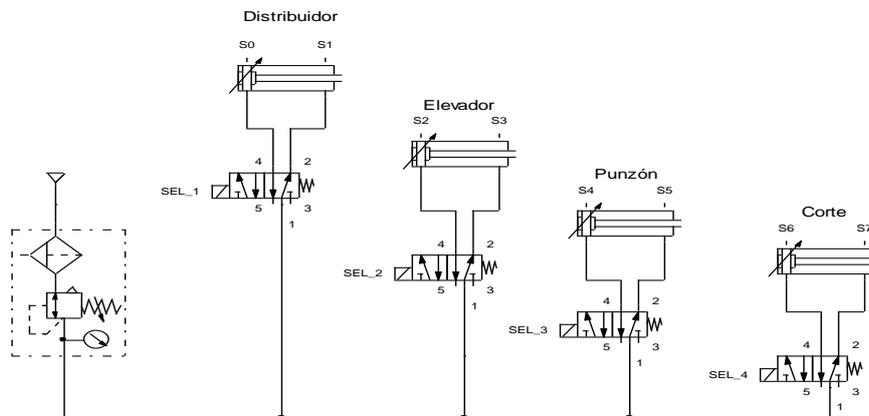


Figura 2. Circuito Neumático.

3.5 Tarjeta de control

El diseño virtual de la tarjeta/placa de control se lo realiza con ARES, todos los elementos fueron dimensionados exactamente para que coincidan con los componentes reales, en la *Figura 3*, se muestra el diseño final de la placa.

El circuito de potencia está aislado del circuito de control mediante un optoacoplador (MOC3021); este circuito integrado protegerá al microcontrolador de corrientes parásitas que puedan causar daños, la tarjeta de control tiene 6 circuitos de potencia independientes para cada uno de los actuadores.



Figura 3. Tarjeta de control.

3.6 Control del motor sujetador

Para controlar el cambio de giro del motor DC, se utilizan dos relés como se muestra en la *Figura 4*. Cuando se encuentra activado el relé RL1, se desactiva RL2 el motor gira en sentido horario y cuando se desactiva RL1 y se activa RL2 el motor gira en sentido antihorario.

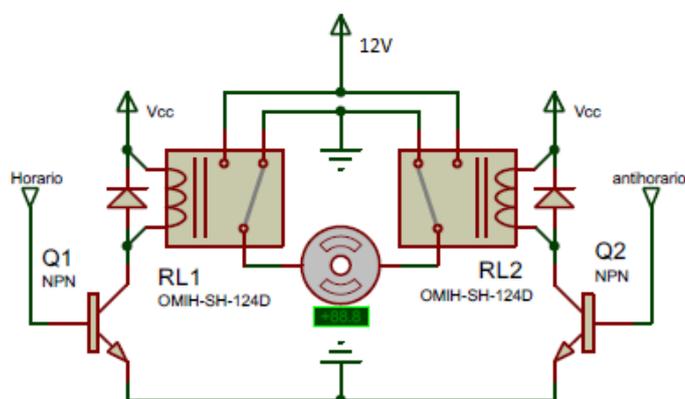


Figura 4. Circuito de control motor sujetador.

3.7 Lógica de control

La *Figura 5*, muestra en forma general el diagrama de flujo del sistema de control implementado para el funcionamiento de la máquina, desde el ingreso de la botella al

inicio del proceso, pasando por las diferentes etapas de corte, enrollado de los hilos o fibras y la eliminación o descarte del residuo.

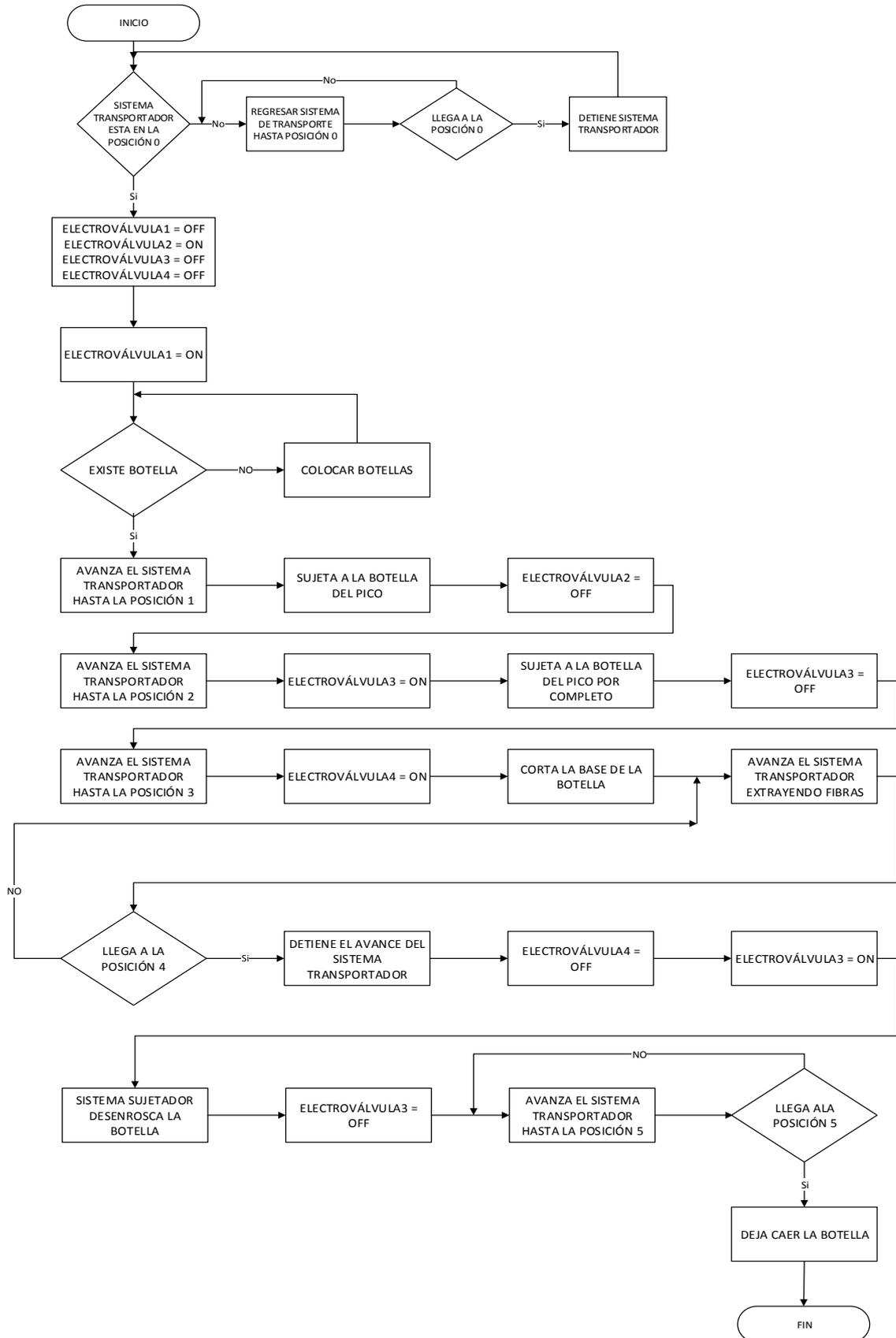


Figura 5. Diagrama de flujo de la lógica de control.

3.8 Pruebas realizadas

3.8.1 Tiempo de Corte

Las pruebas de corte se realizaron tanto en modo automático como en semiautomático.

En el corte semiautomático, el operario enrolla las fibras obtenidas utilizando el motor que se encuentra instalado en la máquina, mientras que en el corte automático, las fibras obtenidas no son enrolladas por el operario.

El tiempo de corte se tomó desde el arranque de la máquina y se consideraron cinco diferentes valores de frecuencia, estos valores determinan el grosor de la fibra, en la *Tabla 6*, donde se muestra el tiempo promedio que tarda una botella en ser cortada.

Tabla 6. Tiempo de corte promedio por botella.

Tiempo de corte, funcionamiento semiautomático	
Frecuencia	Tiempo que se tarda en procesar una botella
3 Hz	2 min 57 s
4 Hz	2 min 30 s
5 Hz	2 min 20 s
6 Hz	2 min 12 s
7 Hz	2 min 03 s
Tiempo de corte, funcionamiento automático	
Frecuencia	Tiempo que se tarda en procesar una botella
3 Hz	2 min 02 s
4 Hz	1 min 35 s
5 Hz	1 min 24 s
6 Hz	1 min 17 s
7 Hz	1 min 05 s

3.8.2 Grosor de la fibra

Las pruebas realizadas reflejan que el grosor de la fibra está en función de la frecuencia es decir en función de la velocidad del motor. En la *Tabla 7*, se registran los grosores promedios obtenidos en el corte.

Tabla 7. Grosor de las fibras obtenidas.

Grosor de la fibra	
Frecuencia	Grosor obtenido
3 Hz	1.6 mm
4 Hz	2.8 mm
5 Hz	4.0 mm
6 Hz	5.2 mm
7 Hz	6.7 mm

3.8.3 Longitud de la fibra

La longitud promedio de fibra obtenida por botella se encuentra en la *Tabla 8*, como se puede observar, depende también de la frecuencia, puesto que a menor grosor de fibra, seguro se va a obtener mayor longitud de la misma por botella.

Tabla 8. Longitud de las fibras obtenidas.

Longitud de fibras obtenidas por botella	
Frecuencia	Longitud obtenida
3 Hz	46.5 m
4 Hz	27.5 m
5 Hz	18.6 m
6 Hz	14.8 m
7 Hz	11.3 m

3.8.4 Máquina, producto y aplicaciones

En la *Figura 6*, se muestran: la máquina terminada, cuatro tipos de fibras o hilos que se pueden obtener en la misma, así como su aplicación inmediata como hilos sujetadores de las ramas en plantaciones de uvilla de la zona de Tabacundo, provincia de Pichincha, Ecuador.

**Figura 6.** Máquina, producto y aplicaciones.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas, la máquina tiene la posibilidad de trabajar tanto en modo automático como en semiautomático, posibilidades que no se encuentran en otras máquinas con similares propósitos es decir de reciclado por corte rotacional.

En modo automático se pueden procesar 30 botellas de tres litros por hora; se obtiene una longitud de hilo que está en función del grosor de la fibra, grosor que se calibra al variar la velocidad del motor por medio de la modificación de su frecuencia eléctrica.

Una de las principales ventajas de esta máquina automática es la producción de fibras de baja variación en el espesor, lo que es una característica de calidad y de seguridad en el funcionamiento de acuerdo con las aplicaciones o usos que se les de a estas fibras, característica que no se la puede obtener en otras máquinas de este tipo especialmente porque son manuales.

5. Conclusiones y recomendaciones

Se logró diseñar y construir una máquina automática (dispositivo mecatrónico) que cumple con los requerimientos de la sociedad actual, con el propósito de reciclar elementos que no son biodegradables y que al no ser correctamente gestionados se convierten en agentes de contaminación ambiental a gran escala, como es el caso de las botellas plásticas.

Tanto el tiempo de proceso de corte, como el grosor o espesor y la longitud de la fibra obtenida de una botella de tres litros depende de la velocidad del tornillo de potencia del sistema de transporte, variable que a su vez depende de la frecuencia eléctrica con la que se le ponga a trabajar al motor que lo acciona.

Por la diversidad de grosores o ancho de fibra que se puede obtener, también existen una diversidad de aplicaciones o usos que se les puede dar a estos productos de manera directa o indirecta, tales como: elementos de sujeción o de soporte, materia prima para la elaboración de cuerdas o sogas, materia prima para la elaboración de escobas, alfombras y recipientes contenedores como fundas, carteras y maletas.

En cuanto al costo de fabricación de la máquina, este puede reducirse al ser producida en serie y en cantidades mayores a un. De esta manera se facilita a personas naturales o jurídicas que con un mínimo de inversión decidan tener una fuente de generación de recursos económicos; al mismo tiempo se contribuye al cuidado del ambiente.

Sobre esta máquina se pueden realizar modificaciones que permitan dotarle de mayor versatilidad para procesar botellas plásticas de diferentes capacidades volumétricas, diferentes diámetros o secciones variables.

Bibliografía

- Bolton, W. (2016). *Mecatrónica*. México: Alfaomega.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México: McGraw Hill Interamericana.
- Damián Eneque, O. D. (2016). Implementación de una máquina generadora de hilo ecológico para la disminución de los desechos plásticos y el desarrollo sostenible de las playas del distrito de pimentel. *Revista Científica. Ingeniería. Ciencia, Tecnología e Innovación*, 30-36.
- Flores, E. (2009). *ingenieriadesoftware.mex.tl*. Obtenido de ingenieriadesoftware.mex.tl: <http://ingenieriadesoftware.mex.tl>
- García Villalba, L. A., Ponce Corral, C., Martínez López, E. J., & León Ordaz, J. (2016). Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET. *Culcyt. Cultura y Tecnología*, 63-71.

- Geyer, R., Jambeck, J., & Lavender Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 1,2.
- Gómez González, S. (2010). *SolidWorks Simulation*. México: Alfaomega.
- INEC. (2015). *Compendio Estadístico 2015*. Quito.
- Inteco. (01 de 06 de 2009). *jmpovedar.files.wordpress.com*. Obtenido de jmpovedar.files.wordpress.com:
<https://jmpovedar.files.wordpress.com/2014/03/curso-de-introduccion-a-la-ingenieria-del-software.pdf>
- Nadales Díaz, E. D. (2017). Fortalecimiento de la Cultura del Reciclaje y la Reutilización desde la Axiología Ambiental. *Revista Scientific*, 133-153.
- Pereira de Oliveira, L., & Castro-Gomes, J. (2011). Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar. *Construction and Building Materials*, 1712-1717.
- Serrano, N. (2009). *Neumática Práctica*. Madrid: Paraninfo.
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2010). Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 34-52.
- Siemens. (Mayo de 2015). *CatálogoProductosSiemens_Mayo2015.Pdf*. Obtenido de CatálogoProductosSiemens_Mayo2015.Pdf:
https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/argentina/Documents/CatalogoProductosSiemens_MAY2015.pdf
- Tojeiro Calaza, G. (2014). *Proteus: Simulación de circuitos electrónicos y microcontroladores a través de ejemplos*. Marcombo S.A.
- Valentín Labarta, J. L. (2012). *Introducción a los circuitos neumáticos*. Donostiarra.

Árboles y arbustos nativos potenciales para reforestación en la Sierra Central de Ecuador

(Potential native trees and shrubs for reforestation in the Central Sierra of Ecuador)

Jorge Caranqui Aldaz¹

Resumen:

Dentro del Plan Nacional de Restauración Forestal del Ministerio de Ambiente del Ecuador, se identificaron las especies utilizadas en los gobiernos autónomos parroquiales de las provincias de Chimborazo, Cotopaxi y Tungurahua. Las diferentes instituciones enviaron muestras al Herbario de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, donde se revisó que las mencionadas especies sean nativas y que correspondan a las zonas establecidas, para lo cual se usó el catálogo de plantas vasculares. Se procesó la información y se generaron 17 listados de especies forestales que pertenecen a 21 familias, 26 Géneros y 49 especies. La especie más frecuente es *Alnus acuminata Kunth* en todas las provincias. Las especies deberían ser generadas a partir de las condiciones ambientales de cada una de las provincias; las especies a utilizar en el programa deben ser exclusivamente nativas ya que se trata de conservar lo poco que tenemos aunque en una primera etapa se usen especies conocidas o de amplia distribución. Además, no todas las especies se pueden encontrar en poblaciones nativas, sino que solo se encuentran cultivadas, lo cual es necesario tomar en cuenta ya que los requerimientos de las especies para su desarrollo no son las mismas.

Palabras clave: restauración forestal; especies nativas; taxonomía; Ecuador.

Abstract:

Within the National Forest Restoration Plan of the Ministry of Environment of Ecuador, the ESPOCH herbarium identified the species used in the Autonomous Parochial Governments of the provinces of Chimborazo, Cotopaxi and Tungurahua. The different institutions sent samples to the Herbarium of the Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. We checked that the mentioned species are native and that they correspond to the established zones, for this the catalog of vascular plants was used. We processed the information from which 17 lists of forest species belonging to 21 families, 26 Genres and 49 species were generated. The most frequent species is *Alnus acuminata Kunth* in all provinces. The species should be generated from the environmental conditions of each of the provinces, and the species to be used in the program should be exclusively native since it is about preserving what little we have, even using known species in the first stage. In addition, not all species can be found in native populations, but only cultivated; this is, therefore, necessary to take into account since the requirements of the species for its development are not the same.

Keywords: contaminant; containers; machine; plastic; recycling.

¹ Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba – Ecuador
(jorge.caranqui@epoch.edu.ec)

1. Introducción

En Ecuador la deforestación es una problemática que demanda acciones concretas y sostenibles por parte de las autoridades competentes. Entre el período 1990- 2000 la deforestación promedio fue de 89.944 ha/año para una tasa de deforestación de -0.71 %, mientras que para el período 2000 - 2008 la deforestación promedio fue de 77.647 ha/año para una tasa de -0.66%. Además, durante el período 2008-2012 la deforestación fue de 65.880 ha/año para una tasa de -0,54% (Ministerio de Ambiente, 2014)

Los países tropicales son ricos en diversidad de especies. Un país relativamente pequeño como el Ecuador, se estima que tiene cerca de 2.000 diferentes especies de árboles (Jorgensen & León-Yáñez, 1999). Muy pocos de estos han sido objeto de una completa investigación; completa respecto a su potencial para la reforestación. La exploración botánica del Ecuador y sus países vecinos está en proceso de ser completada. Un conocimiento detallado de las especies amenazadas de extinción, es necesario ya que a nivel país ya fueron realizados inventarios florísticos (Jorgensen & León-Yáñez, 1999) Por observaciones y contacto con gente local, es obvio deducir que muchas especies leñosas de las laderas de los valles interandinos se han extinguido o están amenazadas de extinción (Brandbyge and Holm-Nielsen. 1991; Valencia et-al, 2000).

El Ministerio de Ambiente ha desarrollado el Plan Nacional de Restauración Forestal 2014- 2017 (Ministerio de Ambiente, 2014), con fines de conservación, como medida para contrarrestar la deforestación del país, procura mantener y/o mejorar la condición de la cobertura forestal del país. Este Plan mediante la resolución N°007-CNC-2012, el 30 de mayo del 2012 se atribuyen las competencias a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales (GADPRR) en temas de reforestación y forestación para fortalecer los procesos de restauración y recuperación de la conservación de la biodiversidad, la protección de recursos hídricos y del suelo en Ecuador (Ministerio de Ambiente, 2014).

En este contexto, para cumplir las metas del Plan Nacional de Restauración Forestal se necesita conocer las especies forestales nativas para realizar estas actividades. El objetivo del trabajo fue verificar si las especies seleccionadas eran nativas y si cumplen las funciones ecológicas que el programa requiere.

2. Métodos

2.1. Área de estudio

Se trabajó con las especies de los 17 GADPRR de la Sierra ecuatoriana localizados en Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi (*Tabla 1*).

2.2. Toma de datos

Los diferentes GADPRR enviaron muestras al Herbario de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo que utilizaron en el Plan, revisamos que las mencionadas especies sean nativas y que correspondan a las zonas establecidas, para esto se usaba el catálogo de plantas vasculares (Jorgensen & León-Yáñez, 1999; Missouri Botanical Garden, 2015), y finalmente se generaron listados de las especies de cada GADPRR a ser consideradas dentro del Plan.

Tabla 1. Ubicación de las localidades.

PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	ALTITUD (msnm)	COORDENADAS
Pungalá	Riobamba	Chimborazo	2840	01°52' S 78°30' W
Guanando	Guano	Chimborazo	2400	01°34' S; 78°31' W
Quimiag	Riobamba	Chimborazo	2720	01°39' S; 78°34' W
Cebadas	Guamote	Chimborazo	3200	01°54' S; 78° 39' W
Licán	Riobamba	Chimborazo	2858	01°40' S; 78°40' W
Palmira	Alausí	Chimborazo	3200	02°06' S; 78°43' W
Santa Fé de Galán	Guano	Chimborazo	3520	01°29'S; 78°31' W
Guano	Guano	Chimborazo	2600	01°36' S; 78°39' W
San isidro	Guano	Chimborazo	3040	01°36' S; 78°41' W
Calpi	Riobamba	Chimborazo	3100	01°39' S; 78°45' W
Achupallas	Alausí	Chimborazo	3370	02°17' S; 78°39' W
Canchagua	Saquisilí	Cotopaxi	3000	00°49' S; 78°40' W
Chugchilán	Sigchos	Cotopaxi	3200	00°47' S; 78°57' W
S J Poaló	Píllaro	Tungurahua	3200	01°07' S; 78°29' W
Baquerizo Moreno	Píllaro	Tungurahua	2950	01°12' S; 78°31' W
Yanayacu	Quero	Tungurahua	3100	01°27' S; 78°39' W
Aláquez	Latacunga	Cotopaxi	3200	00°51' S; 78°36' W

2.3. Análisis de datos

Se procedió a tabular y sistematizar los 17 listados de los GADPRR con sus respectivas frecuencias, además se utilizó el índice de similitud de Bray Curtis calculado en el programa PAST.

3. Resultados

Se obtuvieron 21 familias, 26 Géneros y 49 especies; las familias más frecuentes son *Asteraceae* con 5 especies, *Fabaceae* con 3, *Myrtaceae*, *Rosaceae* y *Bignoniaceae* con 2 especies (*Tabla 2*), están ordenados de mayor a menor frecuencia y se puede observar que la más representativa es *Alnus acuminata* en todas los GADPRR (17), *Sambucus nigra* en 13 de las 17 GADPRR, *Myrcianthes hallii* y *Buddleja incana* en 11 de las 17 GADPR, *Polylepis incana*, *Myrcianthes rhopaloides* y *Caesalpinia espinosa* en 9 de las 17 GADPRR, entre las más representativas.

El listado de la *Tabla 2* fue sometido a un análisis de Similitud de Bray Curtis el cual generó el dendrograma de la *Figura 1*. Hay tres grupos generados de la *Tabla 2* pero con inconsistencias como por ejemplo: Guano (GUA) y Achupallas (ACH) están en el mismo grupo afín pero Guano está a 2600m y Achupallas a 3370m (*Tabla 1*). Por la diferencia de altitud entre las dos zonas no deberían existir casi las mismas especies entre las dos zonas, porque estas no van a desarrollarse en tan alta variante altitudinal.

En la *Tabla 3* se pueden encontrar los listados con las altitudes mínimas y máximas a las que pueden desarrollarse las especies (Jorgensen & Yáñez, 2000). Además, no todas las especies se pueden encontrar en poblaciones nativas, sino que solo se encuentran cultivadas y según (Jorgensen & Yáñez, 2000) nos indica que tiene distribución nativa, esto es necesario tomar en cuenta ya que los requerimientos de las especies para su desarrollo no son las mismas.

Tabla 2. Listado de especies, ordenados desde las más frecuentes de los 17 GADPR.

ESPECIE	PUN	GUAN	QUI	CEB	LIC	PAL	SFG	GUA	SI	CAL	ACH	CA	CHU	SJP	BM	YA	ALA
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Sambucus nigra</i> L.	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1
<i>Myrcianthes hallii</i> (O.Berg) McVaugh	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
<i>Buddleja incana</i> Ruíz & Pav.	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Polylepis incana</i> Kunth	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1
<i>Cederla montana</i> Moritz ex Turcz.	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Juglans neotropica</i> Diels	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0
<i>Schinus molle</i> L.	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. Ex Kunth	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1
<i>Oreopanax ecuadorensis</i> Seem.	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
<i>Podocarpus sprucei</i> Parl.	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
<i>Vallea stipularis</i> L.f.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
<i>Senna multiglandulosa</i> (Jacq.) H.S.Irwin & Barneby	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Gynoxys hallii</i> Hieron	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Aegiphila ferruginea</i> Hayek & Spruce	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Baccharis latifolia</i> (Ruíz & Pav.) Pers.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
<i>Delostoma integrifolium</i> D.Don	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
<i>Polylepis reticulata</i> Hieron.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Gynoxys</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Ambrosia arborescens</i> Mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1

(PU: Pungalá; GUAN: Guanando; QUI: Quimiag; CEB: Cebadas; LI: Licán; PAL: Palmira; SFG: Santa Fé de Galán; GUA: Guano; SI: San Isidro; CA: Calpi; ACH: Achupallas; CAN: Canchagua; CHU: Chugchilán; SJP: San José de Poaló; BM: Baquerizo Moreno; YA: Yanayacu; AL: Aláquez)

4. Discusión

Para hacer exitoso las especies nativas de cada región en programas de restauración ecológica y/o reforestación es indispensable profundizar nuestro conocimiento sobre la biología, la ecología, la propagación y el manejo de las especies disponibles, a fin de posibilitar la domesticación de dichas especies y desarrollar técnicas eficientes de propagación de algunas de sus características más valiosas (Vásquez & Baltis, 1996).

Con los resultados obtenidos se demuestra que lo explicado en el párrafo anterior no se cumplió, lo que se hizo es buscar las especies más conocidas y fáciles de propagar las cuales no siempre van a dar los resultados esperados. Lo que también se debe destacar es que la especie más requerida *Alnus acuminata* (Tabla 2), es la especie con mayor distribución altitudinal y por esa condición se podría utilizar, pero desconocemos de otras condiciones ambientales de esta especie como es humedad, crecimiento, etc.

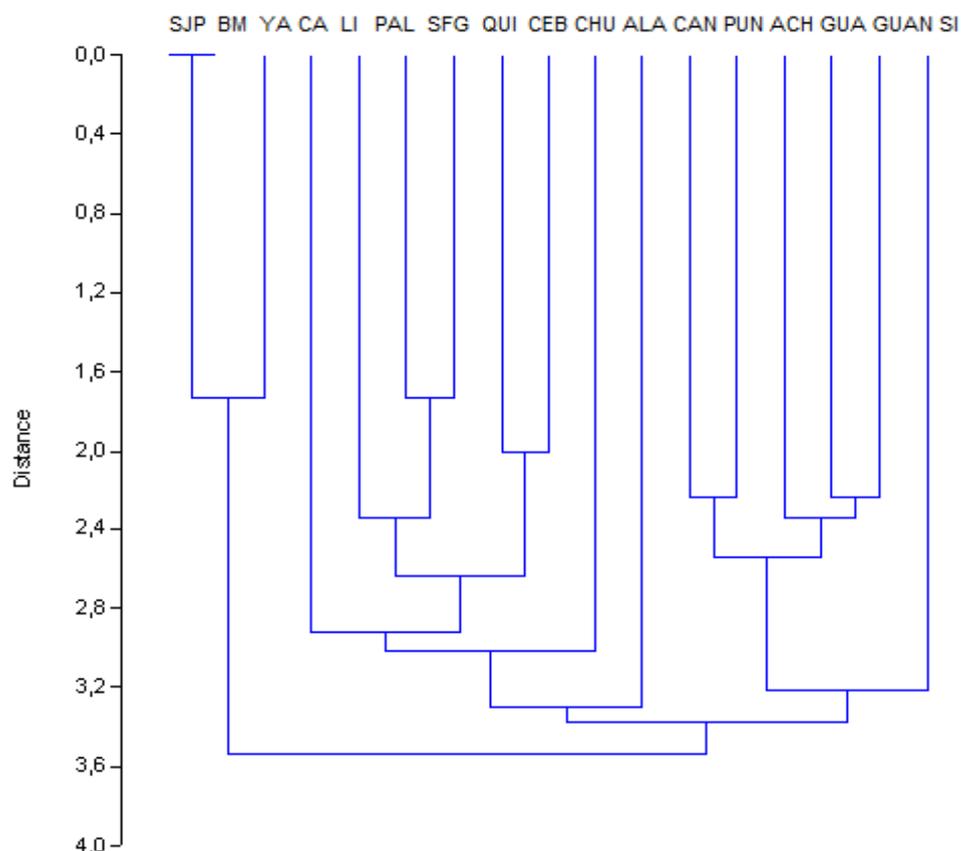


Figura 1. Dendrograma de Similitud de las especies solicitadas por los GADPR. PU: Pungalá; GUAN: Guanando; QUI: Quimiag; CEB: Cebadas; LI: Licán; PAL: Palmira; SFG: Santa Fé de Galán; GUA: Guano; Si: San Isidro; CA: Calpi; ACH: Achupallas; CAN: Canchagua; CHU: Chugchilán; SJP: San José de Poaló; BM: Baquerizo Moreno; YA: Yanayacu; AL: Aláquez

Tabla 3. Lista de especies con altitud mínima, máxima y hábito

FAMILIA	Especie	Altitud (-)	Altitud (+)	Nativa	Cultivada
BETULACEAE	<i>Alnus acuminata</i>	1500	4000	X	X
CAPRIFOLIACEAE	<i>Sambucus nigra</i>	1500	3000		X
MYRTACEAE	<i>Myrcianthes hallii</i>	2500	3000		X
SCROPHULARIACEAE	<i>Buddleja incana</i>	3000	4000	X	X
ROSACEAE	<i>Polylepis incana</i>	3000	4500	X	
MYRTACEAE	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	1500	4000	X	
FABACEAE	<i>Caesalpinia spinosa</i>	1500	3000		X
MELIACEAE	<i>Cedrela montana</i>	1500	3500	X	
JUGLANDACEAE	<i>Juglans neotropica</i>	2000	3500		X
ANACARDIACEAE	<i>Schinus molle</i>	0	3000		X
BIGNONIACEAE	<i>Tecoma stans</i>	500	3000		X
ARALIACEAE	<i>Oreopanax ecuadorensis</i>	2500	4000	X	X
PODOCARPACEAE	<i>Podocarpus sprucei</i>	2000	4000		X
MYRICACEAE	<i>Morella pubescens</i>	1500	4500	X	
ELAEOCARPACEAE	<i>Vallea stipularis</i>	1500	4000	X	
FABACEAE	<i>Senna multiglandulosa</i>	2000	3500		X

Para fines de conservación es fundamental que se protejan los bosques, ya que cada uno puede representar distintos elementos de la biodiversidad regional. Los bosques son recursos importantes para la reforestación por tener una diversidad de especies, en lugar de lo que se realiza actualmente, usar especies que nunca estuvieron en nuestro paisaje y además causa el desconocimiento en el uso de especies nativas

(Brandbyge & Holm-Nielsen, 1991; Suárez, 2008), ya que manifiestan que la recuperación de los bosques montanos es difícil. Hasta la fecha no se tiene suficiente información para hacerlo y la gente tomadora de decisiones, continúan con grandes campañas de reforestación, que están formando cualquier cosa menos bosque montano, en las cuales incluso en su planificación, no se está pensando en estos.

Asimismo, los esfuerzos para restablecer las especies nativas en proyectos de restauración ecológica forestal deben hacer hincapié en la reintroducción de muchas especies diferentes de árboles, a fin de reflejar la gran diversidad de especies dominantes representadas en diferentes bosques montanos; además de los daños que puedan causar en la retención de humedad y fertilidad del suelo como en la biodiversidad (Farley et-al, 2004; van Wesenbeeck et-al, 2003); pero de este tiempo a esta parte, no se han realizado estudios de largo plazo para utilizar especies nativas.

5. Conclusiones

- Las especies deberían ser generadas a partir de las condiciones ambientales de cada una de los GADPR.
- Las especies a utilizar en el programa deben ser exclusivamente nativas tomando en cuenta la biogeografía, pues se trata de conservar lo poco que tenemos aunque en una primera etapa se deban usar especies conocidas o de amplia distribución.
- Los estudios sobre la biología, la ecología, la propagación y el manejo de las especies disponibles son indispensables para mantener o recuperar el equilibrio ecológico de las zonas a restaurar.

Agradecimientos

A los/as técnicos/as del Programa de Restauración Forestal con fines de Conservación del Ministerio del Ambiente de la región central del Ecuador, por tomarme en cuenta para la realización de este trabajo. Así mismo al Ing. Marcelo Pino por los aportes al documento.

Bibliografía

- Brandbyge, J. and Holm-Nielsen, L. B. (1991). *Reforestación en los Andes con especies nativas*. CESA. Quito, Ecuador.
- Cleef, A.M. 2003. Strong effects of a plantation with *Pinus patula* on Andean subpáramo vegetation: a case study from Colombia. *Biol. Conserv.* 114:207–21
- Farley, K.A. Kelly, E.F. and R.G. Hofstede. (2004). Soil organic carbon and water retention following conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems* 7 (7)
- Jørgensen, P.M. y S. León-Yáñez (Eds.). (1999). *Catalogue of the Vascular Plants Ecuador*. Missouri Botanical Garden.
- Machado, M. & M. Morera. (2000). *Nombres comunes de las plantas y los animales de Canarias*. Academia Canaria de la lengua, 277.
- Ministerio de Ambiente. (2014). *Plan Nacional de Reforestación*. Documento. Quito, Ecuador.
- Missouri Botanical Garden. *Trópicos*. Base de datos.[Consulta de internet 16 Oct. 2015] <http://www.tropicos.org>
- Ricker, M. Castillo, M. Peña-Ramírez, V. y P. Mendoza-Márquez (2008). *Revisión del programa Pro-Árbol 2007, apoyos para la conservación y restauración*. México
- Suárez, D. 2008. Formación de un corredor de hábitat de un bosque montano alto en un mosaico de páramo en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 7 (1,2).

Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- Valencia, R. Pitman, N., León-Yáñez y S. y P.M. Jørgensen (eds.) 2000. *Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador 2000*. Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador
- van Wesenbeeck, B.K. van Mourik., T. Duivenvoorden .J. F and A.M. Cleef. (2003). Strong effects of a plantation with *Pinus patula* on Andean subpáramo vegetation: a case study from Colombia. *Biol. Conserv.*114:207–21
- Vázquez, C., & A. I Batis. (1996). La restauración de la vegetación, árboles exóticos versus árboles nativos. *Ciencias*, (043).



www.ute.edu.ec

EnfoqueUTE

REVISTA

Volumen 8
Número 5
Diciembre 2017

e-ISSN 1390-6542
p-ISSN 1390-9363



**TRAS
CIEN
DE**

DONDE
NADIE
HA
LLEGADO