

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR



CVR – CENTER FOR WASTE VALORISATION (PORTUGAL)

BOOK OF PROCEEDINGS VII INTERNATIONAL CONGRESS

Application, transport and fluid storage in
industrial process, hydrocarbons
and environment

VII ICACFS 2020



2020 21th - 23th
October
Riobamba

TOPICS

- ✓ *INDUSTRIAL PROCESSES AND SIMULATION*
- ✓ *THERMODYNAMICS AND ENERGY*
- ✓ *BIOTECHNOLOGY*
- ✓ *CLIMATE CHANGE AND ENVIRONMENTAL SANITATION*
- ✓ *MINING*
- ✓ *HEALTH AND SAFETY*

Code: VII-C-ICATSIHEP-FC-ESPOCH-2020-0024DP
ISBN-978-9942-801-20-3

Proceeding Book
VII International Congress
Application, transport and fluid storage in industrial process,
hydrocarbons and environment

EDITION

GIADÉ – Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH

EDITORS

Ing. Hanníbal Brito M. Ph.D.	Chair of the Organizing Committee
Ing. Gustavo Pinto MSc.	Dean FIGEMPA UCE
Ing. Gabriel Armas	Environmental Engineering UCE
Dr. Marco Gonzáles	Petroleum UCE

COVER DESIGN

Ing. César Puente Ph.D.	Chemical engineering ESPOCH
Ing. Karina Salazar MSc.	Aqlab
Ing. Augusta Guadalupe MSc.	Amazon State University

ISBN-978-9942-801-20-3

october 2020

HONOR COMMITTEE

- ✓ *Byron Vaca Barahona Ph.D. Rector of the Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador.*
- ✓ *Fernando Sempértégui Ph.D. Rector of the Central University of Ecuador, Ecuador.*
- ✓ *Edmundo Caluña Mg. Dean of the Faculty of Sciences. Higher Polytechnic School of Chimborazo (ESPOCH).*
- ✓ *Gustavo Pinto MSc. Dean of the Faculty of Engineering in Geology, Mines, Petroleum and Environmental (FIGEMPA). Central University of Ecuador.*
- ✓ *Humberto González MSc. Dean of the Faculty of Chemical Engineering. Central University of Ecuador.*
- ✓ *Cándida Guerra Ph.D., University Minho (GUIMARAES – PORTUGAL)*
- ✓ *Bolívar Flores Mg. Director of Chemical Engineering. Higher Polytechnic School of Chimborazo (ESPOCH).*
- ✓ *Teresa Palacios MSc. Director of Environmental Engineering Career. Faculty of Engineering in Geology, Mines, Petroleum and Environmental (FIGEMPA). Central University of Ecuador.*
- ✓ *Bolívar Enríquez MSc. Director of Petroleum Engineering Career. Faculty of Engineering in Geology, Mines, Petroleum and Environmental (FIGEMPA). Central University of Ecuador.*
- ✓ *Marco Rosero MsC. Chemical Engineering Career Director. Faculty of Chemical Engineering. Central University of Ecuador.*

ORGANIZING COMMITTEE

- ✓ *Ing. Hannibal Brito Ph.D. (Chair of the Organizing Committee)*
- ✓ *Félix Andueza Ph.D. REDCA President (Ecuadorian Network of Environmental Sciences Careers), Ecuador.*
- ✓ *Ing. Bolívar Enríquez (Environmental Engineering Career UCE)*
- ✓ *Ing. Teresa Palacios (Environmental Engineering Career UCE)*
- ✓ *Ing. Violeta Dalgo (Chemical Engineering Career ESPOCH)*
- ✓ *Ing. Gabriela Chango (Mechanical Engineering Career ESPOCH)*

SCIENTIFIC COMMITTEE

- ✓ *Profesor Eng. José Manuel López Nieto Ph.D. Polytechnic university of Valencia, Spain*
- ✓ *Profesor Dr. José Manuel Herrero Martínez Ph.D. Universitat de València, Spain*
- ✓ *Profesor Dr. Edwin Palacio Ph.D. Universitat de les Illes Balears, Spain*
- ✓ *Professor Erika Vagi Ph.D. Budapest University of Technologies and Economics, Hungary*
- ✓ *Professor André Ribeiro Ph.D. CVR – Center for Waste Valorisation, Portugal*
- ✓ *Eng. Norma Gaibor Ph.D., University of Minho, Portugal*
- ✓ *Profesor Félix Andueza Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Profesor Ullrich Sthal Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Profesor Sergio Lira Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Profesor Pablo Araujo Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*

- ✓ *Dr. Yonathan Parra Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Eng. Teresa Palacios MSc., Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Dr. Cesar Chávez Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Dra. María Gabriela Leal Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Dra. Elvia Victoria Cabrera Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Eng. Carolina Montero Ph.D. Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Dra. Sheila Serrano Ph.D. Salesian Polytechnic University, Ecuador*
- ✓ *Professor Eng. Khaled Hamad Ph.D. National Polytechnic University, Ecuador*
- ✓ *Professor Geovanny Del Pozo Ph.D. Technical University of Ambato, Ecuador*
- ✓ *Professor Gerardo Medina Ph.D. IKIAM, Ecuador*
- ✓ *Professor Robert Cazar Ph.D. Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Professor Luis Flores Ph.D. Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Dr. Fabián Ernesto Arias Ph.D. Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Eng. Diego Burbano Ph.D. Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Eng. Violeta Dalgo MSc. Higher Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador*
- ✓ *Eng. Ramiro Villegas Ph.D. Quevedo State Technical University, Ecuador*
- ✓ *Eng. Nelly Flores Ph.D. Superior Polytechnic School of the Army, Ecuador*
- ✓ *Eng. Cristian Flores MSc., Central University of Ecuador, Ecuador*
- ✓ *Eng. Anabel Chariguamán, Estatal Amazónica University, Puyo, Ecuador.*
- ✓ *Eng. Clara Ruiz, FISSO, Ecuador.*

ORGANIZED BY



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO

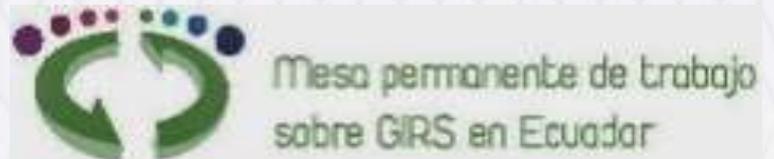


UNIVERSIDAD CENTRAL DEL
ECUADOR



CVR – CENTER FOR WASTE
VALORISATION (PORTUGAL)

SPONSORED BY



FROM THE EDITOR

Dear colleagues,

*It is with great pleasure that we bring to you this **Book of Proceedings** developed within the context of the VII International Congress Application, transport and fluid storage in industrial process, hydrocarbons.*

The VII ICATFS 2020, which takes place annually, is a platform for scientists and representatives of the productive sector of industry, hydrocarbons and the environment from all over the world to share their experiences and knowledge with all attendees. Discussions about the balance between economic, environmental and social outcomes are carefully addressed. The development of innovative techniques, tools and strategies on industrial processes, hydrocarbons and the environment can help in the economic, social and environmental development of a country.

This editorial work continues the publication of scientific articles developed around oral presentations at this international congress, taking the scope of this scientific and technological event beyond the limits of its physical occurrence.

This issue contains 17 papers presented at the edition of 2020. They consist of improved and developed scientific papers, constituting an additional outcome to the conference.

The scientific articles are divided into the following subject areas: industrial processes and simulation, thermodynamics and energy, biotechnology, climate change and environmental sanitation, mining, health and safety.

We hope you benefit from the investigation papers presented and that they encourage you to bring your work to the 2021 edition, in Ecuador.

*Chair of the Organizing Committee
Hannibal Brito M.*

INDEX

<u>1 LA MORINGA OLEÍFERA COMO FLOCULANTE EN AGUAS SERVIDAS DE LA PARROQUIA EL CAMBIO</u>	9
<u>2 UTILIZACIÓN DE LAS FIBRAS DE COCO COMO UNA ALTERNATIVA DE DESARROLLO ECONÓMICO EN LA PARROQUIA TARQUI, CANTON PASTAZA, PROVINCIA DE PASTAZA</u>	17
<u>3 TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE UNA CELDA EMERGENTE EN UN RELLENO SANITARIO</u>	28
<u>4 FERTILIZANTES Y PLAGUICIDAS ORGÁNICOS PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL SITIO GALAYACU</u>	37
<u>5 EXTRACCIÓN DE PROTEÍNA DE SYNSEPALUM DULCIFICUM</u>	46
<u>6 IMPORTANCIA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL RECURSO VEGETAL DE LA PARROQUIA SAN JUAN, CANTÓN RIOBAMBA</u>	62
<u>7 ANÁLISIS DEL POTENCIAL TOXICOLÓGICO DE LOS PLAGUICIDAS METALDEHÍDO, METOMIL Y EL COADYUVANTE POLIÉTER POLIMETILSILOXANO SOBRE ARTEMIA SALINA</u>	74
<u>8 REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, DE LA EMPRESA TEXTIL ANDELAS, UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL AMBATO</u>	84
<u>9 USO DEL MODELO HEC-HMS PARA LA EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL</u>	93
<u>10 VULNERABILIDAD Y RIESGO CLIMÁTICO TERRITORIAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA, PROVINCIA DEL AZUAY</u>	113
<u>11 SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA ADSORCIÓN DE PARACETAMOL E IBUPROFENO EN MAZORCA DE MAÍZ</u>	129
<u>12 RECUPERACIÓN POR MEDIO DEL MÉTODO DE REDUCCIÓN DE HIERRO DE LODOS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE LA ACERÍA</u>	141
<u>13 FACTIBILIDAD DE INYECCIÓN DE AGUA MEDIANTE BOMBA ELECTROSUMERGIBLE EN UN CAMPO PETROLERO</u>	156
<u>14 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE LENTEJA (LENS CULINARIS)</u>	166
<u>15 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN A PARTIR DE ARROZ (ORYZA SATIVA L.)</u>	174
<u>16 OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE (MUSA PARADISIACA L.)</u>	181
<u>17 OBTENCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DEL PLÁTANO DE SEDA (MUSA PARADISIACA)</u>	188
<u>18 INCIDENCIA DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN EN LA FABRICACIÓN DEL ALMIDÓN DE LA PAPA SUPERCHOLA (SOLANUM TUBEROSUM L.)</u>	195
<u>19 IDENTIFICACION DE LOS GRUPOS FUNCIONALES EN COLORANTES NATURALES</u>	201

1
Recibido: 2020/05/28
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

LA MORINGA OLEÍFERA COMO FLOCULANTE EN AGUAS SERVIDAS DE LA PARROQUIA EL CAMBIO

MORINGA OLEÍFERA AS A FLOCULANT IN SERVED WATERS OF THE EL CAMBIO PARISH

Espinoza Yuri^{1*}, Poma Darwin¹, González Karina^{1*}

¹Investigador Unidad Académica de Ciencias Sociales, Universidad Técnica de Machala, UTMACHALA

*Corresponding: yespinoza@utmachala.edu.ec

RESUMEN

El presente trabajo se encargará de evaluar los beneficios que se obtendrán a través de la semilla de moringa oleífera en aguas servidas para determinar los parámetros de turbidez, pH, conductividad eléctrica, dentro de las instalaciones de la Universidad Técnica de Machala, provenientes de la parroquia El Cambio, donde atraviesa un canal trayendo consigo el agua de las actividades diarias de los pobladores, la metodología para determinar los beneficios de la especie, se procedió empleando la semilla de la moringa triturada, realizando una agitación en el agua con el fin de mezclar el floculante en la solución para optimizar los resultados de la separación, que posteriormente serán analizados y diagnosticados en el laboratorio de la Unidad académica de ciencias agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala.

Las propiedades de la moringa que ayuda al proceso de floculación en el agua son: Núcleos y proteínas solubles en el agua con carga positiva que crecen y pueden ser removidos por gravedad o filtración, se evaluó el efecto del polvo de semilla de moringa como coagulante y floculante natural en el tratamiento de aguas residuales. La importancia de la utilización de la moringa oleífera en el agua y el proceso de clarificación que es similar a las propiedades que contiene el sulfato de aluminio en la captación de los residuos en las aguas. Por tal motivo es de vital importancia implementar nuevas alternativas que permitan el proceso de potabilización de agua sin generar daños al medio ambiente, la investigación se realizó con el fin de evaluar el efecto coagulante y floculante del polvo de semilla de moringa como alternativa de manejo de aguas residuales

Palabras Claves: Moringa oleífera, Floculación, Aguas servidas, Clarificación

ABSTRACT

The present work will be in charge of evaluating the benefits that will be obtained through the seed of moringa oleífera in sewage to determine the parameters of turbidity, pH, electrical conductivity, within the facilities of the Technical University of Machala, from the parish The Change, where it crosses a channel bringing with it the water of the daily activities of the settlers, the methodology to determine the benefits of the species, proceeded using the seed of the crushed moringa, realizing an agitation in the water with the purpose of mixing

the flocculant in the solution to optimize the results of the separation, which will later be analyzed and diagnosed in the laboratory of the Agricultural Sciences Academic Unit of the Technical University of Machala.

The properties of moringa that helps the flocculation process in water are: Nuclei and soluble proteins in water with positive charge that grow and can be removed by gravity or filtration, the effect of moringa seed powder as coagulant and natural flocculant in wastewater treatment. The importance of the use of moringa oleifera in water and the clarification process that is similar to the properties that aluminum sulfate contains in capturing waste in water. For this reason, it is of vital importance to implement new alternatives that allow the process of water purification without causing damage to the environment, the research was conducted in order to evaluate the coagulant and flocculating effect of moringa seed powder as an alternative to the management of sewage water

Key words: *Moringa oleifera, flocculation, wastewater, clarification*

INTRODUCCIÓN

Las aguas servidas provenientes de los hogares de la ciudad de Machala (F11), atraviesan por un canal detrás de la Universidad Técnica de Machala (Fig2), contienen todo tipo de contaminantes como: aceite, espumantes, heces, desechos sólidos, materia orgánica en descomposición, provoca enfermedades, vectores, malos olores y no es saludable para ningún ser vivo cerca de esas aguas, que incluso transitan por bananeras.

Con la semilla triturada de la planta moringa oleifera se trata de evaluar el porcentaje de disminución en los parámetros de PH, conductividad eléctrica mediante análisis periódicos de la reacción que ésta tiene en el agua servida.

En efecto se pudo observar el contraste que se tuvo al momento de mezclar la semilla de la moringa oleifera como solución testigo, en polvo y solución madre. Pudiendo manifestar que en esta última los parámetros bajaron, dando efectividad a la moringa oleifera como un floculante natural para aguas servidas.



Figura 1 Muestreo en el canal con una jeringa



Figura 2 Universidad Técnica de Machala, Unidad Académica de Ciencias Social

En la actualidad se usan procesos para la utilización del agua en diversas actividades antrópicas, llenas de químicos y sustancias tóxicas para la composición natural de este líquido vital, aunque existen procesos para la desinfección y salubridad, se ha querido introducir métodos naturales que existían en el pasado. La semilla de la moringa oleífera es conocida por sus proteínas y propiedades antimicrobianas que ayudan a reducir la carga orgánica de las aguas servidas (Paredes, 2013), se creía que las personas mezclaban la semilla de la moringa oleífera en el agua para que sirva como coagulante natural y tomarla enseguida, ya que tenía sus componentes que purificaban el agua de todo microorganismo. En la actualidad se han realizado estudios que comprueban la efectividad de la semilla en el uso del agua, minorando ciertos parámetros que incluyen la carga orgánica, haciendo que atrape los contaminantes, sustituyendo posiblemente el sulfato de aluminio. (Avelino, Méndez, & Dávila, 2009).

La moringa oleífera es un árbol de hasta cuatro metros de altitud en su primer año, mientras que en toda su vida llega a medir de 10 a 12 m, crece mayormente en los países africanos desde hace miles de años, en condiciones áridas y secas. Este árbol también es conocido como el maravilloso, en los países de extrema pobreza se ha suplementado a la moringa como método alimenticio que ayude a disminuir el hambre, aumentar energías y vitaminas. (Bruhns, 2011).

La planta de la moringa oleífera viene de la familia Moringaceae, su semilla pesa alrededor de 0,3- 0,4g, y cada árbol puede llegar a producir 25000 semillas. (Avelino, Méndez, & Dávila, 2009).

En el Ecuador se cultiva con éxito y sus diferentes partes se utilizan en los sistemas indígenas de medicina para la prevención y el tratamiento de una variedad de enfermedades humanas tales como: la desnutrición, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes, las condiciones obstétricas, dolores reumáticos y articulares, infecciones microbianas, entre otros; además de poseer propiedades para el tratamiento de aguas residuales. (Farjana, 2003).

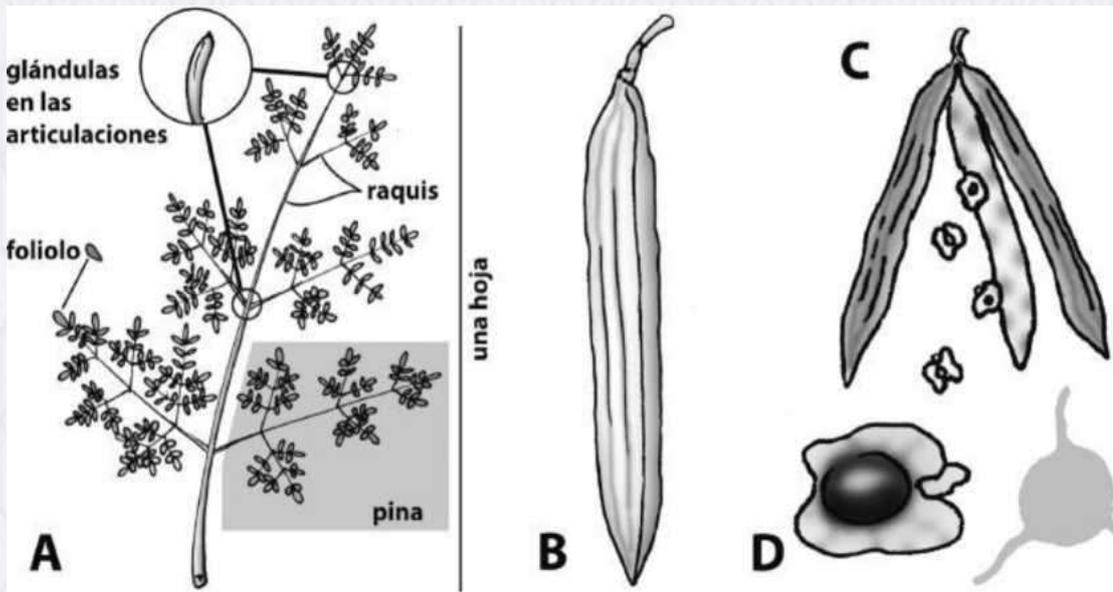


Figura 3 *Moringa oleifera*

La investigación ha comprobado que en las aguas recogidas en el canal mezcladas con el polvo de la moringa oleifera producía cambios en su estado físico, sin embargo, se sedimentaban provocando un desecho, mientras tanto mezclando el agua servida con la muestra madre (agua destilada y moringa oleifera) se pudieron observar los mismos cambios físicos, pero ésta vez sin residuos. Siendo ésta una alternativa para los coagulantes químicos.

METODOLOGÍA

La investigación se realizará en el laboratorio de biotecnología aplicada de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala. La muestra se obtendrá del canal que se encuentra en la vía ferroviaria el cual permanece en movimiento por la corriente de agua que recibe a diario de varias actividades como aguas servidas de la Universidad Técnica de Machala y viviendas cercanas. Para esta recolección se tomará la muestra en una jeringa a una profundidad de 10cm desde la superficie para luego colocarlo en un envase de vidrio de 500mL.

Preparación del polvo de las semillas de Moringa oleifera (M. oleifera)

El polvo de semillas de *Moringa oleifera* se obtendrá de plantaciones dentro de la UACA, semillas de alta calidad, jóvenes y no infectadas con enfermedad, serán seleccionadas. Las vainas se recolectarán con madurez técnica verde maduro, estas se abren y las semillas se secan en una estufa durante 24h a 70° C.

Una máquina de eliminación de cascarilla de arroz se utilizará para quitar la corteza externa y las alas de los granos. Los granos son machacados y molidos a un polvo fino mediano con molino doméstico.

Preparación de la solución de las semillas de Moringa oleifera (M. oleifera)

Solución madre de 10 gramos a razón de 10,000mg/L de *M. oleifera* después de extracción por infusión será puesta en un vaso precipitado y 400 ml agua destilada agregada durante 2 minutos para extraer los ingredientes activos. La suspensión resultante será filtrada a través de un papel de filtro y después será enrazada hasta 500ml para dar una solución de aproximadamente 10,000mg/L. se tomará de referencia trabajos en frascos de prueba de ensayos donde la solución madre de 10,000mg/L (una concentración de 1%) " un gramo de torta en 100ml de agua destilada " se encontró más eficaz para la eliminación de turbidez,

materia orgánica y metales pesados (Muyibi, Megat, Ahmadun, & Ameen, 2002) La solución de *M. oleifera* permitirá determinar la dosis efectiva para todas las unidades experimentales.

Modelo experimental

El esquema del montaje del experimento estará concebido en recipientes de erlenmeyer de capacidad de 50 ml, se utilizará para ello 3 unidades de recipientes para la valoración de los factores como concentración de *M. oleifera* (0,05 g/L; 0,01 g/L; 0,015 mg/L) y el factor tiempo de reposo (0,30 hora; 1 hora; 48 horas). De la misma manera para la solución madre se tomará 3 recipientes de erlenmeyer la concentración de solución stop de *M. oleifera* (750 uL/L; 1250 uL/L; 1750 uL/L).

Se tendrá presente como testigos los tratamientos con concentración 0,0 mg/L de *M. oleifera* y se tomará una muestra al iniciar el experimento que representará el tiempo 0 horas en el momento inicial. Los vasos de 50ml de capacidad se lavarán con agua destilada y se secarán, adicionando 50ml de la muestra de agua residuales porcícolas para verterlas en cada uno de los diez vasos. Las dosificaciones se agregan a cada uno de los vasos. Las variables a valorar serán pH, conductividad eléctrica y carga microbiana

Tabla 1 Datos de solución testigo

No.	PARÁMETRO	VALOR
1	pH	5,54
2	Conductividad eléctrica (US)	3,84

Fuente: Espinoza Yuri, 2019

El testigo consta de una probeta con 50 mL de la muestra de agua tomada del canal de la vía ferroviaria, presentando un pH de 5,54 y 3,84 en la conductividad eléctrica, esta muestra se denomina testigo porque servirá como indicador del funcionamiento de la moringa como floculante en las aguas residuales

Tabla 2 Datos experimentales del polvo de moringa (30 minutos)

No.	PARÁMETROS	T1	T2	T3
1	pH	6,57	7,10	6,53
2	conductividad eléctrica (uS)	3,22	3,23	2,99

Fuente: Espinoza Yuri, 2019

En la probeta 1 se aplicó una dosis de 0,05 g/L de moringa para evidenciar la efectividad de esta como floculante cuyos resultados después de 30 minutos de reacción fueron los siguientes:

El pH se elevó hasta 6,57 manteniéndose dentro de los parámetros permisibles, mientras que la conductividad eléctrica disminuyó llegando a 3,22 uS, haciendo evidente el funcionamiento de la moringa en estos parámetros.

En la probeta 2 la dosis aplicada fue mayor 0,1 g/L de moringa dando como resultado los siguientes valores; el pH aumento considerablemente de 5,54 a 7,10 mientras que la conductividad eléctrica disminuyó de 3,84 a 3,23 uS.

La probeta 3 dio los siguientes resultados; en el parámetro de pH el resultado que se evidencio fue mínimo con un aumento de 0,01 de la unidad de medida.

Se debe recordar que estos resultados fueron tomados al dejar reaccionar por 30 minutos el polvo de la semilla de moringa en 50 mL de agua residual tomada del canal de la avenida ferroviaria.

Tabla 3 Datos experimentales del polvo de moringa (1 hora)

No.	PARÁMETRO	T1	T2	T3
1	pH	6,54	6,56	6,58
2	Conductividad Eléctrica (uS)	2,83	3,00	3,04

Fuente: Espinoza Yuri, 2019

La segunda toma de datos se la realizo a los 60 minutos de la reacción del polvo de moringa en el agua residual, de igual manera con tres testigos y diferentes dosis de polvo de moringa aumentando la dosis en cada testigo. En la probeta 1 que contiene 0,5 mL/L se dieron los siguientes resultados el pH aumento en relación al testigo dando como resultado 6,54 de pH y disminuyo la conductividad eléctrica a 2,83 uS.

La probeta 2 con una concentración de 0,1 mL/L a la hora de reacción arrojó un valor de 6,56 en el PH manteniéndose en los límites permisible según el AM 097A anexo 1, mientras que la conductividad aumento en relación a la muestra 2 pero se mantiene bajo en relación a los valores del testigo.

Los valores de la probeta 3 muestran una mínima elevación tanto en pH como en conductividad eléctrica

Tabla 4 Datos experimentales del polvo de moringa (48 horas)

No.	PARÁMETRO	T1	T2	T3
1	pH	7,00	7,08	6,59
2	Conductividad Eléctrica (uS)	2,92	3,12	3,57

Fuente: Espinoza Yuri, 2019

En 48 horas mediante el experimento con el polvo de moringa se obtuvo los siguientes resultados: en el testigo 1 el pH muestra una dosis alta de 7 y conductividad eléctrica bajo de 2,92, lo que demuestra un alto nivel de acides. En el testigo 2 el pH sigue siendo alto con un resultado de 7,08 y una conductividad eléctrica baja de 3,12 por lo que el testigo dos también tiene un alto nivel de acides. El resultado en el testigo 3 tiene un pH de 6,59 y una conductividad de 3,57 por lo que mantiene el nivel acto de acides.

Tabla 5 Datos experimentales de solución madre m. Oleífera (30 minutos)

No.	PARÁMETRO	T1	T2	T3
1	pH	4,6	3,11	3,04
2	Conductividad Eléctrica (uS)	6,96	4,87	7,00

Fuente: Espinoza Yuri, 2019

El testigo 1 contiene una dosis de 750 uL/L de solución stop de moringa, para comprobar la acción de la misma como floculante, se obtuvieron los siguientes resultados después de 30 minutos: El pH bajó a un 4,6 evidenciando acidez, mientras que los índices de conductividad subieron a 6,96 que indican que aumento la conductividad eléctrica de la muestra.

El testigo 2 contiene una dosis de 1250 uL de solución stop de moringa de 30 minutos se obtuvo el siguiente resultado: Los índices del pH descendieron a 3,11 siguiendo con la línea de acidez, y la conductividad mantuvo un 4,87 que representa un bajo aumento en la conductividad eléctrica.

El testigo 3 contiene una dosis de 1750 uL/L de solución stop de moringa de 30 minutos se obtuvo el siguiente resultado: El índice de pH bajó a un 3,04 resultando ácida la muestra, el nivel de conductividad se elevó sobre un 7,00.

Tabla 6 Datos experimentales de solución madre M. oleífera (1 hora)

No.	PARÁMETRO	T1	T2	T3
1	pH	4,79	3,35	3,26
2	Conductividad Eléctrica (uS)	6,51	6,52	6,24

Fuente: Espinoza Yuri, 2019

El testigo 1 contiene una dosis de 750 uL/L de solución stop de moringa, para comprobar la acción de la misma como floculante, se obtuvieron los siguientes resultados después de 1 hora. El pH muestra un bajo descenso llegando a un nivel de 4,79 y los niveles de conductividad se elevaron a un 6,51 lo que denota un alto nivel de capacidad de conducción eléctrica en la muestra.

El testigo 2 contiene una dosis de 1250 uL/L de solución stop de moringa de 1 hora se obtuvo el siguiente resultado: Los niveles del pH bajaron a 3,35 lo que indica acidez, el nivel de conductividad eléctrica de la muestra llega a un alto 6,52.

El testigo 3 contiene una dosis de 1750 uL/L de solución stop de moringa de 1 hora se obtuvo el siguiente resultado: El índice de pH bajó a 3,35 evidenciando acidez y la conductividad subió a un alto 6,52 lo que mostró un nivel de capacidad de conducción eléctrica muy alta.

Tabla 7 Datos experimentales de solución madre M. Oleífera (48 horas)

No.	PARÁMETRO	T1	T2	T3
1	pH	8,29	7,39	6,61
2	Conductividad Eléctrica (uS)	4,91	3,54	3,57

Fuente: Espinoza Yuri, 2019

El testigo 1 contiene una dosis de 750 uL/L de solución stop de moringa, y dentro de 48 horas se obtuvo un resultado de pH con una dosis alta de 8,29 y conductividad eléctrica con un nivel bajo de 4,91 lo que demuestra un alto nivel de acidez. El testigo 2 contiene una dosis de 1250 uL/L de solución stop de moringa y dentro de 48 horas se obtuvo un pH alto de 7,39 y una conductividad eléctrica baja de 3,54 siendo también su acidez alto. El testigo 3 contiene una dosis de 1750 uL/L de solución stop de moringa, dentro de 48 horas se obtuvo un pH alto de 6,61 y una conductividad de 3,57 lo que indica un índice alto de acidez.

CONCLUSIONES

La variabilidad en los parámetros analizados en el agua, pH y Conductividad Eléctrica; En el primer caso, donde se utilizó dosis de polvo de la semilla (Moringa oleífera) en las 3 diferentes muestras dejándolas reposar independientemente por 30 minutos, 1 hora y 48 horas; los valores del pH aumentaron considerablemente de 2 a 3 puntos, pero a pesar de este incremento no sobrepasa los límites máximos permisibles que lo estipula el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA) en su Libro 6, Anexo 1, donde indica un rango aceptable de pH de 6 a 9.

Por otro lado, los valores de las muestras donde se aplica la solución madre (Agua destilada + Semilla de Moringa), quienes tuvieron un tiempo menor de reposo (30 min, 1 hora) reflejaron una disminución en sus valores, ubicándolos por debajo de la norma establecida (TULSMA, Libro 6, Anexo 1), mientras que la muestra

que tuvieron mayor tiempo de reposo (48 horas), incrementó sus niveles ubicándolo dentro del rango permitido. Caso similar ocurre en el primer caso.

Claramente refleja que la acción de la semilla de la *Moringa oleífera* tiene una dependencia en el tiempo del cual se deja reposar a la muestra, como se refleja en los casos donde se le aplica el polvo de la semilla directamente, y otra, la solución madre.

En el segundo caso, la conductividad eléctrica, tanto en la aplicación de la semilla triturada como la solución madre, los valores resultantes no sufrieron mayor variabilidad, ya que se mantienen entre +/- 1 a 2 puntos de diferencia. Por lo que se puede concluir que la semilla de la *Moringa oleífera* no tiene acción considerable en la conductividad eléctrica del recurso, independientemente al tiempo de reposo que se les aplica a las muestras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brito H, et al. Optimización del sistema de tratamiento de efluentes generados en la lavandería y tintorería de jeans CORPOTEX. 2017.
2. Paredes P. El uso de *Moringa oleífera* como material natural para el tratamiento de agua potable en países en vía de desarrollo. *Revista Científica Yachana*. 2013.
3. Avelino M, Méndez N, Dávila T. Tratamiento de Aguas Residuales de Rastro Mediante Semillas De *Moringa Oleífera* LAM como Coagulante. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2009;; p. 523-529.
4. Bruhns E. *Moringa Oleífera: el árbol del maravillos*. Mentalo book. 2011.
5. Farjana N. In vitro antimicrobial activity of the compound Isolated from Chloroform Extract of *Moringa oleífera* Lam. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2003.
6. Muyibi S, Megat J, ETAL. Bench scale studies for pretreatment of sanitary landfill leachate with *Moringa oleífera* seeds extract. *International Journal of Environmental Studies*. 2002;; p. 59.
7. Presidencia de la República. Norma de Calidad y de Descarga de Efluentes. ; 2015.

2

Recibido: 2020/06/15
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

UTILIZACIÓN DE LAS FIBRAS DE COCO COMO UNA ALTERNATIVA DE DESARROLLO ECONÓMICO EN LA PARROQUIA TARQUI, CANTON PASTAZA, PROVINCIA DE PASTAZA

USE OF COCONUT FIBERS AS AN ALTERNATIVE FOR ECONOMIC DEVELOPMENT IN THE TARQUI PARISH, CANTON PASTAZA, PROVINCE OF PASTAZA

¹Enríquez Miguel¹, Mosquera Luis¹, Ruiz Josselyn¹

¹Investigador, Universidad Estatal Amazónica, Departamento de Ciencias de la Tierra

*Corresponding: menriquez@uea.edu.ec

RESUMEN

En Ecuador los niveles de pobreza aún son altos, sin embargo, existe un sin número de opciones para hacer frente a este problema social, oportunidades de negocio que sin duda permitirían impulsar el crecimiento productivo, de empleo y generación de ingresos. Una de ellas es la utilización o aprovechamiento de la estopa o cáscara de coco. Nuestro país es mega diverso en la generación de alimentos, por sus regiones que posee uno de los productos más comercializados a nivel de las ciudades es la venta del agua de coco, actividad que realizan las personas para brindar un servicio de venta del líquido generado en esta especie. La actividad económica expuesta ha generado un desecho abundante de la cáscara y fibras. El presente trabajo se basó en darle una alternativa de utilización de estas fibras, evitando que se desechen estos subproductos. Para la obtención de esta fibra se realizó un proceso de: recolección del subproducto de la fruta, agramado, pelado, lavado, secado, ablandado e hilado. La resistencia y durabilidad permitieron determinar y generar un proceso estandarizado de producción de calzado y adornos mediante estas fibras naturales. La industria textil utiliza fibra de coco para elaborar hilos, redes de pesca, así como rellenos para colchones, incluso para la fabricación de una pared. También tiene gran demanda para usarla como relleno en los asientos de vehículos, cuerdas, maceteros, discos para los arbustos, alfombras, tutores para plantas, etc.

Palabras claves: fibras de coco, durabilidad, megadiverso, subproducto.

ABSTRACT

In Ecuador poverty levels are still high, however, there are a number of options to address this social problem, business opportunities that would undoubtedly boost productive growth, employment and income generation. One of them is the use or exploitation of the tow or coconut shell. Our country is megadiverse in the generation of food, for its regions that has one of the most commercialized products at the level of cities is the sale of coconut water, an activity that people perform to provide a service to sell the liquid generated in this species. The economic activity exposed to generated that there is an abundant waste of the shell and fibers. The present work was based on giving an alternative use of these fibers, avoiding that these by-products are discarded. To obtain this fiber, a process was carried out: harvesting of the fruit by-product, agramo, peeling, washing, drying, softening, spinning. The resistance and durability allowed to determine and generate a standardized process

of production of footwear and adornments through these natural fibers. The textile industry uses coconut fiber to make threads, fishing nets, as well as fillings for mattresses, even for the manufacture of a wall. It is also in great demand to be used as a filler in vehicle seats, ropes, flowerpots, discs for bushes, carpets, plant tutors, etc.

Keywords: coconut fibers, durability, megadiverse, byproduct.

INTRODUCCIÓN

Determinar la aplicación de la estopa de coco para generar alternativas en el aprovechamiento de la fibra, mediante la aplicación artesanal que viabilice el procesamiento, con oportunidad de mejoramiento local, económico y ambiental para el mejoramiento socioeconómico de los productores de agua de coco de la parroquia Tarquí, Cantón Puyo, Provincia de Pastaza.

Mediante el objetivo se determina el trabajo en las siguientes etapas:

Análisis Funcional: Se trata de percibir las situaciones que causan no alcanzar satisfacción de metas y objetivos.

Establecimiento de Requerimientos Una vez identificado lo que debe alcanzarse o mejorarse, se procede a determinar, de forma específica y detallada, cada una de las funciones a desempeñar para establecer el cómo lograr las metas y objetivos. En este paso existen preguntas generales que pueden ser adaptables a cualquier situación a analizarse por el enfoque, entre ellas están: 1. ¿Qué se está haciendo? 2. ¿Cómo se está haciendo? 3. ¿Qué tan frecuentemente ocurre? 4. ¿Qué tan grande es la cantidad de decisiones? 5. ¿Qué tan bien se lleva a cabo la tarea? 6. ¿Existe algún problema? 7. Si el problema existe, ¿qué tan serio es? 8. Si el problema existe, ¿cuál es la causa principal?

Generación de Alternativas Teniendo la información necesaria de la parte del sistema que se desea mejorar, se desarrollan alternativas que ayuden a lograrlo, tomando como punto de referencia los requerimientos establecidos para la misma. Tales alternativas no son más que indicadores que ayudan a medir si se está alcanzando la mejora deseada.

Evaluación del sistema de información de indicadores. En esta etapa se evalúan las alternativas de los pasos anteriores, con aplicaciones de Ingeniería que justifique los resultados, para la toma de decisión en cuanto a los cambios o mejoras requeridos.

Fibras. - Es un filamento muy pequeño de material flexible resistente y elástico, lo cual la hace fácil de hilar. La fibra es una estructura de origen animal, vegetal, mineral o sintética parecida al pelo. Su diámetro no suele ser superior a 0.05 cm. Las fibras se utilizan, entre otras muchas aplicaciones, en productos textiles y se clasifican en función de su origen, de su estructura química o de ambos factores.

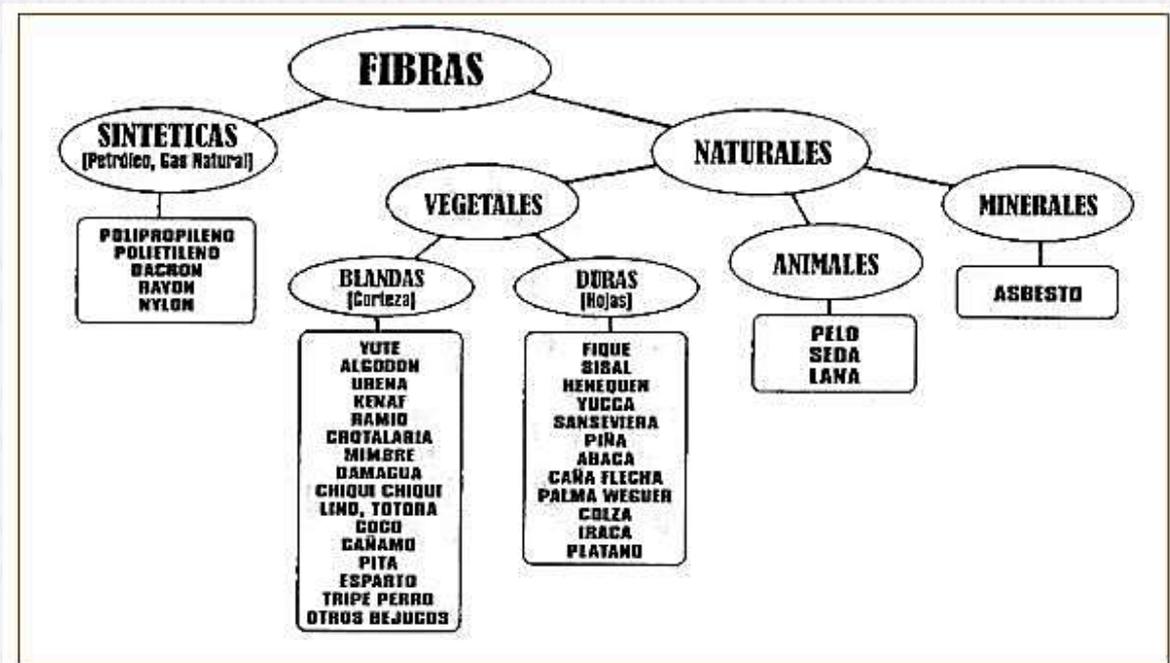


Diagrama 1 Clasificación de las fibras naturales y su materia

Los recursos naturales desempeñan un papel importante en las economías de todos los países del mundo, ayudando incluso en el área social de países en desarrollo. Por eso, no es sorprendente la creciente ola en la búsqueda de nuevas aplicaciones de procesos y productos originarios de fuentes renovables. Otro factor importante es la reducción de la contaminación ambiental, con el empleo de materiales obtenidos a partir de fuentes renovables. Entre los recursos naturales están las fibras naturales, que pueden clasificarse sobre la base de su origen: vegetal, animal o mineral. Las fibras animales normalmente se componen de proteínas (pelo, lana), mientras que, en las fibras vegetales, la celulosa es un componente siempre presente. Las fibras vegetales, o fibras lignocelulósicas, pueden clasificarse de acuerdo con el lugar de origen de su extracción de planta: hoja, fruto, tallo, raíz, semilla o pasto (RAZERA IAT, FROLLINI E, 2002).

El coco está constituido por una parte blanda interior y un líquido, a los cuales se les realizan procesos industriales para la obtención de grasas, aceites comestibles, confites y copra; sin embargo, también está constituido por la estopa o mesocarpio, que se encuentra entre el exocarpio duro o cubierta externa, y el endocarpio o envoltura dura, que encierra la semilla; el valor de ésta estriba en su contenido de fibra (fibra bonote), de la cual se pueden distinguir tres tipos principales: una larga y fina, una tosca y una más corta, material que se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa como agregado liviano, en la industria del concreto aligerado, con un doble fin: disminuir el peso de las estructuras y proporcionar un grado aceptable de resistencia (QUINTERO G., S.L 2003)

El coco está constituido por una parte blanda interior y un líquido, a los cuales se les realizan procesos industriales para la obtención de grasas, aceites comestibles, confites y copra; sin embargo, también está constituido por la estopa o mesocarpio, que se encuentra entre el exocarpio duro o cubierta externa, y el endocarpio o envoltura dura, que encierra la semilla; el valor de ésta estriba en su contenido de fibra (fibra bonote), de la cual se pueden distinguir tres tipos principales: una larga y fina, una tosca y una más corta, material que se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa como agregado liviano, en la industria del concreto aligerado, con un doble fin: disminuir el peso de las estructuras y proporcionar un grado aceptable de resistencia (Hernan, 2004).

La fibra de estopa de coco, también llamada fibra bonote, se puede clasificar en 3 tipos principales: una más larga y fina que se conoce con el nombre de fibra de esteras o hilo; una más tosca, que se conoce con el nombre de fibra de cerda, y una fibra más corta, conocida con el nombre de fibra para colchones [6]. En comparación

con otras fibras duras, la del bonote es relativamente corta, sus células fibrosas miden alrededor de 1 mm de longitud, en vez de un promedio de 2.5 mm en el caso de células de sisal, y 4.9 mm en las de abacá; las células de bonote tienen un diámetro medio de 15 micras, y un haz de fibras puede tener de 30 a 300 o más células en su sección transversal total. La fibra cortada de bonote varía entre 15 y 35 cm, en vez de promedios de 110 cm como en el caso del henequén, 140 cm el sisal y 240 cm el abacá. Su diámetro varía de 0,1—1,5 mm frente a 0,2-1 mm que tiene el abacá. La fibra de bonote tiene una capacidad de estiramiento de 29.04%, con un módulo de rigidez de 1,8924 dinas/cm² (PAZ, L.P, 2000).

El desarrollo de productos en base de fibra de coco, extraídas de la cascara de esta fruta, se presenta actualmente en el mundo como una oportunidad de desarrollo sostenible, para los menos favorecidos. Ya que de esta fibra se puede derivar diversos productos como: cabos, alfombras, maseteros, artesanías y sustratos para la agricultura (Loor, 2016)

El desconocimiento, preparación y liderazgo hacen que las comunidades ya sean estas regionales o locales no tengan una mentalidad emprendedora y visionaria; lo que los encierra en un círculo de confort lleno de paradigmas estructurales que ocasionan que no se generen nuevas alternativas de negocios. (D., 2013)

Esta investigación trata de aportar con un estudio sobre las posibilidades que existen para el aprovechamiento integral de la fibra del coco aplicado como producto alternativo para la comercialización con múltiples fines, como, por ejemplo, en la construcción: la fabricación de casas, elaboración de artesanías y sandalias (Loor, 2016).

La producción de cocotero o palmas de coco en el Ecuador tiene una mayor incidencia en tres provincias de la Costa y una de la Sierra, específicamente en Loja. En estas cuatro jurisdicciones se reparte la especie nucífera y sus variedades enano, gigante y el híbrido. Según el Censo Nacional Agropecuario, las palmeras de esta fruta están en Esmeraldas, Manabí, Guayas y Loja. La provincia que mayor producción tiene es Esmeraldas, con un número de hectáreas que alcanzan el 77,26% del total nacional, seguida de Manabí, con el 18,72%. En la 'Provincia Verde' el coco se concentra en el norte, en los cantones fronterizos: Eloy Alfaro y San Lorenzo del Pailón (Hernan, 2004)

Tabla 1 Comparación de las propiedades de fibras sintéticas y naturales

No.	PARÁMETRO	FIBRAS NATURALES	FIBRAS SINTÉTICAS
1	densidad	baja	Alta
2	costo	baja	Alta
3	reciclabilidad	alta	Baja
4	Consumo de energía	baja	Alta
5	Abrasión en equipos	baja	Alta
6	Riesgos cuando se inhalan	nula	Alta
7	biodegradabilidad	nula	cualquiera

Fuente: Enríquez Miguel, 2019

La materia prima esta, formada en su mayor parte de polvo, que es el principal componente de la mayoría de los productos hechos con fibra de coco, y está formado por millones de micro esponjas capilares que absorben y retienen hasta nueve veces su propio peso en agua. Un proceso adicional es que la fibra de coco es un sustrato bien aireado y su compactación una vez seco es mínima, posee un pH natural de 5,7 – 6.

Tabla 2 Composición química de la fibra de coco

No.	COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
-----	------------	----------------

1	Lignina	45
2	Celulosa	20
3	Hierro	2,6

Fuente: Enríquez Miguel, 2019

Sus principales componentes son la celulosa y lignina. Esta última, provee la resistencia y rigidez a la fibra. Se encuentra dentro de la categoría de fibras fuertes igual que el henequén, pita, agave y abacá. Estas características, hacen que la fibra de coco sea un material versátil que puede ser utilizado en cuerdas, colchones, alfombras, cepillos, entre otros. También es utilizada en obras civiles, tales como la prevención de la erosión, debido a que ayuda a sujetar el suelo y permite el crecimiento de cobertura vegetal, en este caso, se encuentra dentro de la denominación de los “geotextiles”.

Generalidades de la Fibra de Coco

La fibra de estopa de coco mezclada con corcho es un producto en la cumbre de la escala, particularmente en el caso de la insonorización, debido a la absorción de las frecuencias bajas, donde presenta resultados excelentes difícilmente alcanzados por otros materiales. El buen comportamiento del corcho en términos de estabilidad dimensional y elasticidad hace que el corcho sea la mejor solución técnica y natural para la resolución de problemas térmicos y de insonorización. Usado por varias décadas como un producto de aislamiento, la fibra de estopa de coco tiene hoy una diversidad de aplicaciones, por las características que presenta. Debido a sus propiedades acústicas excepcionales, la fibra de estopa de cocos verdes y maduros contribuye a una reducción sustancial de los niveles de resonancia, del impacto y del aire, siendo la solución ideal para muchos problemas en el área acústica, superando ampliamente los resultados obtenidos con el uso de otros materiales. Actualmente, la fibra de estopa de coco, debido a las nuevas tecnologías, satisface los estándares técnicos exigidos por el mercado, siendo usado como aislante térmico y acústico, donde presenta una elevada eficacia. El uso de este material natural y renovable, existente en el mundo en grandes cantidades, trae ventajas innumerables de cara al uso de material que tradicionalmente se pierde, transformándolo sin causar daño al ambiente, colocando a la fibra de estopa de coco al tope de la escala de productos ecológicos. (Quintanilla, 2010) Equilibrio óptimo entre retención de agua y capacidad de aireación, evitando la aparición de enfermedades fúngicas en las raíces derivadas del exceso de humedad. Gran capacidad de retención de agua, que ofrece una mayor seguridad en caso de fallos en el sistema de riego. La fibra de coco absorbe muy rápidamente el agua cuando está seca. Intercambio catiónico. Es capaz de retener nutrientes y liberarlos progresivamente, evitando así pérdidas por lixiviación. Ejerce un poder amortiguador contra los errores en el abonado. pH estable y controlado. El pH del sustrato de fibra de coco oscila entre 5,5 y 6,2; rango que resulta adecuado para la mayoría de cultivos. Inercia térmica. La fibra de coco puede ceder o absorber calor con rapidez. Esto facilita un constante desarrollo de raíces, tanto en épocas de calor como de frío.

Uno de los factores más atractivos para el uso de fibras naturales como refuerzo en compuestos es su neutralidad de emisión de dióxido de carbono. El empleo de materiales de origen fósil, como el petróleo, libera durante el proceso de producción grandes cantidades de dióxido de carbono en la atmósfera, lo que es la mayor causa del efecto invernadero y del cambio climático en el mundo [6]. El uso de fibras vegetales reduce la emisión de dióxido de carbono en la atmósfera, ya que son materiales obtenidos de fuentes renovables, las plantas pueden crecer en diferentes zonas climáticas y reciclar el dióxido de carbono presente en la atmósfera.

METODOLOGÍA

El estudio se realizó en la parroquia Tarqui, Cantón Puyo, Provincia de Pastaza, perteneciente a región amazónica, que cuenta con una extensión de 84 km² y un clima cálido húmedo con una temperatura que oscila entre los 18 a 24 °C, se generó por la necesidad de aprovechar este subproducto de desecho de la venta ambulante de personas dedicadas a la comercialización del agua de coco en la parroquia, generando una alternativa amigable para el medio ambiente. Para la ejecución del proceso se determinó lo siguiente:



Diagrama 2 Procesamiento de la materia prima

Recepción de la materia prima

La materia prima fue obtenida, de las personas que se encargan en la venta ambulante de la fruta en la ciudad del Puyo.

Agramado

Colocamos en agua el coco para macerarlo y así sea más fácil retirar la fibra, el proceso consiste en quebrantar y romper las texturas para desprender y separar las partes leñosas que ocupan el centro, espadándolas después y rastrillándolas, para dejar sola y limpia la fibra.

Pelado

Se desprende la corteza con la ayuda de un machete, tratando de no dañar las fibras, y mantenerlas intactas así tratar de no tener desperdicios por degeneración de tejidos.

Lavado

Con abundante agua, procedemos a lavar la fibra de coco tratando de eliminar los desechos sólidos adheridos a la materia prima.

Secado

Después del lavado, colocamos las fibras en tendales y procedemos a secarla a temperatura ambiente durante el lapso de 8 días.

Ablandado

Es el proceso que se basa en la eliminación de todas las asperezas de la materia prima y todo residuo de basura.

Hilatura

Procedimos a hilar la fibra a mano, mediante trenzado.

Entintado

Después de la hilatura se entinto los hilos de coco que obtuvimos con colorante de ropa.

Producto final

Obtuvimos fibras que serán utilizadas en los dos procesos que se determinó.

Las fibras se sometieron a remojo para obtener la fibra, luego se lo desprende de manera manual. Para garantizar que la materia prima no se pudra y adquiera mal olor, se la coloco a secado al sol durante 10 días. Luego se le elimino cualquier aspereza de las fibras, ya que el pelado se lo llevo a mano quedan residuos en la fibra.

La siguiente epata consistió en la Hilatura de la fibra de coco, mediante un tejido y trenzado a mano, después se procedió al entintado de los hilos de un color café oscuro, se puso 3 g de pintura en polvo en un litro de agua durante 30 minutos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto genero una alternativa de desarrollo a nivel local en base a un producto de desecho que no se utiliza, aplicando técnicas amigables con el medio ambiente, dándole una alternativa para el medio ambiente se determinó que la resistencia de la fibra luego del proceso. Con un PH que oscila entre 5.5 y 6.2 resulta adecuado para la utilización, por su facilidad de absorber calor y líquidos es ideal para la fabricación de calzado y adornos que fue la propuesta del proceso. La problemática nace como una necesidad de la utilización del subproducto, y el mejoramiento de los ingresos económicos de los comercializadores de agua de coco de la parroquia Tarqui, La generación del producto quiere incursionarse en el mercado como una alternativa de producción, tomando en cuenta que por la temperatura ambiente la zona que se posiciona la Ciudad del Puyo, el uso de este tipo de calzado es común entre las mujeres del sector. Hay que tomar en cuenta que la materia prima no tiene mucha manipulación por ende se volvió una alternativa de producción.

Se generó 2 alternativas de producción, utilización de las fibras en la elaboración de calzado y en para uso ornamental en la fabricación de porta macetas con la utilización de la fibra y la cascara, a continuación, se detallan los procesos como resultados obtenidos:

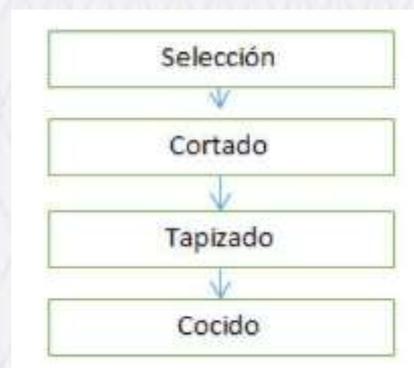
Una vez obtenido el hilo de la fibra de coco, se trató de involucrar a la parte manual en la industria del calzado y además se buscó más beneficios que se le puedan dar con dicha materia prima





Figura 1 Remojo del coco: A. Secado de las fibras de coco: B. Hilatura de las fibras: C, D

Proceso de elaboración de zapatillas para dama a base de cuero sintético e hilo de la fibra de coco



Fuente: Enríquez Miguel, 2019

Luego de generar la fibra por el trenzado, el primer proceso fue darle una alternativa de uso, en la fabricación de calzado (sandalías) tomando en cuenta que las damas por el clima de la zona, suelen utilizar mucho el producto, de acuerdo al diagrama de bloques de proceso, los métodos para la elaboración del producto fueron los siguientes:

Selección. - este proceso es muy importante ya que definimos el material a utilizarse para sus plantillas, tomando en cuenta su resistencia y durabilidad. **Cortado.** - se lo dio de forma manual, detallando las tallas que se van a fabricar. **Tapizado.** - el proceso se lo realiza previamente que se haya estampado la marca en la sandalía.

Cocido. - mediante una maquina se realiza el proceso.
Las marcas son necesarias, porque son el reflejo del negocio, permiten a los clientes distinguir sus productos de los competidores, ofreciendo al emprendimiento o negocio la posibilidad de comercializar, gestionar y abrir mercados de forma adecuada para poder ofertar sus productos y servicios, hay que tomar en cuenta que las marcas no se utilizan simplemente como identificadores de la organización o empresa. Garantizan y aseguran que se entregue calidad a los consumidores. Un cliente satisfecho seguirá adquiriendo el producto basándose en la tendencia de consumo, por lo que tendrá que escoger y diseñar cuidadosamente una marca apropiada, tratando de protegerle y sea utilizada con precaución. Al seleccionar la marca los productores no deben ser

difíciles de pronunciar. La marca seleccionada por la organización es FIBCUS que se deriva de su materia prima que es la fibra de coco.



Fuente: Enríquez Miguel, 2019

Se procedió a determinar modelos que estén acordes al material que se utilizara con los gustos que estos casos serían de las damas. Para el modelo de zapatillas se necesitó 132 cm de hilatura de fibra de coco, repartidas según el modelo. 26 cm par un par y 106 cm por el otro par.

El primer modelo fue de la hilatura más gruesa, una zapatilla en v que fue combinada con cuero sintético y unos adornos para darle un mayor agrado.

El segundo modelo fue algo más creativo, donde se utilizó la hilatura de coco más delgada.



Figura 2 Recorte del cuero sintético: A. Tapizada del piso de las sandalias: B, C. Pegar la marca en las sandalias: D. Decorado de las sandalias: F, G, H

Elaboración de las macetas colgantes

En esta elaboración se aprovechó todos los residuos del coco.

La pulpa fue extraída de El Endocarpio (cascara). Para poder reutilizar la cascara de forma alternativa a una maseta. Para esto llevar a cabo, primero se procedió a dar un secado por 2 días a la cascara de coco.

Una vez terminado esta fase, la cascara de coco fue completamente pulida y lacada para darle una mayor presencia y elegancia. Para terminar y aprovechar la hilatura de fibra de coco, se innovo un modelo colgante para dar un diseño único y atractivo.



Figura 3. Lijado de las macetas: A. Terminado de las porta macetas: B



Figura 4: Producto Final: A

CONCLUSIONES

La fibra de coco permite que la cascara del fruto sirva de materia prima en la elaboración de múltiples productos, tales como en sandalias, artesanía, piolas, etc. El manejo de las fibras de coco es factible porque disminuye el desperdicio del subproducto generado de la actividad de venta ambulante.

Las buenas propiedades físicas de la fibra de coco, su larga durabilidad sin cambios en sus características físicas, la posibilidad de esterilización, la abundancia de la materia prima que es renovable y el bajo costo para el productor hace de la fibra de coco verde un sustrato difícilmente superable.

Para la hilatura de la fibra de coco, se desarrollaron algunos problemas debido a las dimensiones que no son homogéneas y también por su dureza, por lo que se generó el proceso de trabajo de la fibra determinado en el diagrama de proceso Realizando la hilatura en forma de trenzado, determinando que la fibra sirve con un correcto manejo puede ser utilizada en diferentes procesos.

Finalmente, debido a que los procesos utilizados para la elaboración de la fibra no tienen impactos ambientales negativos, constituyen una herramienta positiva y una alternativa de desarrollo sostenible para aquellos pueblos y comunidades que deseen mejorar su nivel económico. Además, es una opción viable para incursionar en nuevos mercados y satisfacer necesidades latentes en la sociedad

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alva D. Healt Goog. Obtenido de Healt Goog. [Online].; 2013. Available from: <http://www.vivesanamente.com/que-es-la-fibra/>.
2. Cavides H, Rojas W. Evaluación de la estopa de coco como fuente alternativa de fibra celul+osica para papel. Santiago de Cali.; 1994.
3. Calderón L. Estudio de materiales ceneticos fibrorreforzados y su posible uso como elementos de reparación en estructuras afectadas por corrosión en medio ambiente marino. Santiago de Cali.; 2000.
4. D A. Healt GOog. [Online].; 2013.

5. *González S, Quinteros G. Evaluación del uso de la fibra de la estopa de coco, para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto.. Madrid;; 2004.*
6. *Hernan J. el comercio. [Online].; 2004.*
7. *Hilda C. Evaluación de la Fibra de Coco. ; 2008.*
8. *Loor A. Aprovechamiento de los residuos de coco para su uso interno y exportación. Guayaquil;; 2016.*
9. *Machado A. La Agricultura del Litoral del Pacífico. [Online]. EL Colombia Pacífico: Pablo Leyva; 2003. Available from: [www.banrep.gov.co/blaavirtual/letra- c/cpacifi2/55. htm](http://www.banrep.gov.co/blaavirtual/letra-c/cpacifi2/55.htm).*
10. *Quintanilla. Industrializaron de la fibra de estopa de coco. [Online].; 2010. Available from: <http://ri.ues.edu.sv/431/1/10136579.pdf>.*
11. *Razera I, Frollin E. Use of coir as a reinforcing material of phenolic and lignophenolic matrix composites fiber characterization and composite properties. In: Fifth international symposium on natural polymers and composites. 8th Brazilian Symposium on the Chemistry of Lignin. Sao Pedro, Brasil;; 2020.*
12. *Sandoval E, Bocanegra R. Análisis del comportamiento mecánico del concreto fibro reforzado. Santiago de Cali;; 1997.*
13. *Sánchez de Guzmán D. Tecnología del concreto y del monitore. Santafé de Bogotá;; 1993.*
14. *Thomas E, Volman B. Planeación y Control de la Producción, Administración de la cadena de suministros. ; 2005.*

3
Recibido: 2020/05/28
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE UNA CELDA EMERGENTE EN UN RELLENO SANITARIO

TREATMENT OF LEACHING OF AN EMERGING CELL IN A SANITARY FILLING

Coba Raquel¹, Mosquera Emilys², Brito Hannibal^{3*}

¹Investigador Facultad de Ciencias, ESPOCH

²Colaborador Facultad de Ciencias, ESPOCH

³Docente Investigador Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIADE)

*Corresponding: hbrito@epoch.edu.ec

RESUMEN

Por el inadecuado tratamiento de los lixiviados generados en el Relleno Sanitario de Puyo, se propone el diseño de un sistema de tratamiento de lixiviados, con el objeto de disminuir la contaminación ocasionada en esta área y que afecta directamente al Río Chilcayacu.

Inicialmente se caracterizó los residuos sólidos del Relleno Sanitario, obteniendo que la materia orgánica representa un 51,05% del total de residuos, seguido por el plástico. Durante un período de dos meses se tomaron muestras del lixiviado y se los caracterizaron física, química y microbiológicamente, en el Laboratorio de Calidad de Agua de la ESPOCH.

Según lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, se determina que los parámetros DBO₅, DQO, Sólidos totales, coliformes fecales están fuera de los límites permitidos en esta norma, además se observa a simple vista que el color y turbiedad también necesitan ser tratados.

Basándose en los análisis anteriores se sometieron a pruebas de trazabilidad a las muestras de lixiviados, arrojando como resultado un porcentaje de remoción de: Turbiedad 84,17%; Color 98,27%; DQO 96,64%; DBO₅ 96,59%; Coliformes fecales 99,99% y sólidos totales 90,85%.

El sistema de tratamiento de lixiviados, trabajará con un caudal de 1,20 L/s, en las siguientes etapas: dos tanques de almacenamiento, dos tanques Imhoff, un filtro anaerobio de flujo ascendente y por último un aireador de cascadas.

Se concluyó que el sistema de tratamiento de lixiviados presenta un alto porcentaje de remoción en los distintos parámetros y por lo tanto la implementación de esta obra, representará un beneficio para los habitantes aledaños al sector, así como contribuirá a cuidar los recursos hídricos cercanos.

Es necesario considerar una implementación inmediata del sistema de tratamiento de lixiviados y garantizar un correcto funcionamiento del mismo mediante su mantenimiento periódico. Con estas recomendaciones se logrará disminuir la contaminación ambiental y cumplir con la normativa vigente.

Palabras clave: *Relleno sanitario, residuos sólidos, lixiviados, sistema de tratamiento.*

ABSTRACT

By the inappropriate treatment of leachates generated at Puyo Landfill, the design of a leachate treatment system is proposed, in order to reduce the pollution caused in this area and which directly affects the Chilcayacu River.

Initially the solid waste from the Landfill was characterized, obtaining that the organic matter represents 51,05 % of the total waste, followed by the plastic. During a period of two months, samples of the leachate were taken and they were characterized physical, chemical and microbiologically in the ESPOCH Water Quality Laboratory.

As established in Ministerial Agreement 097-A Environmental Quality Standard and discharge of effluents to the water resource, Table 9: Limits of discharge to a body of fresh water, it is determined that the parameters biochemical demand of oxygen, chemical demand of oxygen, Total solids, fecal coliforms are outside the limits allowed in this norm, besides it is observed with the naked eye that the color and turbidity also need to be treated.

Based on the previous analyzes, the leachate samples were subjected to treatability tests, resulting in a removal percentage of: Turbidity 84,17 %; Color 98,27 %; COD 96,64 %; BOD₅ 96,59 %; Fecal coliforms 99,99 % and total solids 90,85 %.

Leachate treatment system, will work with a flow rate of 1,20 L/s, in the following stages: two storage tanks, two Imhoff tanks, an upflow anaerobic filter and finally a waterfall aerator.

It was concluded that leachate treatment system has a high percentage of removal in the different parameters and therefore the implementation of this work, will represent a benefit for the inhabitants surrounding the sector, as well as contribute to take care of the nearby water resources.

It is necessary to consider an immediate implementation of the leachate treatment system and ensure its correct functioning through periodic maintenance. With these recommendations, it will be possible to reduce environmental pollution and comply with current regulations.

Keywords: *Landfill, solid waste, leachate, treatment system.*

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos urbanos se ha venido incrementando a nivel mundial, a medida que progresa la tecnología y se desarrollan los países. Esta situación que busca mejorar la comodidad de la población también tiene sus consecuencias sobre el ambiente, como es la generación de un alto nivel de contaminación que afecta a todos los ecosistemas. (Brito, Chariguamán, & Mora, 2017).

En el caso de Ecuador, no posee la tecnología apropiada para el tratamiento y disposición de grandes cantidades de desechos sólidos. Según el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2015) “los ciudadanos del

sector urbano producen un promedio de 0,57 kilogramos de residuos sólidos por día” y de los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), en 2016 el porcentaje de rellenos sanitarios en la Sierra fue de 50,5%, en la Costa de 14,3%, en la Amazonía de 61,0% y en la Región Insular de 33,33%. (INEC & AME, 2016, p. 21).

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pastaza en una de sus competencias tiene el manejo adecuado de los RSU (Brito H. , Residuos sólidos generados en el Centro Comercial la Condamine y su disposición final, 2015), lo que comprende la recolección, transporte y disposición final, para lo cual ha destinado un área para el relleno sanitario (Brito & et al, Cierre Técnico de botaderos de basura, 2017) del Cantón Pastaza en una extensión de 45000.00 m². (Aldás, 2017).

Los diferentes sitios de disposición final de RSU generan principalmente emisiones gaseosas y descargas líquidas, conocidas como lixiviados. Estas descargas están compuestas por grandes concentraciones de materia orgánica e inorgánica, incluso contienen metales pesados, sales inorgánicas, entre otros componentes. (Brito, y otros, 2015) Por tal razón se debe manejar de una forma cuidadosa y eficaz, ya que son de carácter migratorio, sino se tiene un control adecuado, se puede tener una contaminación en aguas subterráneas, aguas superficiales, acuíferos y suelo. El principal factor que aumenta el volumen de lixiviados (Brito, Chariguamán, & Villota, Cierre Técnico de Botaderos de Basura, 2017) es la filtración del agua lluvia que fluye por los residuos que se encuentran en la celda, ocasionando inconvenientes en el momento de tratarlos.

El relleno Sanitario de Puyo, presenta problemas en el manejo de sus lixiviados, debido a la variabilidad climática de la zona y al mal manejo de sus residuos. Ya que esta situación viene acarreado problemas con el Ministerio del Ambiente, y los parámetros de descarga no se están cumpliendo y se está afectando principalmente al Río Chilcayacu, se ha propuesto un sistema de tratamiento de lixiviados; para cumplir este proyecto que necesita una pronta implementación se ha recurrido a realizar una caracterización tanto de los residuos sólidos como del lixiviado.

Los resultados encontrados fueron que los parámetros DBO, DCO₅, Sólidos totales, coliformes fecales, color y turbiedad están siendo descargados a pesar de incumplir con el Acuerdo Ministerial 097-A Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

En cuanto a la caracterización de los residuos sólidos del Relleno Sanitario, se obtuvo que la materia orgánica es la más abundante con un 51, 05% del total de residuos, seguido por el plástico.

Finalmente, el diseño propuesto está conformada por dos tanques de almacenamiento, dos tanques Imhoff, un filtro anaerobio de flujo ascendente y por último un aireador de cascadas; el porcentaje de remoción promedio del sistema es del 94,42%, con el cual se garantiza que el efluente poseerá las características requeridas para su descarga, según lo establece la normativa vigente.

METODOLOGÍA

La caracterización de residuos sólidos se realizó en un periodo de 8 días consecutivos, utilizado el procedimiento establecido por la CEPIS/OPS. Después se procedió a muestrear los lixiviados, durante dos meses, tomando 2 muestras por semana; los análisis físicos, químicos y microbiológicos se realizaron en el Laboratorio de Calidad de agua de la ESPOCH en base al Acuerdo Ministerial 097-A Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Para el diseño del sistema de lixiviados se determinó el caudal de diseño mediante el método suizo y los datos de precipitación media anual otorgados por el INAMHI. Después se analizaron los parámetros fuera de norma para proponer el sistema de tratamiento idóneo y así proceder con los cálculos de ingeniería que permitieron obtener las dimensiones del tanque de almacenamiento, tanque Imhoff, FAF y aireador de cascadas.

Una vez realizados los análisis y cálculos previos se sometieron a pruebas de tratabilidad mediante el test de jarras, para comprobar que el porcentaje de remoción garantice que se disminuya la concentración de los contaminantes y se cumpla con la normativa vigente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente estudio revela los siguientes resultados:

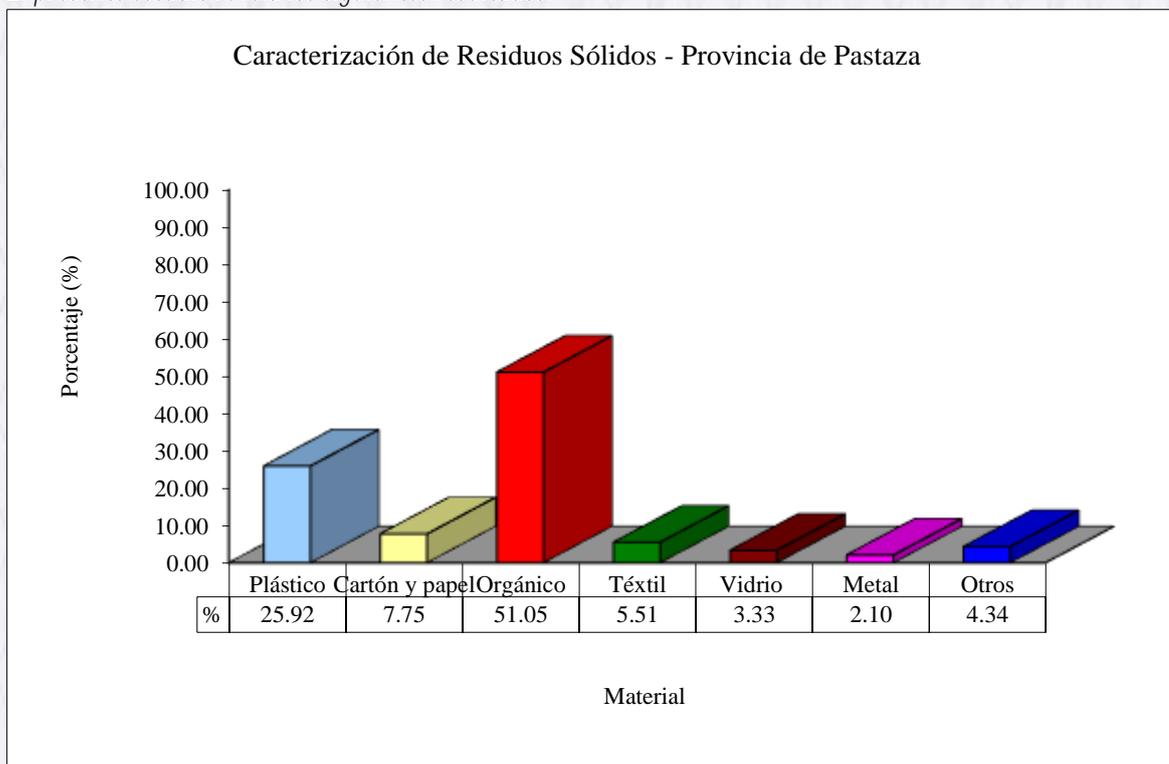


Gráfico 1 Caracterización de residuos sólidos del Relleno Sanitario de la Provincia de Pastaza

Del total de residuos sólidos producidos en el Relleno Sanitario de Puyo, lo que más ingresa a las celdas de disposición final es materia orgánica, representando más de la mitad del porcentaje total (51,05%), el plástico es el segundo desecho más abundante con un 25,92%, seguidos por el cartón y papel, textil, otros, vidrio y metal.

Tabla 1 Análisis físico químico y microbiológico del lixiviado crudo

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO					VALOR LÍMITE PERMISIBLE
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	PROMEDIO	
Potencial hidrógeno	Unidades de pH	7,09	7,74	7,81	7,63	7,6	6-9
Demanda Química de oxígeno	mg/L	7580	5850	5230	4987	5911,8	200
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	3800	2170	3460	2021	2862,8	100
Coliformes fecales	NMP/100ml	92000	100000	56000000	26600000	20698000	2000
Coliformes totales	NMP/100ml	1600000	11000000	67200000	3000000	20700000	-
Sólidos totales	mg/L	6300	5440	7220	5164	6031,0	1600
Aceites y grasas	mg/L	3,1	8,38	72,04	31,64	28,8	30.1
Oxígeno disuelto	mg/L	0,2	0,82	1,1	0,87	0,7	-
Tensoactivos	mg/L	0,064	0,35	0,19	0,42	0,3	0,5
Amoniaco	mg/L	793	452,5	152	156	388,4	-
Hidrocarburos totales de Petróleo	mg/L	6,65	2,36	1,3	0,59	2,725	20.0
plomo	mg/L	0,013	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	0.2
Selenio	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,06	0,1
Níquel	mg/L	0,12	0,08	<0,05	0,12	0,12	2.0
Cadmio	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,002
Arsénico	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
Mercurio	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005
Temperatura	°C	27,1	25	21.3	20,2	24,1	Condición natural ±3

Fuente: Mosquera E., Coba R., Laboratorio de Aguas ESPOCH y CESTTA, 2018

Tabla 2 Análisis de los parámetros después del tratamiento

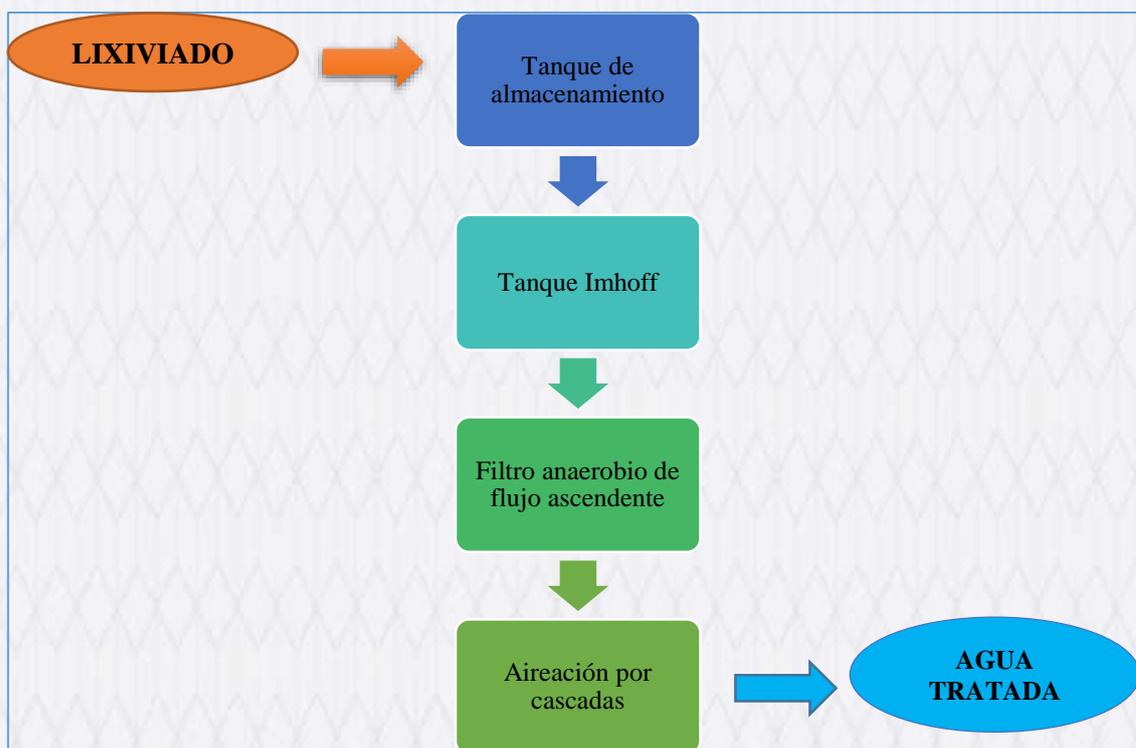
PARÁMETROS	UNIDAD	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	LÍMITE PERMISIBLE	% DE REMOCIÓN
Turbiedad	NTU	290	45,9	-	84,17
Color	Pt Co	2890	50,1	Inapreciable en dilución 1/20	98,27
Potencial hidrógeno	Unidades de pH	7,6	8,4	6-9	
Demanda Química de oxígeno	mg/L	5911,75	198,58	200	96,64
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	2862,75	97,75	100	96,59
Coliformes fecales	NMP/100ml	20698000	1876	2000	99,99
Sólidos totales	mg/L	6031	552	1600	90,85
PROMEDIO					94,42

Fuente: Mosquera E., Coba R., Laboratorio de Aguas ESPOCH y CESTTA, 2018

La mayoría de parámetros de los lixiviados analizados, comparados con los límites permisibles de la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua cumplen con lo establecido, pero cuatro de ellos como los son DBO₅, DQO, sólidos totales y coliformes fecales están fuera de norma.

En la tabla 2 se puede observar que los parámetros fuera de norma disminuyen significativamente su concentración después de las pruebas de trazabilidad, presentado un promedio de remoción del 94,42% para el sistema de tratamiento de lixiviados propuesto.

El sistema propuesto para el tratamiento de lixiviados está conformado de la siguiente manera:

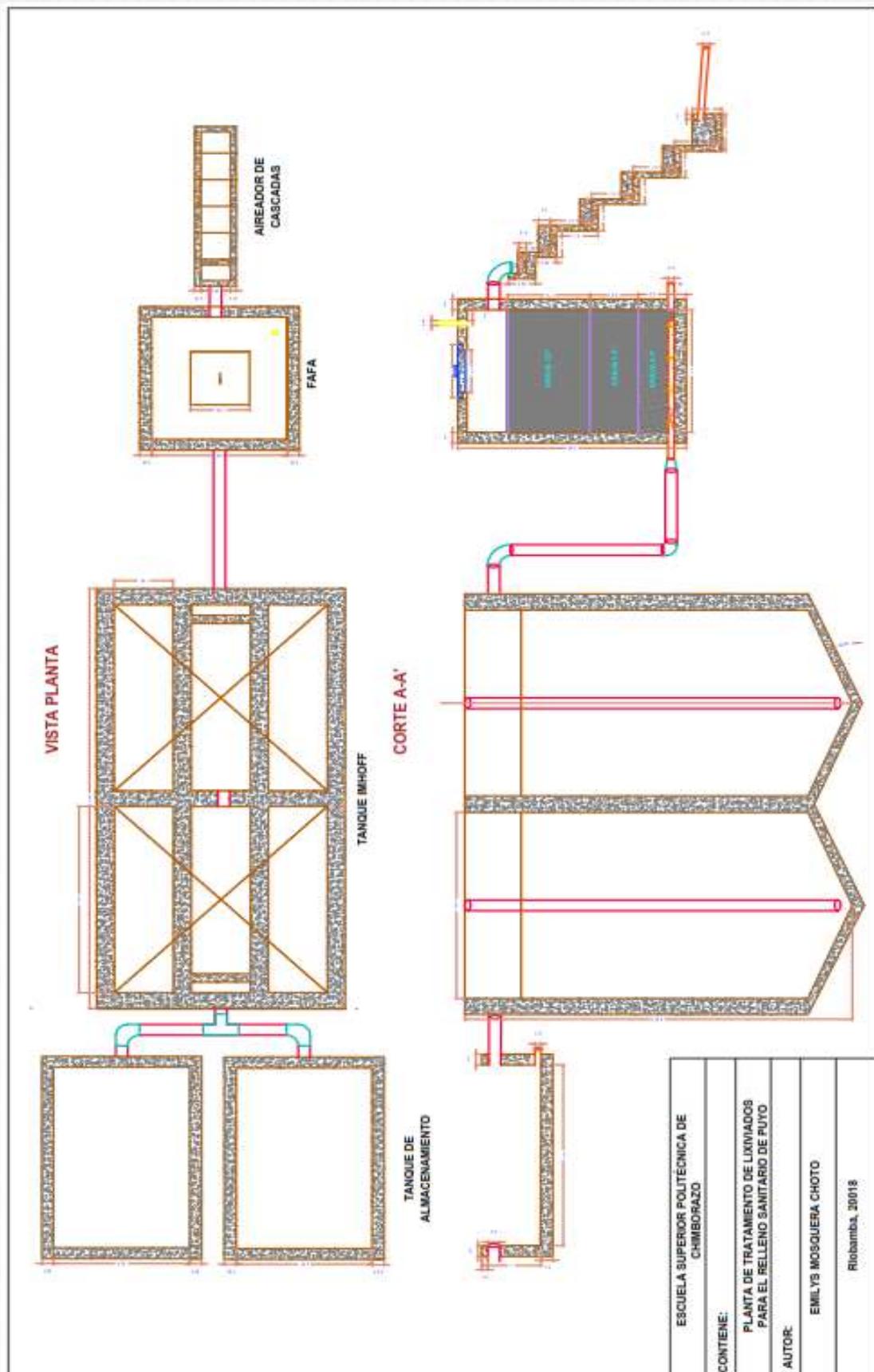


Fuente: Mosquera E., Coba R., Laboratorio de Aguas ESPOCH y CESTTA, 2018

Figura 1. Diagrama del sistema de tratamiento de lixiviados

El lixiviado crudo se almacenará en dos tanques que se conducirán directamente a los tanques Imhoff, pasando por un filtro anaerobio de flujos ascendente y llegando finalmente a un aireador de cascadas, donde el agua estará lista para descargarse hacia el cuerpo de agua.

El motivo que se instalen 2 unidades de los dos tanques es el mantenimiento, lo cual permitirá que la planta no interrumpa su tratamiento en el momento de alguna revisión de rutina o algún fallo inesperado. La planta de tratamiento de lixiviados funcionará para un caudal de 1,20 L/s según lo determinado con el método suizo y su dimensionamiento y diseño se observa en el siguiente plano:



Plano 1 Planta de tratamiento de lixiviados

CONCLUSIONES

- ✓ Se caracterizó física, química y microbiológicamente los lixiviados del Relleno Sanitario de Puyo.
- ✓ Se identificó los residuos sólidos, siendo la materia orgánica el componente más abundante con un 51,05%; seguido del plástico con un 25,94 %.
- ✓ El caudal de lixiviados se determinó en base a la precipitación de la zona, el cual dio como resultado 1,20 L/s.
- ✓ Se planteó el diseño del Sistema de tratamiento de lixiviados el mismo que consta de los siguientes componentes: dos tanques de almacenamiento, dos tanques imhoff, un filtro anaerobio de flujo ascendente y por último un aireador de cascadas.
- ✓ El sistema de tratamiento de lixiviados propuesto resultó una opción válida, debido a que logró reducir los valores fuera de norma con un porcentaje de remoción de: Turbiedad 84,17 %, Color 98,27 %, DQO 96,64 %; DBO₅ 96,59 %; Coliformes fecales 99,99 % y Sólidos totales 90,85 %.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brito H. Residuos sólidos generados en el Centro Comercial la Condamine y su disposición final Santa Cruz de la Sierra: SE; 2015.
2. Brito H, et al. Cierre Técnico de botaderos de basura. 2017.
3. Aldás A. GAD Municipal del cantón Patata. [Online].; 2017. Available from: <http://puyo.gob.ec/anterior/servicios/online/documentos/departamentos/ambiental/648-gesti%C3%B3n-integral-de-desechos-peligrosos-en-el-relleno-sanitario-de-la-ciudad-de-puyo,-provincia-de-pastaza.html>.
4. Brito A, Medina G, Andrade M, Borja D, Peñafiel S, Mendoza M, et al. Manejo de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). 2015.
5. Brito H, Chariguamán N, Villota V. Cierre Técnico de Botaderos de Basura Riobamba; 2017.
6. MAE. Ministerio del Ambiente. 2013..
7. INFORECICLAJE. [Online].; 2017. Available from: <http://www.inforeciclaje.com/residuos-solidos.php>.
8. RECYTRANS. [Online].; 2017. Available from: <https://www.recytrans.com/blog/clasificacion-de-los-residuos/>.
9. MAE. [Online].; 2017. Available from: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>.
10. ALONSO C, MARTÍNEZ E, AND DE LA MORENA J. MANUAL PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Madrid: ECOIURIS; 2003.
11. Brito H, et al. Diseño y construcción de un extrusor tipo tornillo para la obtención de pellets plástico a partir de botellas recicladas. In XXXVI Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental; 2018; Guayaquil.
12. Brito H, et al. Diseño y construcción de un reactor batch para la obtención por transesterificación de biodiesel a partir de aceite usado de cocina Riobamba; 2008.
13. Brito H, et al. Generación de biogas a partir de estiércol de ganado a nivel de finca en el oriente ecuatoriano. 2016.
14. Brito H. Manejo de desechos sólidos hospitalarios. 2018.
15. Brito H, et al. Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado Mayorista del cantón Riobamba. 2016.
16. Brito H, et al. Optimización del sistema de tratamiento de efluentes generados en la lavandería y tintorería de jeans CORPOTEX. 2017.
17. Brito H. Texto Básico de Auditoría Ambiental Riobamba; 2007.
18. Brito H. Texto Básico de Ingeniería de Plantas Riobamba; 2000.

19. Valencia J, Brito H. *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Área de Bovinos en el Camal Frigorífico Municipal De Riobamba Riobamba; 2012.*

4
Recibido: 2020/06/15
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

FERTILIZANTES Y PLAGUICIDAS ORGÁNICOS PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL SITIO GALAYACU

ORGANIC FERTILIZERS AND PESTICIDES TO IMPROVE COCOA PRODUCTION IN GALAYACU

Espinoza Yuri¹, Luna Alex², Maldonado Mayra^{3*}

¹ Investigador, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

² Investigador, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

³ Investigador, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

*Corresponding: mmmaldonado_est@utmachala.edu.ec

RESUMEN

En Ecuador la producción de cacao ha tomado realce desde los años 70, teniendo una gran demanda en el mercado internacional, debido a la alta calidad del producto, siendo uno de los rubros económicos más importantes para el país. Actualmente los productores ecuatorianos han optado por la utilización de fertilizantes y plaguicidas químicos, los mismos que a largo plazo afectan considerablemente a la calidad del cacao y sus derivados, además de ocasionar destrucción del suelo y afectaciones a la salud de las personas que se dedican a esta actividad.

Esta investigación es de diseño experimental y busca disminuir los problemas ambientales que ocasionan los fertilizantes y plaguicidas químicos, que aceleran el periodo de producción de cacao ccn-51 (Colección Castro Naranja) según investigaciones del agrónomo Homero Castro Zurita, se obtuvo que la del tipo 51, es tolerante a las enfermedades, es de alta productividad y calidad (ANECACAO, 2015). Estos fertilizantes y plaguicidas químicos a largo plazo ocasionan severos daños a la capa vegetal alterando el ecosistema, disminuyendo los nutrientes del suelo y afectando a los consumidores y productores, por este motivo se busca mejorar la producción de cacao por medio de la utilización de abonos y fertilizantes orgánicos, los mismos que darán beneficios a los productores de cacao, al ambiente porque no se generara tanta contaminación y a la salud de la población en especial donde se localiza la actividad y origen de la investigación que corresponde a la comuna de Galayacu, parroquia el Progreso, Cantón Pasaje en la provincia de El Oro.

Palabras claves: Producción de cacao, fertilizantes orgánicos, fertilizantes químicos, plaguicidas químicos.

ABSTRACT

In Ecuador, cocoa production has increased since the 70s, having a high demand in the international market, due to the high quality of the product, being one of the most important economic items for the country. Currently, Ecuadorian producers have opted for the use of chemical fertilizers and pesticides, which in the long term have a considerable impact on the quality of cocoa and its derivatives, as well as causing soil destruction and affecting the health of people engaged in this activity.

This research is experimental design and seeks to reduce the environmental problems caused by chemical fertilizers and pesticides, which accelerate the production period of cocoa ccn-51 (Castro Naranjal Collection) according to research by the agronomist Homero Castro Zurita, it was obtained that the type 51, it is tolerant to diseases, it is of high productivity and quality (ANECACAO, 2015). These fertilizers and long-term chemical pesticides cause severe damage to the plant layer altering the ecosystem, decreasing soil nutrients and affecting consumers and producers, for this reason it seeks to improve the production of cocoa through the use of fertilizers and organic fertilizers, the same ones that will give benefits to cocoa producers, the environment because so much pollution will not be generated and the health of the population especially where the activity and origin of the investigation is located that corresponds to the municipality of Galayacu, parish Progreso, Cantón Passage in the province of El Oro.

Keywords: cocoa production, organic fertilizers, chemical fertilizers, chemical pesticides.

INTRODUCCIÓN

El proyecto realizado se localiza en el sector Galayacu en la parroquia El Progreso, cantón Pasaje, ubicado a 45 km. vía a la ciudad de Cuenca y cuenta con un rango altitudinal de 200 msnm. Su desarrollo económico está basado en actividades como la producción agrícola cacao, banano, productos tradicionales como limón que se da a gran escala, mientras que a mediana escala es la producción de naranja, mandarina y la ganadería. (PROGRESO, 2014 - 2019)



Fuente: Sector Galayacu Elaboración: Autores

Figura 1 Visita al lugar de estudio



Figura 2 Daño del fruto

En la presente investigación se describirá cuáles han sido los factores que han reducido la producción de cacao sea este nacional o ccn-51 (colección castro naranjal51) debido a la utilización de fertilizantes y plaguicidas químicos, luego de una investigación in situ conoceremos si ellos dominan el tema de los fertilizantes y plaguicidas químicos de sus beneficios y daños, con el fin de que retomen técnicas tradicionales y eficaces como plaguicidas orgánicos los cuales son: agua con ajo, agua con ají, simbiosis, y también los fertilizantes orgánicos como la gallinaza que es el producto de excremento de las aves mezclado con plumas, huevos rotos y restos de alimentos que se encuentran en el suelo donde pasan las aves (Pareja1, 2005), pollinaza es la combinación de excremento de pollos de engorde ya que tiene una composición variable debido a que dependerá de la edad de los pollos (Tobía & Vargas, 2000); de esta forma incentivar a los productores que hagan su producción de cacao rentable, amigable con el medio ambiente y con el hombre.

El deterioro progresivo de los suelos utilizados en la siembra de cacao es producto de la incorrecta utilización del sistema de preparación y manejo del cultivo que comprende tumba, quema, siembra en el sentido de la pendiente, labranza con herramientas actividades que, en conjunto, han originado la pérdida constante de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y que se traducen en una reducción de su nivel productivo. El componente biológico fue considerado por muchos años de poca importancia, en la actualidad se reconoce su función como eje fundamental en el incremento de la disponibilidad de los componentes orgánicos y sintéticos aplicados como fertilizantes



Fuente: Sector Galayacu Elaboración: Autores

Figura 3 Abono orgánico en el suelo

Por tanto, la producción de cacao se divide en nacional e injerto y en ambos casos se requiere del uso de fertilizantes y plaguicidas químicos para acelerar el tiempo de cosecha y asegurar una óptima calidad del producto. Sin embargo, el uso de estos productos químicos no sólo proporciona beneficios, sino que causan reacciones negativas a largo plazo, afectando al recurso agua, suelo, aire; basado en esto se busca realizar un aporte significativo para mejora de la producción de cacao de dicho sector.



Fuente: Sector Galayacu Elaboración: Autores

Figura 4 Producto afectado por plagas

METODOLOGÍA

El diseño de investigación fue del tipo experimental; la investigación procedió a base de encuestas realizadas a actores clave y entrevistas que se efectuaron a los agricultores del sector Galayacu, con esa técnica se obtuvo la

información necesaria para la investigación que se realizó, además de la observación del sitio, adicionalmente se obtuvo información de los antecedentes e información necesaria del plan ordenamiento territorial.

Materiales

Instrumentos

Encuesta: Este instrumento se profundizó más sobre el tema investigado, el encuestado no tiene límites de palabras y puede facilitarnos información importante para el artículo.

Entrevista: En un cuestionario o conjunto de pregunta que se preparan con el propósito de obtener información de las personas. (ITSON)

Plan de ordenamiento territorial: Instrumento técnico y normativo de planeación y gestión del territorio; conformado por un conjunto de acciones y políticas, administrativas y de planeación física, que orientan el desarrollo del territorio municipal en el corto, mediano y largo plazo, regulando la utilización, ocupación y transformación del espacio físico urbano y rural. Un POT es en esencia, el pacto social de una población con su territorio. (Minvivienda, 2016)

Observación directa: observación personal de los hechos o eventos, para identificar sus características. (Raymond, 1986) Se utilizó este tipo de observación para identificar los problemas, y poder formular estrategias para controlar y mejorar el cultivo de cacao ccn-51.

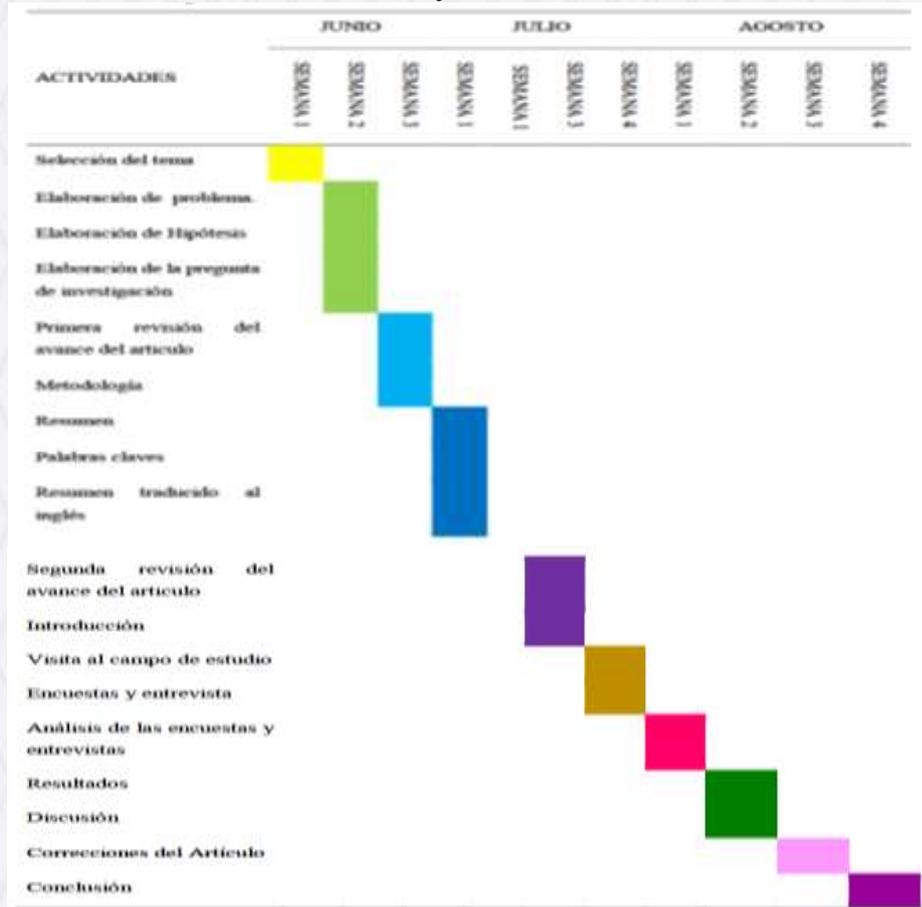
Cebolla: Producto utilizado para elaborar pesticidas orgánicos y así minimizar problemas ambientales.

Ají, Ajo: han sido utilizados exitosamente para el control de insectos-plaga como minadores, chupadores, barrenadores y masticadores. Estas plantas poseen componentes de acción repelente y actúan por ingestión, causando trastornos digestivos. (SAFER, s.f.)

Jabón negro: Sirve para múltiples procesos, pero en esta investigación servirá como uno de los ingredientes para formar plaguicidas orgánicos y ayudando a incrementar la producción del cacao y contribuyendo a disminuir los problemas ambientales y de salud que a un futuro puede llegar a ocasionar los químicos.

Gallinaza: Se utiliza tradicionalmente como abono, su composición depende principalmente de la dieta y del sistema de alojamiento de las aves. (Pareja, 2005)

Tabla 1 Cronograma de Actividades



Fuente: Los autores

Tabla 2 Recursos

Actividad	Recurso		
	HUMANO	MATERIAL	TÉCNICO
Demostrar propuesta para su aprobación	Productores, Alumnos, Encargados.	Proyecto escrito	Dispositivos de almacenamiento
Solicitud de recursos a las instituciones correspondientes	Productores, Alumnos, Encargados, instituciones	Oficios	Dispositivos de almacenamiento
Colecta de los recursos Solicitados	Productores ,alumnos ,encargados	Insumos necesarios	Insumos necesarios según indique las actividades
compra materiales e insumos	de Agricultores	Insumos necesarios	
Aplicación de los bienes	Agricultores	instrumentos de agricultura insumos necesarios	Equipo de trabajo

Fuente: Los autores

Tabla 3 Presupuesto por hectárea, semestral

Recursos Materiales	Cantidad	Precio	Precio Total
Transporte	8	\$2,00 c/u	\$16,00
Alimentos	8	\$2,50 c/u	\$20,00
Computadoras	2	\$0,00 c/u	\$ 0,00
Hojas	20	\$0,02 c/u	\$ 0,40
Impresora	1	\$0,00 c/u	\$ 0,00
Ajo	5 libras	\$0,60 c/lb	\$ 3,00
Cebolla	5 libras	\$0,40 c/lb	\$ 2,00
Jabón negro	5	\$1,50 c/u	\$ 7,50
Agua	50 litros	\$0,00 c/l	\$ 0,00
Ají	5 libras	\$1,00 c/lb	\$ 5,00
Planta de guaba	5	\$5,00 c/u	\$25,00
Total			\$78,90

Fuente: Los autores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entrevista Se ha entrevistado a 5 productores de cacao los cuales cuentan con cultivos de tipo: orgánico y químico; los moradores entrevistados son: el Sr. Luis Ullaguari, Sr. Daniel Maldonado, Sr. Bolívar Guartatanga, y Sr. Rafael Maldonado.

Los agricultores cuentan con el conocimiento básico de los fertilizantes y plaguicidas químicos de igual manera de los fertilizantes y plaguicidas orgánicos, conocen los beneficios que tiene el primero como el mayor rendimiento de la producción llegando a considerar en un 73% de lo normal, teniendo como resultado menos trabajo en la plantación, también son conscientes de las consecuencias de un uso excesivo de los productos químicos que afecta a la salud del hombre y a la naturaleza, considerando eso realizan la disposición final como la quema de envases, sin embargo sus plantaciones de cacao de forma orgánica son más rentables debido a que no consumen productos químicos y sus fertilizantes, plaguicidas son orgánicos y los realizan en sus propias casas, el trabajo del mantenimiento de las plantaciones de cacao son más laboradas pero tienen beneficios como su producto de calidad con un valor económico representativo, rendimiento y conservación del suelo, y su producción a largo plazo: el caso más representativo es que en el lugar hay plantaciones productivas de 30 años. Las plantaciones de cacao se han visto afectadas por plagas conocidas como la patillas, cochinilla, hormiga terrera, pulgones; donde utilizan fertilizantes y plaguicidas químicos como: fuerza verde, 1030, fertilquel plus, SHY, cal agrícola; a diferencia de los orgánicos que son: de agua con ajo, agua con ají, simbiosis; loros, ardillas considerados como plagas a su presencia cuando las plantaciones de cacao están mal podadas o se encuentran cerca de áreas boscosas, debido a que este fruto es su alimento. (Lutheran World Relief).

Tabla 4 Resultados de las encuestas aplicadas a los pobladores del Sitio Galayacu sobre la producción de Cacao

Nº	Pregunta	Escala	Respuesta	%
1	¿Usted está de acuerdo en reemplazar los plaguicidas y fertilizantes químicos por orgánicos?	Totalmente de acuerdo	12	85,71
		De acuerdo	0	0
		Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	7,14
		En desacuerdo	1	7,14
		Totalmente en desacuerdo	0	0
		Total	14	100%
2	¿Usted cada qué tiempo utiliza plaguicidas y fertilizantes químicos?	Cada 2 semanas	0	0
		Cada mes	0	0
		Cada 3 meses	12	85,71
		Cada 6 meses o más	1	7,14
		Ninguno	1	7,14
		Total	14	100%
3	¿Usted ha elaborado fertilizantes caseros?	Si	12	85,71
		No	2	14,29
		Total	14	100%
4	¿Usted qué cantidad de plaguicidas emplea por hectárea?	2 – 4 l/ha	14	100
		5 – 7 l/ha	0	0
		8 – 10 l/ha	0	0
		<10 l/ha	0	0
		Total	14	100%
5	¿Con qué frecuencia las plagas han afectado la producción de cacao?	Siempre	2	14,29
		Ocasionalmente	0	0
		A veces	12	85,71
		Nunca	0	0
		Total	14	100%
6	¿Usted conoce qué plagas se dan con facilidad en la producción de cacao?	Mal de machete	0	0
		Escoba de bruja	13	81,25
		Pulgones	1	6,25
		Chinches	0	0
		Otros	2	12,50
		Total	16	100%
7	¿Qué criterios toman en cuenta usted, al momento de adquirir productos agroquímicos?	Precio	1	6,25
		Eficacia	12	75,00
		Menos peligroso	2	12,50
		Recomendación	0	0
		Beneficios externos	1	0
		Total	16	100%
8	En su plantación de cacao, ¿cuál de las siguientes utiliza?	Fertilizantes inorgánicos	12	42,86
		Fertilizantes orgánicos	2	7,14
		Plaguicidas orgánicos	2	7,14
		Plaguicidas inorgánicos	12	42,86
		Total	28	100%
9	¿Qué piensa usted de los fertilizantes y plaguicidas orgánicos?	Muy buenos	10	71,43
		Buenos	3	21,43
		Regulares	1	7,14
		Malos	0	0

Fuente: Los autores



Fuente: Los autores

Gráfico 1 Resultados de las encuestas aplicadas a los pobladores del Sitio Galayacu sobre la producción de Caca

Los instrumentos que se utilizaron al momento de realizar la investigación fueron encuestas, entrevistas y observación directa ya que este medio permitió un contacto directo con la comunidad y se pudo recabar información básica de los acontecimientos dentro de la misma, los cuales permitieron la realización de análisis estadístico de una forma fácil y en este caso ha permitido evidenciar los hábitos de las prácticas en la agricultura de cacao en el sector.

Como resultado general se muestra que los habitantes de Galayacu tienen conocimiento de los productos amigables con el ambiente y la realización de los mismos, ya que la utilización de los mismo les ha otorgado un resultado eficaz en sus terrenos; "la eficacia el criterio fundamental que se utiliza al momento de adquirir un agro producto (pregunta 7)". Además, los productores de cacao están totalmente de acuerdo en reemplazar los productos químicos por elementos orgánicos, siempre y cuando los mismos sean rentables, no les genere un gasto extra a sus ingresos básicos, las estrategias del uso de agua con ajo, agua con ají, simbiosis, entre otros, como plaguicidas genera reducción al consumo de los productos químicos.

En el transcurso de la investigación se pudo notar que este era un tema de investigación nuevo, puesto que no se encontró estudios previos en el lugar, por ello se utilizó un diseño experimental.

El fin de nuestra investigación es darle a conocer a los productores de cacao, los beneficios que puede obtener con el uso de fertilizantes y plaguicidas orgánicos en sus cultivos. Para obtener información del tema utilizamos como instrumentos: la encuesta, la entrevista, la observación y la investigación in situ, permitió que algunos productores dejen de utilizar plaguicidas y fertilizantes químicos, y han optado por la estrategia de usar agua con ajo, agua con ají, simbiosis, entre otros, considerados como plaguicidas orgánicos que beneficia al ambiente, producción y aunque el crecimiento es lento les garantiza una mejor calidad del producto y del terreno a largo plazo.

CONCLUSIONES

- ✓ *Con la investigación realizada se concluyó que con la utilización de fertilizantes y plaguicidas orgánicos se mejora la producción de cacao pero se debe tener presente que todo tiene su límite, por lo que se necesita capacitar a los moradores de la comunidad de Galayacu, ya que esta comunidad es netamente productiva para que no se cometan errores y no se eche a perder sus cultivos, ya que mejorará el producto y contribuirá a cuidar la salud de los habitantes del sector y el ambiente en general.*
- ✓ *Los fertilizantes y plaguicidas químicos degradan la calidad de aire, por los gases que emiten a la atmósfera, también disminuye la capacidad del suelo porque al paso del tiempo elimina la carga de nutrientes y lo vuelve infértil, a otros de los recursos que afecta estos productos químicos es al agua que por medio del riego se va por escorrentía y filtrando llegando hasta el cuerpo de agua más cercano degradando su calidad y convirtiéndolo en no apto para utilizarla.*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PROGRESO, G, A. *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial.* ; 2014-2019.
2. Brito H, et al. *Elaboración de repelentes orgánicos a partir de hierbas aromáticas.* In *International congress of science and technology*; 2017; Riobamba: ESPOCH.
3. Pareja M. *Manejo y Procesamiento de la Ganillaza.* Colombia; 2005.
4. Tobía C, Vargas E. *EVALUACIÓN DE LAS EXCRETAS DE POLLOS DE ENGORDE (Pollinaza).* San José, Costa Rica; 2000.
5. Brito H, et al. *Elaboración de bioinsecticida a base de ajo, ají y alcohol étílico como sustituto de insecticidas químicos.* In *SEMANA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN 2016*; 2015; Riobamba: ESPOCH.
6. Raymond N. *De la Observación a la Clasificación.* [Online].; 1986. Available from: <https://cursos.aiu.edu/Desarrollo%20de%20Habilidades%20del%20Pensamiento/PDF/Tema%201.pdf>.
7. Lutheran World Relief. *Cacao Orgánico MANAGUA-NICARAU: MANUEAL DE CULTIVOS.*
8. Pareja M. *Manejo y Procedimiento de la Ganillaza.* [Online].; 2005. Available from: convertonlinefree.com/PDFToJPGEN.aspx.
9. SAFER. *ALISIN INSECTICIDA ORGÁNICO.* [Online].; 2017. Available from: <http://safer.com.co/wp-content/uploads/2017/02/Alisntecnico.pdf>.

5
Recibido: 2020/06/15
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

EXTRACCIÓN DE PROTEÍNA DE *Synsepalum dulcificum*

EXTRACTION OF DE PROTEIN FROM *Synsepalum dulcificum*

Vallejo Sonia¹, Arias Fabián², Brito Hannibal^{3*}

¹Colaborador, ESPOCH

² Investigador FACULTAD DE CIENCIAS, ESPOCH

³ Investigador GIADE, ESPOCH

*Corresponding: hbrito@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la extracción de la proteína de la *Synsepalum dulcificum* en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en donde se realizó la caracterización físico química y sensorial de Fruta Milagrosa (*Synsepalum dulcificum*). Se determinó el método de extracción más adecuado de la proteína Miraculina para su posterior purificación y cuantificación en varios extractos: solución acuosa, solución salina, etanol. siendo el extracto en solución salina el método más adecuado en donde se obtiene una concentración considerable de glucoproteínas. Además, se caracterizó la proteína obtenida aplicando el método de Lowry contribuyendo a la identificación colorimétrica de la glucoproteína miraculina contenida en la fruta y mediante análisis de pH, °Brix. Se evaluó el efecto de diferentes tampones (Tris-HCL, NaCL) en la extracción de la proteína total utilizando alúmina y silica gel para su purificación.

Los resultados de este estudio han demostrado que la silica gel se puede aplicar como un proceso de paso para la purificación de miraculina a partir del extracto crudo de fruta milagrosa *S. dulcificum* al obtener la concentración final se obtuvo mayor concentración con el Tris-HCL a pH 7 fue el tampón de unión con mayor elección en la purificación de miraculina utilizando silica gel, se notó que la Miraculina puede ser purificada en un amplio intervalo de pH de tampón y extracto en el que fue más significativo de optimizar el tampón de unión en la etapa de elución el efecto de Tris-HCL era más significativo que el dicloro donde la concentración de NaCL 0,5 M fue el que tiene mejor rendimiento.

En condiciones óptimas (extracto crudo a pH 7, NaCl 0.5 M a pH 7, Tris-HCL tampón a pH 7 utilizado como tampón de elución) *S. dulcificum* con un rendimiento de 26,019 mg/kg. Mientras que la purificación en silica gel en dicloro el rendimiento fue de 0,012 mg/kg siendo el muy bajo su rendimiento.

Palabras Clave: Miraculina, Proteína, Extracción, Método, Tampón

ABSTRACT

The present investigation had as objective the extraction of the protein of the *Synsepalum dulcificum* in the Faculty of Sciences of the Polytechnic Superior School of Chimborazo where the physical, chemical and sensorial characterization of the Miraculous Fruit (*Synsepalum dulcificum*) was carried out. The most suitable extraction method for the Miraculin protein was determined for its subsequent purification and quantification in various extracts: aqueous solution, saline solution, ethanol. being the extract in saline solution the most suitable method where a considerable concentration of glycoproteins is obtained. In addition, the protein obtained using the Lowry method was characterized, contributing to the colorimetric identification of the miraculin glycoprotein contained in the fruit and by means of pH analysis, ° Brix. The effect of different buffers (Tris-HCL, NaCL) on the extraction of the total protein was evaluated using alumina and silica gel for purification

The results of this study have shown that the silica gel can be applied as a step process for the purification of miraculin from the raw extract of miraculous fruit *S. dulcificum*, when obtaining the final concentration, a higher concentration was obtained with Tris-HCL a pH 7 was the binding buffer of choice in the purification of miraculin using silica gel, it was noted that Miraculin can be purified in a wide pH range of buffer and extract in which it was most significant in optimizing the binding buffer in the elution step, the effect of Tris-HCl was more significant than dichloro where the concentration of 0.5 M NaCL was the one with the best performance. Under optimal conditions (crude extract at pH 7, 0.5 M NaCl at pH 7, Tris-HCl buffer at pH 7 used as elution buffer) *S. dulcificum* with a yield of 26,019 mg / kg. While the purification in silica gel in dichloro the yield was of 0,012 mg / kg being its performance very low.

Key Words: Miraculin, Protein, Extraction, Method, Buffer.

INTRODUCCIÓN

Ecuador, gracias a su posición geográfica y a la existencia de micro climas, posee una gran variedad de frutas no tradicionales que aún no han sido explotadas por falta de conocimiento o interés. La tradicionales representa una tendencia moderada creciente del 4 %, entre el periodo analizado 2007-2011. En 2011 se alcanzó un monto exportado de USD 74,6 millones, mientras hasta Julio del 2012 han alcanzado los USD 27,6 millones.”

Desde finales de los años 60 la industria farmacéutica viene funcionando en el país, comercializando productos farmacéuticos cuyos componentes están hechos de compuestos químicos para el tratamiento y prevención de distintas enfermedades. Es durante la última década la tendencia en este tipo de productos ha tenido un giro radical, cambiando el uso de fármacos con composiciones químicas (Badui , 2006) a productos con compuestos derivados de materia prima o ingredientes de origen natural y especies nativas. Algunos ejemplos son: fitofármacos, jarabes, cápsulas, pomadas y aromáticas medicinales entre otros (Arno & et al, 2001). Así también, hoy en día la industria de productos no calóricos, en especial los de origen natural, ha tenido un vuelco de 180 grados para el mercado alimenticio, esto considerando la necesidad de satisfacer a pacientes diabéticos, el manejo de pacientes con obesidad y la prevención de otras enfermedades de salud que no permiten el consumo de azúcares tradicionales como la sacarosa. Immanuel Kant (1760) afirma: “nuestro conocimiento del mundo exterior depende de nuestras formas de percepción. Durante los últimos 30 años los promedios de obesidad prácticamente se han duplicado y según los pronósticos de la OMS para el 2030, casi el 45 % de la población americana sufrirá de obesidad clínica. El incremento de esta cifra provee un crecimiento presupuestal en salud para enfermedades relacionadas con el sobrepeso, la diabetes, las enfermedades cardiacas entre otras.



FOTO 1 *Synsepalum dulcificum*

Es por esto que el enfoque real debería ser hacia campañas de educación sobre hábitos alimenticios, disminución de consumo de bebidas azucaradas y alimentos altos en el mismo. Al ser la alimentación una necesidad fundamental en la vida del ser humano y al reciente interés de alertar a las poblaciones que surgen de esta necesidad, el movimiento de alimentación sana ha ido creciendo en la última década.

*Por lo expuesto, se procedió con la determinación de la calidad de la fruta mediante análisis físico químico, luego se identificó el método más adecuado de extracción (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias III, 2001) de la proteína Miraculina de la Fruta milagrosa (*Synsepalum dulcificum*) (Cevallos & Andrade , Estudio de la Fruta Milagrosa (*Synsepalum dulcificum* Daniell) como posible edulcorante natural, 2005), luego se procedió a la caracterización de la proteína.*

METODOLOGÍA

Se procedió con el levantamiento de línea base y se estableció la ubicación geográfica del sitio donde se tomó la producción de la fruta milagrosa para los estudios de esta investigación, para lo cual, se realizó la georeferenciación usando el software ArcGIS, se determinó la situación climática, uso de la tierra.

Los datos primarios fueron obtenidos a través de imágenes satelitales del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI; luego se efectuó el muestreo con la persona responsable, misma que tuvo a su disposición todas las herramientas necesarias para abrir los contenedores, y recolectar las muestras, así como cuchillos, implementos para eliminar el polvo, y el material para empaclarlas en fundas Ziploc, además de los rótulos autoadhesivos para identificar las muestras y las cajas cooler en donde se almacenaron las muestras y se transportaron al laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias para sus análisis respectivos evitando la contaminación de las muestras.



FOTO 2 Muestras para el análisis

El análisis sensorial de la fruta Milagrosa, se centró en el dulzor, sabor, aroma, etc., los cuales son más difíciles de valorar. Estos parámetros definen la calidad interna, aunque existen factores bióticos y abióticos que hacen variar las mismas y exige el conocimiento de dicha variación mediante el estudio y la realización de ensayos de los mismos, en cambio para la caracterización físico química se procedió a preparar las muestras para su posterior análisis, se tomaron 20 unidades de fruta del lote de las cuales se analizaron 10 frutas escogidas al azar y se realizaron los siguientes análisis: el pH considerando la medida potenciométrica más importante utilizada en la industria agroalimentaria y sirve para cuantificar la concentración de H_3O^+ y proporciona una acidez activa en la que se determina el potencial de hidrógeno para ello se utilizó un pH-metro digital XL150 Accument® calibrado por tres estándares pH= 7,01 4,00 10,03. Se consideró 3 mL de la muestra en bruto a temperatura de 15 a 20 °C; el valor de pH puede variar desde la corteza hacia el centro de la fruta por lo que para definir un valor representativo del pH del fruto es necesario obtener un zumo procedente del licuado del mismo sin la pepa y posteriormente someterlo a una filtración (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias I, 2000), para obtener el jugo sobre el cual hacer la medición, luego se procede a implantar el electrodo del potenciómetro en la muestra, hasta obtener una medición estable. (AOAC 19TH 942.15).

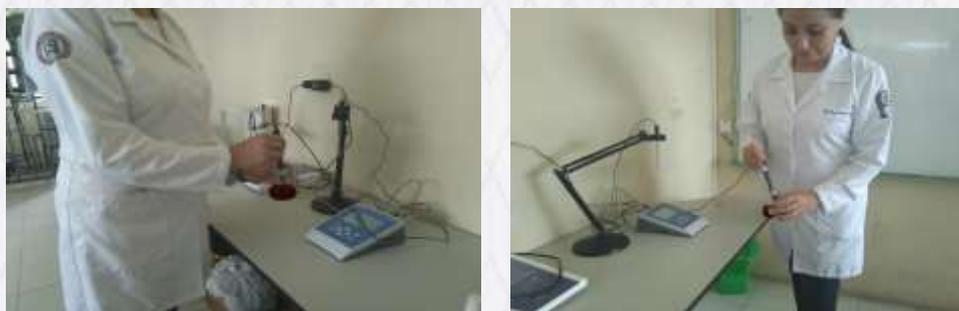


FOTO 3 pH-metro digital XL150 Accument®

Se determinó el nivel de azúcar expresado como la concentración de sacarosa de una muestra se correlaciona con la cantidad de sólidos solubles, y para medir estos grados se trabajó con un Refractómetro digital RA-620

para alimentación es un robusto dispositivo portátil e impermeable disponible en el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias, el método que utiliza para medir el índice de refracción (% Brix) es tan simple como rápido, tras una calibración simple con agua desionizada o destilada, se determina la lectura del índice de refracción de la muestra y lo convierte en unidades de concentración.



FOTO 4 Refractómetro digital RA-620

Para la extracción de la fruta, se procedió a lavar la misma con solución de NaOH 0,1 N. La piel y las semillas de los frutos se separaron manualmente utilizando un cuchillo y la pulpa se secó usando técnicas de secado por congelación en nitrógeno líquido y por liofilización para luego ser trituradas (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias I, 2000) en un mortero hasta molerlo y convertirlas en un fino polvo. El polvo de la fruta se mantuvo a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ antes de su uso.

Se efectuó un proceso de liofilización (Brito & et al, Diseño y construcción de un liofilizador para el secado de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*, 2016) a las muestras de fruta con la finalidad de preparar la muestra para su posterior extracción y purificación, con esto se logró un producto libre de agua y que a su vez no presente cambios significativos en sus componentes, el procedimiento se detalla a continuación:

- a. Se procede a preparar la muestra para lo cual se congela la misma y se acondiciona con el menor espesor posible.
- b. Se pesa la muestra a colocar en cada bandeja.
- c. Se enciende el liofilizador. Se procede a colocar la muestra en la bandeja del liofilizador con papel aluminio cuando se encuentre en $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- d. Mantener la Temperatura en un Rango $60 - 65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pesar después de 15 minutos.
- e. Poner la muestra en el liofilizador.
- f. Pesar después de 10 minutos.
- g. Poner la muestra en el liofilizador hasta que el peso se mantenga constante.
- h. La duración del proceso de liofilización fue de 1,31

- i. para extraer el agua de la fruta que era del alrededor del 90 %. i. Luego de finalizada la liofilización se trituró el producto con un mortero con la finalidad de obtener un polvo completamente fino que presenta de manera concentrada

Es importante considerar factores como % de Humedad, humedad crítica y velocidad de secado. A continuación, se muestra el Diagrama de Flujo para la Liofilización.

Previo a la determinación del método de extracción se realizó un acondicionamiento de la materia prima que consistía en la limpieza de la fruta Milagrosa seleccionada para lo cual se realizó un lavado de la misma con agua destilada con el objeto de eliminar la carga microbiana superficial, se dejó secar al ambiente, se pesó y se selló al vacío en bolsas de plástico dejando en refrigeración a 4 °C para su uso posterior, luego se determinó el método de extracción más adecuado (Extracción en solución acuosa, Extracción en solución salina, Extracción con etanol, Extracción en solución salina más propilenglicol),

RESULTADOS

Tabla 1 Análisis físico-químico

No. Muestras	CALIBRE		PH	GRADOS BRIX
	Longitud/cm	peso/g		
1	0,980	1,28	2,80	10,83
2	1,000	1,3	2,90	10,50
3	2,000	0,98	2,60	10,96
4	1,200	1,36	3,50	10,73
5	1,250	1,23	3,78	10,67
6	2,500	1,32	3,43	10,87
8	2,330	1,38	4,00	10,75
9	2,550	1,35	3,25	10,96
10	2,000	1,21	3,00	10,78
PROMEDIO		1,27		10,82

La *Synsepalum dulcificum* produce bayas rojas pequeñas de forma elipsoide aproximadamente tienen de 1 2,5 cm de largo y pesa en promedio de 0,9 1,3 g. El fruto generalmente contiene una sola semilla. En lo que tiene que ver a pH se consideró 3 mL de la muestra en bruto a temperatura de 15 a 20 °C obteniéndose valores que van desde 2,8 - 4,0 los valores determinados se encuentran dentro del rango referencial de pH > 2,5 < 12,0 que indica el activad óptima del poder edulcorante de la fruta, a valores por debajo o superiores al referencial el activo edulcorante de la fruta se reduce. El valor de los Grados Brix indica la cantidad de solutos como azúcares presentes en la fruta reportando un valor promedio de 10,8 °BRIX en fruta fresca.

Tabla 2 Análisis Bromatológico

No.	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS	METODO
1	Humedad	%	80,85	PEE/I.A/02 INEN ISO 1442
2	Proteína	%	1,44	PEE/I.A/01 INEN ISO 973

3	Grasa	%	0,36	PEE/I.A/05 AOAC 960.39
4	Ceniza	%	0,63	PEE/I.A/03 INEN ISO 936
5	Fibra	%	12,09	INEN 522
6	Carbohidratos totales	Cal/100 g	16,72	Cálculo

Los valores obtenidos indican una presencia elevada de proteína considerando el gran porcentaje de humedad de la muestra, esta cantidad de proteína es indicativo de la calidad de la fruta y es relacionado con el poder edulcorante de fruta milagrosa, además el valor determinado de fibra es indicativo que la fruta puede actuar como un regulador del tránsito intestinal.

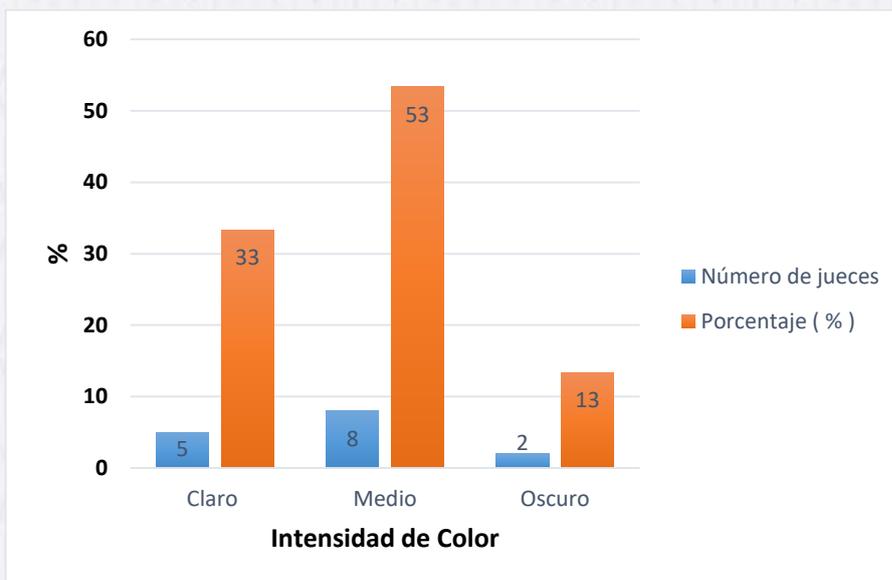


Gráfico 1 Evaluación sensorial del Color Rojo de la Fruta Milagrosa

En la encuesta realizada al panel de 15 personas no entrenadas que cataron la fruta el 53 % tuvieron un percentil de que el color rojo de la fruta es de intensidad media, dicha característica puede deberse al estado de madurez de la fruta presentada al momento de evaluarla.

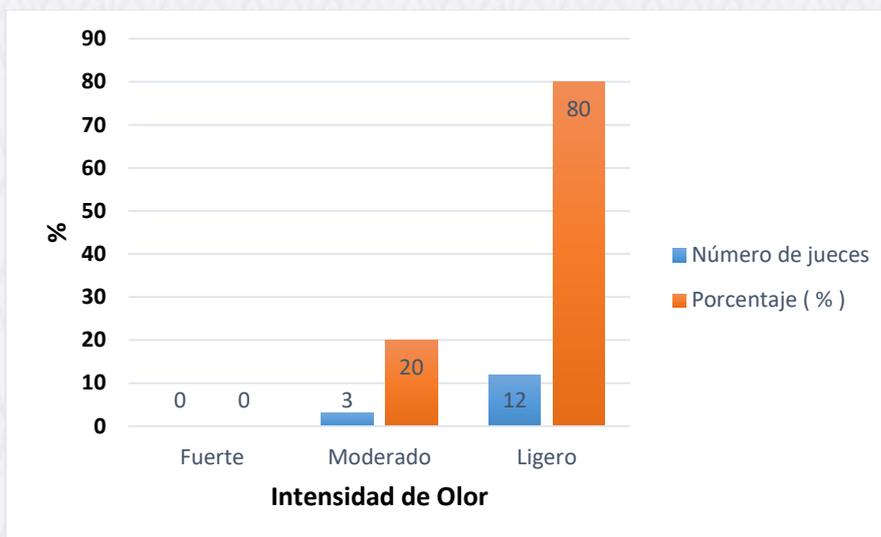


Gráfico 2 Evaluación sensorial del Olor de la Fruta Milagrosa

El 80 % de los panelistas que evaluaron la fruta fresca tuvieron la percepción de que la fruta fresca tiene un olor ligero de acuerdo a las encuestas de evaluación sensorial presentadas y tabuladas.



Gráfico 3 Evaluación sensorial del Sabor de la Fruta Milagrosa

El sabor que es uno de los atributos más importantes a ser evaluado alcanzando una ponderación del 80 %; el sabor es una de las características de la fruta Milagrosa que según los estudios realizados por Baillie (2001) en ausencia de acidez la Miraculina no se enlaza con ningún receptor, y por lo tanto, no provoca ningún efecto o sabor. Sin embargo, cuando hay presencia de una sustancia ácida en la lengua la membrana receptora experimenta un cambio que inmediatamente la Miraculina toma la oportunidad de alojar su lado activo dentro del receptor dulce de la lengua. El resultado es un fuerte sabor dulce en la boca; razón por la cual es conocida como una proteína que enmascara los sabores por ende al modificar el sabor dulce puede tener el potencial de sustituir a los edulcorantes artificiales, actuando como un edulcorante natural bajo en calorías.

Tabla 3 Datos experimentales de la humedad obtenidos en el liofilizador

No.	Muestra 1	
	θ (h)	P_i (Kg)
1	0	$4,095 \times 10^{-3}$
2	0,25	$3,369 \times 10^{-3}$
3	0,25	$2,7517 \times 10^{-3}$
4	0,25	$2,6193 \times 10^{-3}$
5	0,25	$2,5676 \times 10^{-3}$
6	0,25	$2,4565 \times 10^{-3}$
7	0,25	$2,418 \times 10^{-3}$
8	0,25	$2,418 \times 10^{-3}$
9	0,25	$2,418 \times 10^{-3}$

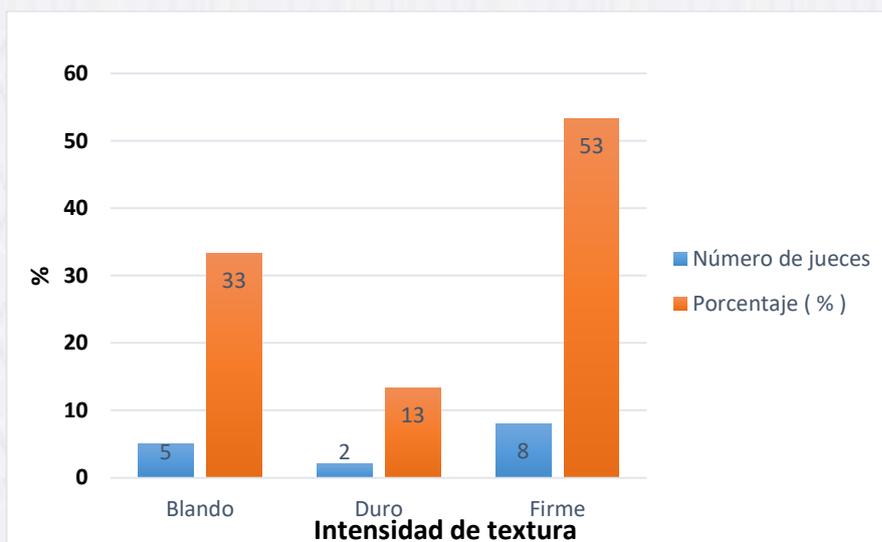


Gráfico 1 Evaluación de la Textura

Considerando que la fruta degustada se encuentra en su perfecto estado de madurez (sazón) se evaluó la textura y los resultados tabulados denotan que el 53% de los jueces categorizan a la fruta como firme.

De acuerdo a los cálculos reportados para secar $4,095 \times 10^{-3}$ Kg de Miraculina se tarda alrededor de 1,31 horas, hasta eliminar el contenido de agua y estabilizar su peso final que es de $2,418 \times 10^{-3}$ Kg de fruto seco.

La velocidad de Secado (W) es de $1,27 \text{ Kg/m}^2\text{s}$, considerando el área de la superficie en contacto con la muestra de $2,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

La termolabilidad al ser una característica que descompone a la sustancia hace difícil la preservación del fruto y de su principal característica, por ello, para lograr una buena preservación se ha determinado por medio de otras investigaciones, que el proceso indicado es la liofilización.

Tabla 4 Valores de pH y grados Brix del extracto en solución salina

No.	Tipo de extracto	pH	Grados Brix
1	NaCl 0,0017 M	3,6	3,73
2	NaCl 0,086 M	4,25	3,32
3	NaCl 0,500 M	3,43	3,48
4	H ₂ O	4,02	9,84
5	Etanol	4,18	2,78

En la tabla 4, se puede observar los valores de pH y grados Brix de los extractos obtenidos por soluciones salinas a distintas concentraciones, como se puede observar los valores de pH no sufren una variación considerable con respecto al pH de la fruta fresca, sin embargo los valores de solutos solubles ($^{\circ}$ Brix) se observa una reducción aproximadamente del 70 %, lo cual indica que el método de extracción reduce la cantidad de posibles solutos (azúcares) disueltos en el extracto puro, en cambio en el extracto de agua los valores de grados Brix son altos conservando casi el 90 % de los solutos (glúcidos) del extracto puro. Sin embargo, cabe recalcar que después de cada extracción se realizó el análisis sensorial para cada extracto, en el extracto de agua el potencial edulcorante era menos persistente en función del tiempo en comparación con todos los extractos salinos, puesto que el efecto se perdía aproximadamente a los 8 minutos y en los extractos salinos en 20 minutos, en el extracto etanólico la acción edulcorante fue nula. Estos valores confirman que la actividad edulcorante no depende de los azúcares disueltos ($^{\circ}$ Brix) en la solución, si no de la cantidad de proteína (Miraculina) extraída por el eluyente. La Miraculina actúa mediante dos residuos de histidina (Su-30 y Su-60) los cuales son responsables de la actividad modificadora del sabor. Cuando estos residuos de histidina se sustituyen por alanina, pierde la actividad inductora de dulce (Ito et al., 2007; Paladino, Costantini Colonna y Facchiano de 2008).

Tabla 5 Determinación cuantitativa de la proteína en extractos obtenidos por diferentes métodos de extracción por la técnica de Lowry

No.	Solución extractora	Muestra (mL)	Reactivo de Lowry (mL)	Absorbancia (λ) 750 nm	Cálculo de Proteína	Coloración
1	NaCL 0,0017 M	0,5	1,1	0,179	21696 mg/kg 21,696 g/kg 2,17 %	Azul
2	NaCL 0,086 M	0,5	1,1	0,151	18302 mg/kg 18,302 g/kg 1,83 %	Azul
3	NaCL 0,500 M	0,5	1,1	0,229	27756 mg/kg 27,756 g/kg 2,78 %	Azul
4	Etanol 70 %	0,5	1,1	0,087	0,174 mg/kg $1,74 \times 10^{-4}$ g/kg $1,75 \times 10^{-5}$ %	Azul
5	Solución Acuosa	0,5	1,1	0,124	14180 mg/kg 14,18 g/kg 1,418%	verde

Azul= Positivo; Verde = Negativo

De acuerdo a los datos reportados se puede confrontar el rendimiento de los diferentes métodos de extracción de la proteína Miraculina, dando como mejor solvente extractor la solución salina de 0,5 M teniendo un rendimiento de proteína de 2,78 % en comparación con los valores obtenidos con los solventes etanol 70 % y agua que se reportan valores < 1 % , las extracciones con todas las soluciones salinas presentan un alto poder de extracción, estos valores concuerdan con estudios previos realizados por (Cevallos, 2005) en el cuál se determina valores de proteína mayores > 2% con eluyentes salinos de concentración de 0,5 M, dicho solvente se empleará para la purificación y cuantificación de la proteína.

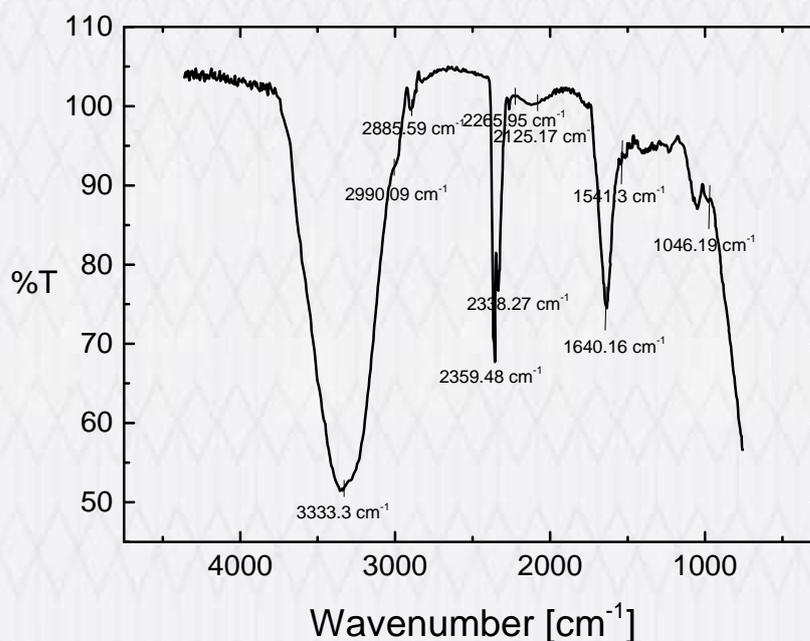


Diagrama 1 Estudio IR en el extracto con 0,086 M de NaCl

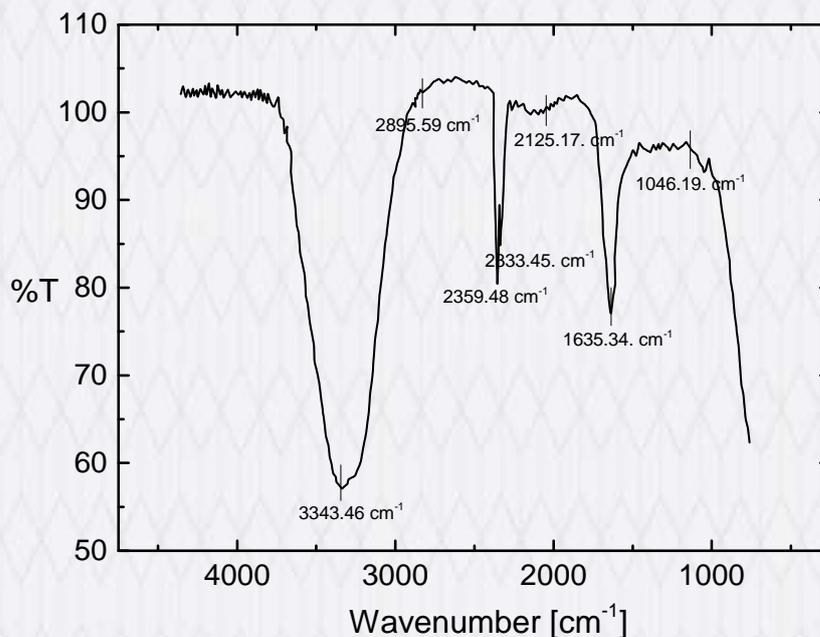


Diagrama 2 Estudio IR en el extracto con 0,50 M de NaCl

Tabla 6 Grupos funcionales presentes

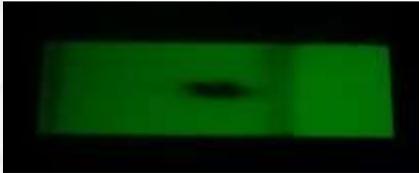
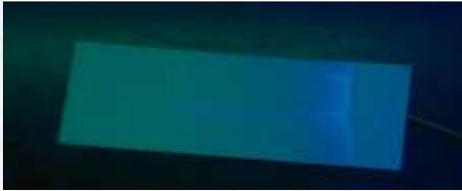
No.	Número de Onda [cm ⁻¹]	Grupo funcional
1	3328	Hidroxilo- C=C-OH
2	2921	C-H Bandas de estiramiento simétrico
3	2359	NH ₃ Grupos aminos
4	2338	Banda de estiramiento de CO ₂
5	1640	Bandas de estiramiento C=O
6	1234	Balanceo C-H

Fuente: Brito Hanníbal, Laboratorio Investigación, 2019

En el análisis espectral de Infrarrojo a través de transformadas de Fourier de los extractos salinos se observa espectros a un número de onda de $3328 \pm 30 \text{ cm}^{-1}$ el cual indica la presencia de grupos hidroxilos en la muestra, en $2921 \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ se debe a las vibraciones de estiramiento C-H de los grupos metilo y metileno, $2359 \pm 15 \text{ cm}^{-1}$ es indicativo de la presencia del grupo amino, se presenta una banda fuerte de adsorción en $1640 \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ que corresponde a la vibración C=O, los grupos funcionales determinados por espectrometría infrarroja nos indica la presencia de una molécula proteica en el extracto al presentarse los grupos funcionales CHON presentes en las proteínas en general.

Tabla 7 Efecto en la purificación con los diferentes tampones en cromatografía en capa fina

No.	CODIFICACIÓN	CROMATPGRAFÍA	RESULTAD O
-----	--------------	---------------	---------------

1	A		Cromatografía con sílica gel con eluyente diclorometano y tampón NaCl 0,5 M
2	B		Con NaCl 0,5 M
3	C		Con Tris-HCl a pH 7 NaCl 0,5 M
4	D		Extracto con etanol al 70%

De acuerdo a los datos obtenidos se estableció utilizar el extracto del eluyente salino 0,5 M por presentar mayor actividad edulcorante para la separación y purificación de la proteína mediante cromatografía en capa fina, variando los eluyentes (Fase móvil) y utilizando gel de sílice como fase estacionaria.

El revelado de la cromatografía se realizó mediante una técnica física que incide luz ultravioleta (254 nm) a la placa, revelando a las proteínas que tienen propiedades fluorescentes y compuestos que adsorben luz UV.

Tabla 8 Distancia recorrida por diversos extractos presentes en los presentes en las placas para cromatografía en capa fina y sus respectivos valores de Rf

Extractos	d_1 (cm)	d_2 (cm)	Valores de Rf
A Dicloro metano + NaCl 0,5 M	5,6	7,5	0,74

B	NaCl 0,5 M	0,0		0,00
C	Tris-HCl a pH 7 + NaCl 0,5 M	0,5		0,01
D	Extracto en etanol al 70%	0,0		0,00

Fuente: Brito Hanníbal, Laboratorio Investigación, 2019

Se puede observar en las placas de capa fina existe una mejor separación con el eluyente diclorometano donde se determina un Rf de 0,74 cuando la placa es expuesta a rayos UV, en las demás placas no se observa una clara separación por lo que no pudo determinar el Rf.

Tabla 9 Lecturas de absorbancia luego de la purificación

No.	COLUMNAS	ESTÁNDAR (mL)	REACTIVO LOWRY	ABSORBANCIA A 750 NM.	LECTURA PROTEÍNAS
1	Alúmina (Tris-HCL)	0,5	1,1	0,396	5,99 mg/kg
2	Alúmina (Diclorometano)	0,5	1,1	0,296	4,47 mg/kg
3	Silica gel (Tris-HCL)	0,5	1,1	1,728	26,019 mg/kg
4	Silica gel (Diclorometano)	0,5	1,1	1,777	26,761 mg/kg

Fuente: Brito Hanníbal, Laboratorio Investigación, 2019

Según el propósito de la investigación el cuál es presentar una alternativa de edulcorante natural para las personas diabéticas, el análisis sensorial de más importancia es el parámetro del sabor, de acuerdo a los resultados obtenidos en fruta fresca el potencial edulcorante residía principalmente en la proteína, por lo cual, se realizó la prueba del sabor para la proteína extraída siguiendo el método descrito en la EVALUACIÓN SENSORIAL, con ligeras modificaciones que consiste en diluir la proteína en una solución acuosa.

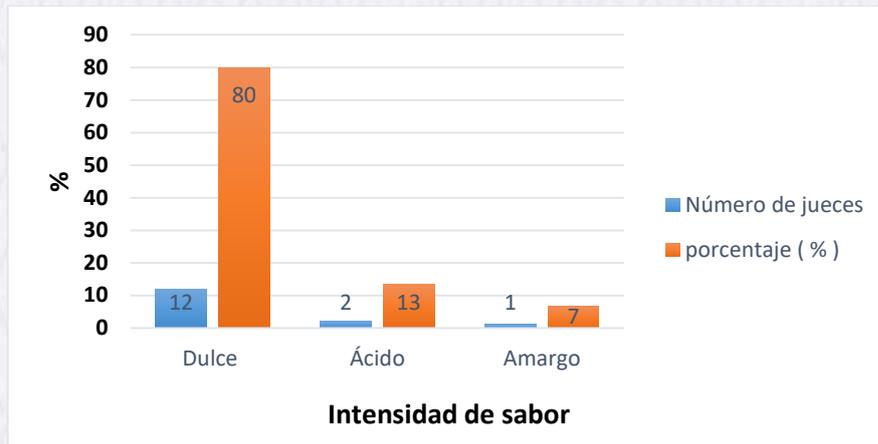


Gráfico 5 Evaluación sensorial del Sabor de la proteína extraída

Se puede observar que el 80 % de los jueces evaluadores percibieron que el potencial edulcorante era óptimo y no presentaba grandes variaciones en sabor con los extractos de la fruta total.

CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó la caracterización físico química de Fruta milagrosa (*Synsepalum dulcificum*) obteniendo resultados satisfactorios en los parámetros organolépticos como bormatológicos asegurando la calidad de la fruta como objeto de análisis.
- ✓ Se determinó el mejor método de extracción al evaluar procesos con solución acuosa, en solución salina a distintas concentraciones molares y en etanol (70 %), concluyendo que el mejor método de extracción de la proteína es con solución salina (0,5 M) confirmando este resultado con técnicas cromatográficas como TLC y pruebas espectrométricas con Infrarrojo y transformadas de Fourier.
- ✓ La proteína extraída se cuantificó mediante análisis espectrofotométricas uV. Vis usando el reactivo de Lowry obteniendo un rendimiento de 26,76 mg de proteína miraculina por cada kilo de fruto, la proteína extraída conservo su característica endulzante determinada por el análisis sensorial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Brito H. Residuos sólidos generados en el Centro Comercial la Condamine y su disposición final Santa Cruz de la Sierra: SE; 2015.
2. Brito H, et al. Cierre Técnico de botaderos de basura. 2017.
3. Aldás A. GAD Municipal del cantón Patata. [Online].; 2017. Available from: <http://puyo.gob.ec/anterior/servicios/online/documentos/departamentos/ambiental/648-gesti%C3%B3n-integral-de-desechos-peligrosos-en-el-relleno-sanitario-de-la-ciudad-de-puyo,-provincia-de-pastaza.html>.
4. Brito A, Medina G, Andrade M, Borja D, Peñafiel S, Mendoza M, et al. Manejo de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). 2015.

5. Brito H, Chariguamán N, Villota V. *Cierre Técnico de Botaderos de Basura Riobamba*; 2017.
6. MAE. Ministerio del Ambiente. 2013..
7. INFORECICLAJE. [Online].; 2017. Available from: <http://www.inforeciclaje.com/residuos-solidos.php>.
8. RECYTRANS. [Online].; 2017. Available from: <https://www.recytrans.com/blog/clasificacion-de-los-residuos/>.
9. MAE. [Online].; 2017. Available from: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>.
10. ALONSO C, MARTÍNEZ E, AND DE LA MORENA J. *MANUAL PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS* Madrid: ECOIURIS; 2003.
11. Brito H, et al. *Diseño y construcción de un extrusor tipo tornillo para la obtención de pellets plástico a partir de botellas recicladas*. In XXXVI Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental; 2018; Guayaquil.
12. Brito H, et al. *Diseño y construcción de un reactor batch para la obtención por transesterificación de biodiesel a partir de aceite usado de cocina Riobamba*; 2008.
13. Brito H, et al. *Generación de biogas a partir de estiércol de ganado a nivel de finca en el oriente ecuatoriano*. 2016.
14. Brito H. *Manejo de desechos sólidos hospitalarios*. 2018.
15. Brito H, et al. *Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado Mayorista del cantón Riobamba*. 2016.
16. Brito H, et al. *Optimización del sistema de tratamiento de efluentes generados en la lavandería y tintorería de jeans CORPOTEX*. 2017.
17. Brito H. *Texto Básico de Auditoría Ambiental Riobamba*; 2007.
18. Brito H. *Texto Básico de Ingeniería de Plantas Riobamba*; 2000.
19. Valencia J, Brito H. *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Área de Bovinos en el Camal Frigorífico Municipal De Riobamba Riobamba*; 2012.

6

Recibido: 2020/06/15
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

IMPORTANCIA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL RECURSO VEGETAL DE LA PARROQUIA SAN JUAN, CANTÓN RIOBAMBA

IMPORTANCE OF THE ECOSYSTEM SERVICES OF THE VEGETABLE RESOURCE OF THE PARISH SAN JUAN, CANTON RIOBAMBA

Moreta Silvana¹, Yaulema Fausto², Brito Marcela², Gavilánes Alex^{3*}

¹Colaborador, ESPOCH

² Investigador GIADE, ESPOCH

³ Investigador GIADE, ESPOCH

*Corresponding: a_gavilanes@epoch.edu.ec

RESUMEN

Para definir el vínculo existente entre el beneficio del servicio proporcionado por los ecosistemas vegetales en relación con su importancia y frecuencia de uso, asignada los usuarios directos. Los criterios de identificación fueron basados en la metodología del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que considera: actividades económicas de la población, competencias de los gobiernos seccionales, condiciones climáticas, importancia de la conservación de bosques, uso del suelo y agua, normativa vigente, educación ambiental, así como las condiciones socioeconómicas, costumbres y calidad de vida. Así, se identificaron 20 servicios ecosistémicos: de aprovisionamiento, de regulación, de soporte y 4 culturales. Se aplicaron 326 encuestas a la población de la cabecera parroquial, procesando la información estadísticamente con pruebas no paramétricas; además, mediante el método analítico inferencial se determinó el excedente por conservación que la población está dispuesta a pagar. Es así, que los valores de importancia asignados se relacionan principalmente con las variables: etnia, género y nivel de educación, y los servicios ecosistémicos tangibles son los que poseen una valoración más alta.

Palabras claves: San Juan, servicios ecosistémicos, valoración económica, recursos forestales, economía ambiental

ABSTRACT

To define the existing link between the benefit of the service provided by the plant ecosystems in relation to their importance and frequency of use, assigned to the direct users. The identification criteria were based on the methodology of the Banco Interamericano de Desarrollo (BID) that considers economic activities of the population, powers of sectional governments, climatic conditions, importance of forest conservation, land use and water, current regulations, environmental education, as well as socioeconomic conditions, customs and quality of life. Thus, 20 ecosystem services were identified: 6 for provisioning, 7 for regulation, 3 for support and 4 for culture. 326 surveys were applied to the population of the parish head, processing the information statistically with nonparametric tests; In addition, through the inferential analytical method, the surplus for

conservation that the population is willing to pay was determined. Thus, the values assigned importance are mainly related to the variables: ethnicity, gender and level of education, and tangible ecosystem services are those that have a higher valuation.

Key words: San Juan, ecosystem services, economic valuation, forest resources, environmental economy

INTRODUCCIÓN

Los servicios ambientales se clasifican en: aprovisionamiento, regulación (16); culturales (30), como también los de soporte (29). Los bienes o servicios ecosistémicos que presta la naturaleza (23), son consumidos de forma directa, mediante la interacción entre sí, que mejoran el desarrollo y la calidad de vida de las personas (4).

Algunos servicios no poseen valores monetarios de mercado y se necesita tiempo para asignar valor para ellos (18); la influencia que tiene las partes interesadas (20); sobre los servicios puede ser positiva o negativa (10). Durante la identificación de los servicios ambientales requiere de un proceso interactivo y de consulta regular, estableciendo preguntas claves y concisas y definir indicadores de uso (5).

Expresando de tal manera una necesidad de estudio para la parroquia San Juan mediante la determinación de la importancia de los servicios, la identificación de índices ecológicos y la dependencia de los mismos por los factores sociales (22); relación población y el entorno ambiental (25).

Mediante la encuesta se construyó en torno a la metodología clave de: servicios derivados únicamente de los ecosistemas locales y que un flujo de servicios (uso real) colocar solo cuando dichos servicios se consumen directamente (disfrutado) por el destinatario final (7).

Además de conocer la importancia de la conservación de bosques y peligros que enfrentan los ecosistemas, motivos del desgaste de los recursos, afectaciones culturales (24); conocimiento de las entidades responsables de la protección, conservación del área protegida, importancia y frecuencia de uso de los servicios, actividades comerciales y egresos, motivos por los cuales no estarían dispuestos a pagar (19); y la disponibilidad de pago por la conservación de los bosques (28).

Conjuntamente con el aporte investigativo permite reconocer la importancia que tienen los servicios para la economía y la sociedad (31). Identifican la alta demanda de bienes y servicios vinculado al aumento poblacional (15), como uno de los factores de la degradación continua del ambiente, a los cuales hay que sumarle los cambios en el uso de suelo (32); el cambio climático (21); entre otros que influyen al acelerado daño ambiental (27). Mediante la identificación de los servicios y el conocimiento de las preferencias sociales en cuanto a la importancia y frecuencia de uso permitirá aplicarse programas de preservación (6); y reparación del ambiente a 4 categorías: conservación, restauración pasiva y activa, uso sustentable; donde se pueden implementar medidas para un manejo sostenible por zona (11).

El impacto directo que tendrá esta investigación será sobre los 8443 habitantes de la parroquia y el gobierno autónomo descentralizado de la localidad; quienes son los beneficiarios de éstos servicios ecosistémicos, mientras que de manera indirecta serán las autoridades provinciales, sectoriales y organizaciones no gubernamentales, como parte de la planificación territorial

METODOLOGÍA

Identificación y consulta a las partes involucradas “stakeholders” y revisión bibliográfica

Se aplicaron encuestas a los habitantes de la población y entrevistas a los líderes barriales siguiendo la recomendación del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (17). Como fuente secundaria se revisó el inventario vegetal, población zonal, sistema comunitario, culturas, sustentabilidad social y económico en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial local, cantonal y provincial (9).

Tabla 1 Identificación de los "stakeholders" de la parroquia

Juntas comunales de pueblos indígenas	Ministerio de Ambiente del Ecuador
Propietarios de bosques (propiedad privada)	Ministerio de Agricultura y Pesca
Organizaciones de productores	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba
Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Juan	Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Chimborazo
Sociedad local	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
	Universidad Nacional de Chimborazo

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado parroquial San Juan, 2018

Cálculo de la muestra

Se realizó el cálculo de n-encuestas aplicado para poblaciones finitas (2), para un universo poblacional de 2126, obteniendo 326 entrevistas a aplicarse, distribuidas de acuerdo a su densidad poblacional.

Tabla 2 Distribución de encuestas por barrios (Cabecera parroquial San Juan)

BARRIO	**PROMEDIO DE INTEGRANTES (4)	PORCENTAJE	Nº Encuestas
SAN FRANCISCO	352	16,6	54
SAN VICENTE	313	14,7	48
CENTRAL	365	17,2	56
SANTA MARIANITA	515	24,2	79
RUMIPAMBA	581	27,3	89
TOTAL	2126	100,0	326

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado parroquial San Juan, 2018

Área de aplicación

Para la obtención de los valores de importancia y frecuencia de uso de los servicios, se identificó sitios en los que: los pobladores de la parroquia local son altamente dependientes de la naturaleza ya que con ella obtienen su capital de ingreso y beneficios (1).



Fuente: Google Earth, 2018

Figura 1. Área de estudio del cantón Riobamba, parroquia rural San Juan

Identificación de los servicios ecosistémicos que proporciona el recurso vegetal

Mediante conversatorios centrados hacia los actores principales se identificaron los servicios prestados por la vegetación distribuidos entre las categorías: aprovisionamiento, regulación, soporte y culturales

Para el desarrollo de la encuesta se elaboraron preguntas básicas detenidamente expuestas a revisión, adaptadas a la realidad de la zona de estudio después de haber recopilado información por parte de las autoridades locales, cantonales provinciales y personas voluntarias con criterio que habitan en la parroquia. A los encuestados se les indicó que limitaran sus consideraciones a los servicios proporcionados por los ecosistemas locales. Los servicios ecosistémicos identificados se distribuyeron por categorías en los cuales se obtuvo: 6 de aprovisionamiento, 7 de regulación, 3 de soporte y 4 culturales (1).

Evaluación de los servicios ecosistémicos identificados

Se eligió un rango corto de calificación a diferencia de los que comúnmente encontramos en bibliografía del (1) al (15) en nuestro caso aplicamos una escala numérica del 1 al 5 ante los servicios enlistados ya sea por importancia o frecuencia de uso (1).

Tabla 3 Escala de colores para la evaluación de los servicios identificados según la importancia y la frecuencia de USO

VALORES				
1 -1,99	2 - 2,99	3 - 3,99	4 - 4,99	5
*I Poco o nada importante	Algo importante	Medianamente importante	Importante	Muy importante
*F Poco o nada frecuente	Algo frecuente	Medianamente frecuente	Frecuente	Muy frecuente

*I= es la importancia del servicio ecosistémico
*F= es la frecuencia de uso del servicio ecosistémico

Para averiguar la importancia y la frecuencia del uso otorgado a los servicios provenientes de los ecosistemas se obtuvo el promedio de las respuestas emitidas por los encuestados según la escala de Likert del 1 al 5, diferenciado a la importancia del servicio con la de frecuencia de uso del servicio.

Elementos que cambiaron la percepción del ecosistema.

En los análisis estadísticos desarrollados con los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas a la población, se consideró los siguientes factores (variables independientes): barrio, género, etnia y nivel de instrucción.

Tabla 4 Pruebas aplicadas en el análisis estadístico.

DISTRIBUCIÓN NORMAL		Incluye todos los datos levantados.	Kolmogorov Smirnov
DISTRIBUCIÓN	Pruebas no	Para el factor género	Mann Whitney
NO NORMAL	paramétricas	Para los factores: barrio, nivel instructivo y etnia	Kruskal Walls
ENCUESTAS (Conservación)		Disposición a pagar (DAP)	Chi cuadrado

Fuente: Brito Hanníbal, Laboratorio Investigación, 2019

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de selección de los servicios mediante las entrevistas realizadas

Para el proceso de evaluación de los servicios ecosistémicos se modificaron los términos con los que se usó en las entrevistas y encuestas por un lenguaje técnico ambiental para nuestro estudio.

Tabla 5 Resultado del proceso de entrevista hacia los usuarios con nivel de decisión

CATEGORÍAS	SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	CALIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS SELECCIONADOS (%)
SERVICIOS DE APROVISIONAMIENTO	Alimentación humana	100
	Alimentación animal	100
	Madera para construcción	60
	Plantas medicinales	60
	Polinización	80
	Leña	45
SERVICIOS DE REGULACIÓN	Regulación del ciclo hidrológico	100
	Incremento de filtración	80
	Conservación de agua por los bosques	100
	Regulación del microclima	80
	Prevención de deslizamientos de tierra	80
	Prevención de inundaciones	80
SERVICIOS DE SOPORTE	Control biológico	80
	Vegetación que ayuda a mantener los niveles de agua	100
	Ciclo de nutrientes en el suelo	100
SERVICIOS CULTURALES	Residuos orgánicos que mejoran el suelo	80
	Descanso, relajación	80
	Poicaje	70
	Prácticas ancestrales	100
		50

Fuente: Brito Hanníbal, Laboratorio Investigación, 2019

En vista de los altos valores porcentuales registrados durante las entrevistas realizadas se obtuvo que la mayor parte de los servicios ecosistémicos enlistados son de suma preferencia en la parroquia San Juan, donde fueron supervisados y aprobados para realizar las evaluaciones, sin embargo, es notorio que los usuarios reconocen y valoran los beneficios ambientales prestados por la vegetación.

Los servicios que tienen un valor menor como por ejemplo la madera o los productos forestales maderables, se debe a la diferencia de criterio de las personas entrevistadas debido a que una parte lo usan como combustible y para ambientar sus casas con calor por las bajas temperaturas de la zona; pero, en otros casos se considera como un recurso que está en déficit y que no se debería usar.

Caracterización de la encuesta para el proceso de evaluación de los servicios prestados

El total de muestra a encuestar dio 326 distribuidas en los 5 barrios de la cabecera parroquial (Tabla 2) y en base a este número se realizaron los análisis estadísticos, mismos que se resumen con los factores de mayor proporción que inciden en el uso de los servicios ecosistémicos y se muestran a continuación:

Tabla 6 Resultados del análisis porcentual de los factores en estudio

FACTORES		DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL
ETNA	Indígena	62,90
	Mestiza Blanco	36,20
GÉNERO	Femenino	9,00
	Masculino	48,80
EDAD	30-45 años	51,20
	18-29 años	31,30
NIVEL DE INSTRUCCIÓN	Primaria	43,30
	Secundaria	30,10
	Tercer nivel	16,60
	Cuarto nivel	9,20
	Ninguna	
OCUPACIÓN	Agricultura	45,10
	OTROS (quehaceres doméstico, chofer, guardián)	21,70
	Ganadería	10,10

Fuente: Statistical Package for the Social Sciences

Importancia y frecuencia de uso de los servicios provistos por los ecosistemas
Se fijaron 20 servicios ecosistémicos en este estudio para los análisis de forma independiente, en base a su importancia y a su frecuencia, lo que representó un total de 40 repeticiones por análisis para cada servicio

Tabla 7: Evaluación de los servicios ecosistémicos mediante los valores medios (VM) obtenidos en el análisis estadístico de acuerdo a la IMPORTANCIA (*I) y FRECUENCIA DE USO (*F) de los mismos

EC.	VEGETAL						ACUÁTICO						VEGETAL							
	Alimentación humana	Alimento de animales	Madera para construcción	Plantas medicinales	Polimización	Leña	Aguas superficiales	Aguas subterráneas	Conservación hídrica por los bosques	Regular el microclima	Deslizamiento de tierra	Prevención de inundaciones	Control de plagas	Mantener los niveles de agua	Ciclo de nutrientes	Residuos orgánicos que mejoran el suelo	Descanso, relajación	Recreación	Paisaje	Practicas ancestrales
SERVICIOS E.	APRO VISIONAMIENTO						REGULACIÓN						SOPORPO			CULTURAL				
I*	4,79	4,40	3,32	4,34	3,81	3,87	4,09	4,06	4,42	4,08	4,19	4,22	4,07	4,41	4,45	4,50	4,51	4,20	4,64	3,32
F*	4,56	4,10	2,69	3,90	3,14	3,40	3,51	3,52	3,98	3,75	3,83	3,81	3,61	4,02	4,12	4,10	3,96	3,47	4,48	2,75

Se visualiza principalmente que el valor de mayor importancia que los usuarios le dan a los bienes generados por la naturaleza, son los servicios de aprovisionamiento entorno a la alimentación humana.

Los de menor valor son la madera para construcción debido a la escasez en el sector, mientras que las practicas ancestrales relacionadas a los servicios culturales tienen una importancia media, ya que, a pesar de ser una parroquia rural con predominancia del sector indígena, sus tradiciones van siendo modificadas por el mestizaje. En cuanto a la frecuencia de uso de los servicios, los usuarios otorgaron una alta importancia en lo que respecta a la alimentación humana, esto se debe a que la actividad que más desarrollan en el sector es la agricultura y es el sustento para sus familias. Además, se calificaron con valores altos los servicios de regulación donde está el agua, ya que es el medio que permite el desarrollo de la producción agrícola.

La variación del uso de las prácticas ancestrales es un servicio que aún tiene apogeo, sin embargo, con el pasar de los años estas prácticas religiosas se irán desapareciendo por la asimilación y adaptación de otras costumbres que debilitan el fortalecimiento espiritual (30).

Los servicios de regulación tienen un valor alto, ya que existe una relación cercana entre los recursos (agua-vegetación) y cierta dependencia entre ellos (26). Los valores mayoritarios están destinados a servicios tangibles (1). Cabe mencionar además que los beneficios de los servicios ambientales, permiten proveer y abastecer las necesidades de los usuarios (1).

Tabla 8 Dispersión de los datos (desviación estándar) en cuanto a la importancia (*I) y frecuencia (*F) de uso de los servicios ecosistémicos

I*	0,62	1,12	1,53	1,03	1,40	1,46	1,33	1,36	1,00	1,22	1,24	1,23	1,30	0,99	1,01	0,91	0,90	1,31	0,78	1,67
F*	0,89	1,33	1,49	1,25	1,50	1,53	1,49	1,52	1,25	1,26	1,34	1,35	1,43	1,21	1,15	1,18	1,18	1,46	0,95	1,61

Las celadas marcadas en la Tabla 8, muestran los servicios de mayor impacto que tuvieron sobre población de la parroquia. La dispersión de los datos respecto al valor promedio obtenido de la encuesta referida a la importancia de los servicios provistos por los ecosistemas tanto vegetal y acuático, por lo que, existe baja variabilidad en las respuestas de los usuarios para la alimentación humana considerada como servicio de aprovisionamiento y al paisaje como servicio cultural. A su vez, el de mayor dispersión es la madera utilizada para construcción y en el caso de los servicios culturales son las prácticas ancestrales.

Para la frecuencia de uso ocurre lo mismo que la importancia con la diferencia que existe variabilidad en las preferencias de uso de madera como combustible (leña). Finalmente, los datos no normales ocurren por el desconocimiento del usuario acerca de los beneficios que prestan los bienes y servicios ambientales.

Resultados del análisis mediante pruebas no paramétricas de los factores que modifican la percepción en cuanto a la importancia (I) y frecuencia (F) de uso de los servicios ecosistémicos.

Se aplicaron pruebas no paramétricas para cada factor en relación a los servicios ecosistémicos, para determinar cuál de ellos depende de las condiciones sociodemográficas (etnia, género, nivel de instrucción y barrio). Si el valor obtenido es menor al 0,05 de significancia, se considera que ese servicio ecosistémico es modificado por el factor.

Tabla 9 Factores que modifican la percepción en cuanto a la importancia (I) y frecuencia (F) de uso de los servicios ecosistémicos

CATEG.	SERVICIO ECOSISTÉMICO	I	F	I	F	I	F	I	F
	<i>Alimentación humana</i>	0,528	0,980	0,109	0,161	0,141	0,039	0,074	0,032
	<i>Alimentación animal</i>	0,162	0,047	0,528	0,019	0,597	0,635	0,000	0,009
	<i>Madera para construcción</i>	0,354	0,668	0,329	0,411	0,180	0,203	0,000	0,002
	<i>Plantas medicinales</i>	0,104	0,103	0,076	0,010	0,094	0,379	0,000	0,239
	<i>Polinización</i>	0,063	0,402	0,438	0,548	0,205	0,554	0,032	0,007
	<i>Leña</i>	0,000	0,000	0,007	0,007	0,000	0,000	0,009	0,008
	<i>Regulación del ciclo hidrológico</i>	0,494	0,564	0,431	0,924	0,086	0,002	0,000	0,207
	<i>Incremento de filtración</i>	0,347	0,804	0,890	0,876	0,151	0,019	0,000	0,120
	<i>Conservación de agua por los bosques</i>	0,244	0,035	0,364	0,686	0,051	0,016	0,000	0,002
	<i>Regulación del microclima</i>	0,483	0,249	0,631	0,921	0,073	0,022	0,000	0,000
	<i>Prevención de deslizamientos de tierra</i>	0,018	0,003	0,465	0,786	0,130	0,181	0,003	0,136
	<i>Prevención de inundaciones</i>	0,488	0,133	0,054	0,155	0,369	0,247	0,000	0,008
	<i>Control biológico de plagas</i>	0,452	0,758	0,213	0,975	0,127	0,055	0,000	0,026
	<i>Vegetación que ayuda a mantener los niveles de agua</i>	0,137	0,512	0,587	0,604	0,251	0,001	0,004	0,014
	<i>Ciclo de nutrientes en el suelo</i>	0,995	0,702	0,003	0,081	0,326	0,350	0,000	0,024
	<i>Residuos orgánicos que mejoran el suelo</i>	0,484	0,588	0,699	0,501	0,245	0,372	0,001	0,571
	<i>Descanso, relajación</i>	0,285	0,732	0,649	0,983	0,592	0,730	0,029	0,285
	<i>Recreación</i>	0,091	0,428	0,002	0,000	0,023	0,002	0,001	0,000
	<i>Paisaje</i>	0,128	0,083	0,436	0,080	0,309	0,166	0,000	0,000
	<i>Prácticas ancestrales</i>	0,002	0,031	0,307	0,252	0,001	0,000	0,000	0,010

Los factores de mayor incidencia que modifican la percepción en torno a la importancia de los servicios ecosistémicos y su frecuencia de uso fueron: etnia, género y nivel de instrucción.

La edad cambia la percepción de la importancia de los servicios provistos (Affek & Kowalska, 2017, pág. 193), va además, en base a la formación educativa y al conocimiento ambiental (Allendorf & Yang, 2013, págs. 187-193); este último factor no fue considerado en este estudio.

Las variaciones que provienen de los diferentes factores analizados mediante el valor medio de frecuencia e importancia, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 10 Resultados del análisis del valor medio (VM) de la importancia y frecuencia de uso de los servicios ecosistémicos en función de los factores sociales y el factor geográfico.

FACTORES	IMPORTANCIA	FRECUENCIA	
Etnia	<i>Indígena</i>	Alimentación humana	Alimentación humana
	<i>Mestiza</i>	Alimentación humana	Paisaje
	<i>Blanco</i>	Plantas medicinales	Plantas medicinales
Sexo	<i>Femenino</i>	Alimentación humana	Alimentación humana
	<i>Masculino</i>	Alimentación humana	Alimentación humana
Nivel de instrucción	<i>Ninguna</i>	Alimentación humana	Alimentación humana
	<i>Primaria</i>	Alimentación humana	Alimentación humana
	<i>Secundaria</i>	Alimentación humana	Paisaje
	<i>Tercer nivel</i>	Alimentación humana	Alimentación humana
	<i>Cuarto nivel</i>	Aguas subterráneas	
		Regular el microclima	
		Deslizamiento de tierra	
Prevencción de inundaciones		Deslizamiento de tierra	
	Control biológico		
	Mantener los niveles del agua		
	Descanso		
	Paisaje		
Barrio	<i>San Francisco</i>	Alimentación humana	Alimentación humana
	<i>San Vicente</i>	Alimentación humana	Paisaje
	<i>Central</i>	Alimentación humana	Alimentación humana
	<i>Santa Marianita</i>	Alimentación humana	Alimentación humana
	<i>Rumipamba</i>	Paisaje	Paisaje

Como se observa en la Tabla 10, los servicios de mayor importancia se destacan la alimentación humana para los factores analizados, la etnia blanca reconoce la importancia de las plantas medicinales, y la población mestiza el uso frecuente del paisaje como servicio cultural.

La etnia es un factor que incide en las preferencias de servicios ambientales, por lo tanto, se debe considerar esta variable para desarrollar planes de desarrollo (8). Además, basado en las preferencias sociodemográficas, se pueden determinar las prioridades de conservación (14).

En la parroquia San Juan no hay labores definidas por género, ya que hombres y mujeres realizan las mismas actividades. Se determinó también, que tanto para la importancia y frecuencia de uso del servicio ecosistémico denominado alimentación humana, el género se considera como un regulador potencial entre el ambiente y la potencialidad de los recursos (12).

En ciertos casos los roles desempeñados por el género masculino se encaminan a la administración de los bosques y cultivos mientras que la mujer se encarga de los quehaceres domésticos; esto indica que el análisis de este factor puede variar en posteriores estudios ya que la equidad del género se da en algunos sectores y las funciones de labor son igualitarias (1).

El nivel de instrucción está encaminado al conocimiento educativo de formación de la persona en el que va a depender la preferencia de los servicios en tema de conservación y desarrollo por tal motivo se obtuvo la mayor cantidad de servicios preferidos para personas con título de cuarto nivel (3).

Los usuarios con nivel de instrucción superior contribuyen con calificaciones de importancia altas sobre los potenciales que brindan los ecosistemas (1). El valor medio de los servicios varía en función del factor barrio,

esto es en consecuencia de que la percepción depende del pensamiento social que no es similar de un barrio a otro por la distinción de criterios, necesidades y accesibilidad.

Resultados del análisis estadístico de las preguntas vinculadas al DAP

Tabla 11 Dependencia de la DAP con relación a las variables utilizadas

VARIABLES INDEPENDIENTES	SIGNIFICANCIA	DEPENDENCIA
Género	0,176	NO
Etnia	0,159	NO
Edad	0,125	NO
Estado civil	0,494	NO
Nivel de instrucción	0,003	SI
Conservación bosque	0,874	NO
Desaparición sino se cuida	0,828	NO
Ingresos económicos	0,004	SI

Mediante el análisis inferencial se determinó la dependencia de las variables independientes (socioeconómicas) con la disposición a pagar (DAP) y entre ellas fueron: el nivel de instrucción y los ingresos económicos.

Esta dependencia varía debido al índice económico que manejen las familias de cada sector y la preparación académica que éstos tengan (28); así como también puede influenciar el vínculo personal denominado "estado civil" (13).

CONCLUSIONES

- ✓ Los 20 servicios ecosistémicos definidos en la parroquia San Juan por la vegetación conforme a las categorías de clasificación fueron: aprovisionamiento (alimentación humana, alimentación animal, madera para construcción, plantas medicinales, polinización, leña), regulación (regulación del ciclo hidrológico, incremento en la filtración, conservación del agua por los bosques, regulación del microclima, prevención de los deslizamientos de tierra prevención de inundaciones y control biológico), soporte (vegetación que ayuda a mantener los niveles de agua, ciclo de nutrientes en el suelo, residuos que ayudan a mejorar el suelo, descanso, recreación, paisaje y prácticas ancestrales).
- ✓ Los servicios ambientales más valorados en importancia y frecuencia de uso son los servicios tangibles; es así que, los factores sociodemográficos de mayor incidencia fueron: etnia, género y nivel de instrucción.
- ✓ La disposición a pagar por la conservación del entorno, se define un excedente de pago por conservación de los bosques y va a depender de ciertos factores de la parroquia como: el nivel de instrucción y los ingresos económicos. En este caso particular, se destaca que todos los participantes que poseen predios forestales estarían dispuestos a mantener sus actividades, con un manejo técnico en coordinación con las autoridades competentes, en pro de hacer un aprovechamiento sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Affek, A., & Kowalska, A. (7 de Julio de 2017). Ecosystem potentials to provide services in the view of direct users. *Ecosystem services*, 26(1), 184-185,188, 192, 193.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.017>
2. Aguilar, S. (enero-agosto de 2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabaco*, 11(1-2), 336. Recuperado el Agosto de 2018, de <http://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>

- <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8454/Consulta-significativa-con-las-partes-interesadas.PDF?sequence=4&isAllowed=y> Izco, X., & Burneo, D. (2003). Herramientas para la valoración y manejo forestal sostenible de bosques sudamericanos. En M. Andelman, & J. García (Edits.), *Unión Mundial para la Naturaleza (Primera ed., págs. 3,15,17,19, 20, 24)*. Quito, Pinchincha, Ecuador: Publicado por UICN, Oficina Regional para América del Sur. Recuperado el 29 de Julio de 2018, de <http://cebem.org/cmsfiles/publicaciones/herramientasdevaloracion.pdf>
18. Kauyeken. (2014). *CONOCIMIENTO SOBRE BIODIVERSIDAD: ANÁLISIS EXPLORATORIO*. Santiago de Chile: Creación de un Sistema Nacional Integral de Áreas Protegidas para Chile: Estructura Financiera. Recuperado el 4 de Agosto de 2018, de http://bdrnap.mma.gob.cl/recursos/privados/Recursos/CNAP/GEF-SNAP/Kauyeken_2013.pdf
 19. Lamarque, P., Quétier, F., & Lavorel, S. (2011). Implications de la diversité des définitions du concept de service des écosystèmes pour leur quantification et pour son application á la gestion. *Comptes Rendus Biologies*, 334(5-6), 441-449. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.11.007>
 20. Lamarque, P., Tappeiner, U., Turner, C., & Steinbacher, M. (2011). Stakeholder perceptions of grassland ecosystem services in relation to knowledge on soil fertility and biodiversity. *Regional Environmental Change*, 11(4), 791-804. doi:10.1007/s10113-011-0214-0
 21. Lundberg, J., & Moberg, F. (2003). Mobile Link Organisms and Ecosystem Functioning: Implications for Ecosystem Resilience and Management. *Ecosystems*, 6(1), 0087-0098. doi:<https://doi.org/10.1007/s10021-002-0150-4>
 22. Martínez, R., Viguera, B., Donatti, C., Harvey, C., & Alpizar, F. (2017). La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura (3 ed.). Turrialba: Costa Rica. Obtenido de https://www.conservation.org/publications/Documents/cascade_Modulo-3-La-importancia-de-los-servicios-ecosistemicos-para-la-agricultura.pdf
 23. Milcu, A., Hanspach, J., Abson, D., & Joern, F. (2013). Cultural Ecosystem Services: A Literature Review and Prospects for Future Research. *Ecology and Society*, 18(3), 5-7. Obtenido de https://www.ecologyandsociety.org/vol18/iss3/art44/#ms_abstract
 24. Nottea, A., Amato, D. M., Paracchini, M., Lique tea, C., Egohd, B., & Genelettif, D. (2017). Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecological Indicators*, 74, 392-402. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.030>

7
Recibido: 2020/06/15
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

ANÁLISIS DEL POTENCIAL TOXICOLÓGICO DE LOS PLAGUICIDAS METALDEHÍDO, METOMIL Y EL COADYUVANTE POLIÉTER POLIMETILSILOXANO SOBRE ARTEMIA SALINA

ANALYSIS OF THE TOXICOLOGICAL POTENTIAL OF THE PESTICIDES METALDEHYDE, METOMYL AND THE COADJUVANT POLYETHER POLYMETHYLSILOXANE ON ARTEMIA SALINA

Miño Yadira¹, Carvajal Vladimir²

¹Investigador, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

² Investigador, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

*Corresponding: mmmaldonado_est@utmachala.edu.ec

RESUMEN

Los efectos adversos debido al ingreso de sustancias potencialmente peligrosas en el agua, han incentivado el desarrollo de herramientas de evaluación para determinar los posibles daños en individuos acuáticos.

El presente trabajo analiza los efectos ecotoxicológicos de tres agroquímicos ampliamente utilizados en el Ecuador: Metarex, Thanavin, y un coadyuvante que actúa como surfactante llamado Break Thru cuyas sustancias activas son Metaldehído (5%), Metomil (900g/kg) y Poliéter polimetilsiloxano (100%) respectivamente.

La metodología se basó en el análisis de toxicidad aguda de estos compuestos utilizando como bioindicadores nauplios de *A. salina* (LC₅₀ -48h) que fueron expuestos durante 48 horas a varias concentraciones de los plaguicidas analizados. Se realizaron en total cuatro ensayos en el orden siguiente: Metaldehído, Methomyl, Poliéter polimetilsiloxano y Methomyl + Poliéter polimetilsiloxano, denominados durante todo el ensayo como solución: 1, 2, 3 y 4 respectivamente. La concentración letal media (CL₅₀) fue de 832,875 mg/L; 2,636 mg/L y 1,289 mg/L para las soluciones 2, 3 y 4 respectivamente. La solución 1 no presentó toxicidad en ninguna de las soluciones ensayadas. El comportamiento de las sustancias 2, 3 y 4 de acuerdo a los resultados mostraron alta toxicidad en nauplios de *A. salina* y por tanto la presencia de los mismos en el medio acuático debe ser considerada como peligrosa.

Palabras clave: *Artemia salina*, Toxicidad, CL₅₀, Metaldehído, Methomil, Poliéter polimetilsiloxano

ABSTRACT

The adverse effects due to the entry of potentially dangerous substances into the water have encouraged the development of evaluation tools to determine the possible damage to aquatic individuals.

This work analyzes the ecotoxicological effects of three agrochemicals widely used in Ecuador: Metarex, Thanavin, and an adjuvant that acts as a surfactant called Break Thru, whose active substances are Metaldehyde (5%), Metomil (900g / kg) and Polyether polymethylsiloxane (100%) respectively.

The methodology was based on the acute toxicity analysis of these compounds using as bioindicators nauplii of *A. salina* (LC50 -48h) that were exposed for 48 hours to various concentrations of the pesticides analyzed. A total of four tests were carried out in the following order: Metaldehyde, Methomyl, Polyether polymethylsiloxane and Methomyl + Polyether polymethylsiloxane, designated throughout the test as solution: 1, 2, 3 and 4 respectively. The mean lethal concentration (LC50) was 832.875 mg / L; 2,636 mg / L and 1,289 mg / L for solutions 2, 3 and 4 respectively. Solution 1 did not show toxicity in any of the solutions tested. El comportamiento de las sustancias 2, 3 y 4 de acuerdo a los resultados mostraron alta toxicidad en nauplios de *A. salina* y por tanto la presencia de los mismos en el medio acuático debe ser considerada como peligrosa.

Keywords: *Artemia salina*, Toxicity, LC50, Metaldehyde, Methomil, Polyether polymethylsiloxane

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define como plaguicida a todo producto químico capaz de controlar y destruir plagas (FAO, 1996). Desde la llamada “Revolución Verde”, los plaguicidas han sido considerados como un elemento fundamental en el incremento de la producción agrícola (Cecon, 2008). Sin embargo, el uso indiscriminado de los mismos puede afectar a la fauna del suelo, provocando su deterioro; además de otros efectos adversos como problemas a la salud humana y contaminación del agua (Orta, 2002). De allí surge la necesidad de evaluar la nocividad de todo elemento químico empleado en la agricultura (Gutiérrez, Aguilera y González, 2007).

Ecuador es considerado como un país agrícola por tradición (Monteros y Salvador, 2015). Sin embargo, las plagas siempre han representado una amenaza para la conservación de cultivos, por ejemplo, la “escoba de la bruja” afectó la producción

cacaotera ecuatoriana al atacar diferentes partes de la planta y la “sigatoka negra” también simbolizó un peligro en la producción bananera del país (Zapata, 2015). Los pesticidas en el Ecuador constituyen un método ampliamente utilizado para controlar plagas agrícolas (Yanggen, Crissman y Espinosa, 2003), que según Aveiga (2012), simbolizan un gran peligro para la vegetación disminuyendo la producción.

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el uso de pesticidas en el país inició en el año de 1950, desde entonces los agricultores han adquirido un sin número de plaguicidas bajo la consideración de que el uso de los mismos es la única estrategia para combatir vectores y plagas (OPS/OMS, 2007).

Cole et al. (2002), asegura que los agricultores aplican pesticidas sin el equipo de protección personal conveniente, además usan y eliminan inadecuadamente los envases ignorando las consecuencias ambientales de su aplicación. A este problema se suma que los centros agroquímicos en el país no proporcionan información a los compradores acerca del manejo y desecho adecuado del producto adquirido (Aveiga, 2012).

De acuerdo a investigaciones realizadas por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), tan sólo el 17% de habitantes en el Ecuador han sido capacitados sobre el uso y manejo responsable de los agroquímicos (INEC, 2016). El estudio también detalla que la superficie agropecuaria del país es de 4'872.049,88 ha., es decir el 19% del territorio ecuatoriano está destinado para ejecutar actividades agropecuarias, dividido entre cultivos permanentes, transitorios y pastos cultivados. De este porcentaje tan solo en el 2,66% de los cultivos

transitorios usan sustancias orgánicas como método de control de plagas. El uso extensivo de pesticidas en los cultivos, origina un factor de riesgo ambiental considerable (Iannacone y Alvarino, 2002), sobre todo cuando llegan a zonas fluviales y perturban a los individuos que allí habitan, especialmente en ambientes salinos y estuarios (Camacho y Sánchez, 2007).

Las secuelas adversas de la intrusión de sustancias tóxicas en cuerpos de agua, han intensificado el desarrollo de análisis toxicológicos para establecer los daños probables en organismos de este medio (Vargas y Perea, 2011).

Uno de los métodos que ayuda a determinar la peligrosidad de un pesticida y su impacto ambiental, es el bioensayo de toxicidad aguda utilizando organismos como indicadores, los cuales son sometidos por días u horas a diferentes concentraciones de un plaguicida (Huaraca, 2017), obteniéndose como resultado la concentración letal media (CL50), que representa la capacidad tóxica de una sustancia para una concentración de contaminante, que induce la muerte del 50% de la población estudiada (Zapata y Pedrero, 2004). Adicionalmente, entidades como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), la American Society for Testing and Materials (ASTM) y la International Conference on Harmonisation (ICH), han publicado protocolos para realizar estos ensayos, logrando que los resultados obtenidos puedan ser estandarizados y comparables (Camean y Repetto, 2012).

Uno de los bioindicadores más utilizados para realizar ensayos de toxicidad es la *A. salina* (Linnaeus, 1758) (Najla et al, 2015). Este pequeño crustáceo del orden Anostraca, habita naturalmente en pozos y lagos de agua salada con concentraciones salinas entre 3,5 a 70 ‰ (Gava y Lourenco, 2007). Los organismos de este orden muestran un representativo dimorfismo sexual. Los machos poseen un par de penes retráctiles y antenas desarrolladas para sostener a la hembra durante el apareamiento (Crespo y Baessolo, 2002). Las hembras presentan antenas cortas y un ovisaco donde son almacenados los quistes (Lomas et al., 2015). Los huevos poseen aproximadamente 4000 células, cubiertas por una capa impermeable conocida como corion, que les permite resistir condiciones ambientales desfavorables (anoxia, temperaturas extremas, desecación, exposición a disolventes orgánicos, entre otros) (Jiménez y González, 2009); de esta manera pueden permanecer metabólicamente inactivos (en diapausa) durante largos periodos (Liang, MacRae y Clegg, 1997). Este estado termina cuando mejora la calidad del medio y los quistes reinician su desarrollo para nacer en forma de nauplios (Liang y MacRae, 1999).

El desarrollo desde quiste hasta nauplio dura casi 24 horas, llegando a su vida adulta en un periodo de entre 20 y 30 días (Moraga, Ávila y Vilaxa, 2015).

Ecológicamente la *A. salina* constituye un factor determinante en la cadena trófica, la reducción de sus poblaciones implica riesgo para otras especies superiores en el medio acuático. (Camacho y Sánchez, 2007). El corto ciclo de desarrollo de este crustáceo, su importancia en el medio acuático, su facilidad de crianza en laboratorio (Pérez y Lazo, 2010), además de su bajo costo de mantenimiento, respuesta eficiente y alta sensibilidad a las sustancias a analizar favorecen su uso en ensayos de toxicidad (Gava y Lourenco, 2007).

En este estudio se analizan dos pesticidas de amplio uso en el control de la plaga caracol manzana que afecta la producción de arroz; y en el control de los cogolleros y pulgones en la producción de maíz. Los ingredientes activos son Metaldehído y Methomil en asociación con su surfactante. Las características se detallan a continuación.

Metaldehído

El Departamento de Agricultura y Servicios al Consumidor de la Florida (2013), define al Metaldehído, como un molusquicida que controla principalmente el crecimiento poblacional de caracoles y babosas, y que es

aplicado directamente al suelo alrededor de los cultivos. Su acción dificulta el desarrollo de la sustancia mucosa de los moluscos, causando deshidratación e impidiendo movilidad y digestión. Los moluscos que han ingerido el metaldehído mueren en pocos días.

AGROCALIDAD (2017), publicó un reporte de Productos de Insumos Agrícolas, donde el Metaldehído está designado como producto de categoría IV. De acuerdo a la categorización del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 1996), este producto es catalogado dentro de la categoría IV cuidado, y significa que no presenta riesgos en condiciones normales de uso. El Metaldehído al 5% de composición se comercializa bajo el nombre de Metarex (Tabla 1). Los productores arroceros lo usan principalmente como método de control al caracol manzana (Mag, 2013).

Metomil

Es un compuesto químico de la familia de los carbamatos, cuyo grupo químico pertenece a ésteres derivados de ácidos N-metil o dimetil carbámico. Puede ser usado como insecticida, fungicida y herbicida (Henao y Nieto., n.d); sin embargo, Andrews (1985), afirma que algunos carbamatos como el Metomil, actúan como molusquicidas, llegando a ser más tóxicos que el Metaldehído.

Según Solagro (2016), el Metomil actúa por ingestión o contacto, controlando plagas en diferentes estados de desarrollo, desde huevos hasta adultos, inhibiendo la enzima acetilcolinesterasa y afectando el sistema nervioso central de las plagas. Se aplica al cultivo realizando una dilución en agua y esparcida por bombeo. El Metomil es considerado como un producto de categoría Ib (AGROCALIDAD, 2017). De acuerdo a la categorización del INEN (1996), categoría Ib significa que es un plaguicida altamente peligroso. Esta sustancia se presenta con una composición de 900g/kg y se comercializa bajo el nombre de Thanavin (Tabla 1). Es usado usualmente para combatir plagas como: gusano de la col, pulgones, minador, cogollero, tierreros y trozadores presentes en cultivos de papas, hortalizas, tomate, algodón, maíz, tabaco y soya respectivamente (Solagro, 2016).

Para mejorar el contacto de los plaguicidas con la vegetación se usa un coadyudante o surfactante soluble en agua.

Poliéter polimetilsiloxano (Surfactante)

Según la empresa de químicos BASF- Ecuador (2014), el copolímero Poliéter polimetilsiloxano es un coadyuvante agrícola no iónico, que funciona como humectante, tensoactivo, penetrante y dispersante. En general, al disminuir la tensión superficial del agua, facilita el esparcimiento uniforme de los plaguicidas utilizados, permitiendo que sus partículas ingresen rápidamente, a través de las estomas de las plantas y la cutícula de los insectos. Se usa en mezcla con insecticidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes foliares. El Poliéter polimetilsiloxano es considerado como un producto de categoría IV, de cuidado AGROCALIDAD, (2017). Se comercializa al 100% de concentración bajo el nombre de Break Thru (Tabla 1).

El presente ensayo tiene como objetivo determinar el potencial citotóxico del molusquicida Metaldehído y del plaguicida Metomil con y sin el surfactante Poliéter polimetilsiloxano, sobre poblaciones experimentales de nauplios de *A. salina* en periodos de exposición de 48 horas. La fase experimental se desarrolló en el laboratorio de Invertebrados del Instituto de Ciencias Biológicas de la Escuela Politécnica Nacional.

Tabla 1. Características generales de los plaguicidas analizados AGROCALIDAD, 2017. Reporte de productos de insumos agrícolas (Mayo 2017).

Nombre Comercial	Metarex	Thanavin	Break Thru
------------------	---------	----------	------------

Subtipo	Molusquicida	Insecticida	Coadyuvante
Composición	Metaldehído 50 g/kg	Metomil 900g/kg	Poliéter polimetilsiloxano 100%
Formulación	Cebo de Aplicación	Polvo Soluble	Concentrado Soluble
Categoría	IV	Ib	IV
Uso	Aplicado a arroz	Aplicado a maíz y otros	En mezcla con pesticidas

METODOLOGÍA

El establecimiento de las poblaciones experimentales se basó en el manual de la FAO: "Manual para el cultivo y uso de *Artemia* en acuicultura" Lavens et al. (1986), que establece las condiciones óptimas para la eclosión de los quistes. Los ensayos de toxicidad con *A. salina* se basaron en las investigaciones de Najla et al. (2015), Martínez et al. (2006) y Camacho y Sánchez (2007).

Se empleó agua previamente declarada y luego transformada en agua de mar artificial (concentración de 27 g/L) con "Vibrant Sea" una sal anhidra que abastece al agua de concentraciones adecuadas de estroncio, calcio, potasio y magnesio correspondientes a 8-10 mg/L, 425-445 mg/L, 500-550 mg/L y 1250-1350 mg/L, respectivamente (Seachem, 2018). El pH se mantuvo en 8 ± 0.5 y la temperatura se conservó entre 21 y 23 °C, tanto para la eclosión y desarrollo del crustáceo, así como para la ejecución del ensayo. Además, se conservaron niveles de oxígeno de 6 ± 1 mg/L.

Para la eclosión de los organismos, se incubaron alrededor de 0,5 gramos de quistes de *A. salina* en 0,6 L de agua de mar artificial, colocados en un artemiero (tubo plástico en forma de cono a modo de cámara de incubación), con flujo constante de aire proporcionado desde la parte inferior para garantizar la oxigenación y con iluminación artificial provista por una luz Led blanca de 8W, colocada a 30 cm de distancia. Transcurridas 24 horas, se observó la eclosión de metanauplios, los cuales se dejaron madurar 48 horas, para obtener la primera población de larvas a ser utilizadas en los ensayos de toxicidad.

Pesticidas Analizados

Se han estudiado las siguientes sustancias activas: Metaldehído y Metomil con y sin surfactante. Se realizaron un total de 4 ensayos: Metaldehído, Metomil, Poliéter polimetilsiloxano y Metomil + Poliéter polimetilsiloxano nombrándolos de ahora en adelante como soluciones 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Las concentraciones analizadas fueron preparadas de la manera siguiente:

Solución 1

Comercializado bajo el nombre Metarex, la recomendación para el uso del producto indica una concentración máxima de 5 kg/ha (Agroscopio, 2017). Dado que el metaldehído se presenta en forma de gránulos y es resistente a la humedad se preparó una dilución de 0,5 g del compuesto en 1 L de agua marina artificial, permitiendo su dilución durante 3 semanas. 0,5g/L representó entonces el 100% de la dilución.

Solución 2

Comercializado bajo el nombre de Thanavin, la recomendación máxima para control de plagas es de 250 gramos en 200 L de agua (Solagro, 2016). En laboratorio se diluyó 1,25 g de Methomyl en 1 L de agua destilada con sal marina, usándose esta concentración como el 100%.

Solución 3

Comercializado bajo el nombre de Break Thru. Se estudió sólo el efecto del Poliéter polimetilsiloxano al diluir 0,6 mL del compuesto en 1L de agua destilada con sal marina, representando esta solución el 100%.

Solución 4

Se recomienda para el caso de insecticidas usar una concentración del poliéter polimetilsiloxano de 60 cm³ por cada 100 L de agua en mezcla con el insecticida (BASF, 2017). Se mezcló 0,6 mL del compuesto con 1L del insecticida Metomil, considerando esta solución como el 100%.

Ensayo Preliminar

Se prepararon concentraciones logarítmicas de 0,01; 0,1; 1; 10 y 100% de cada uno de los pesticidas analizados, para establecer rangos de concentración letal mínima y máxima. Para la obtención de estos valores, se colocaron 25 mL de cada concentración en vasos de prueba y se transfirieron 10 nauplios a las mismas. A las 24 horas se registró el número de neonatos muertos. Así se establecieron las concentraciones en las que se espera entre el 0 y 100% de mortandad, estos valores se usaron como guía para la preparación de las diluciones en los ensayos finales. El ensayo preliminar fue realizado sin réplicas (Castillo, 2004).

Ensayo definitivo

Las concentraciones establecidas para cada uno de los plaguicidas estudiados se verificaron con 3 réplicas. Las concentraciones fueron:

Metaldehído y Metomil: 10, 15, 25, 50, 75 y 100%

Poliéter polimetilsiloxano: 0,01; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1, 10 y 100%

Metomil con Poliéter polimetilsiloxano: 0,1; 0,5; 1; 10; 25; 50 y 100%.

Durante los ensayos la temperatura se mantuvo constante entre 21 y 23 °C. Para cada sustancia se utilizaron cajas Petri para alojar 10 nauplios. En cada recipiente se depositó 25 mL de las soluciones problema en las concentraciones establecidas. Se realizaron 3 réplicas con tres ensayos de control utilizando agua declorada en mezcla con sal marina y la misma cantidad de nauplios para ser usados como blancos o testigos. A las 48 horas se contaron los nauplios muertos.

Finalmente se determinó la concentración letal media (CI₅₀) con el software Probit Analysis Program, versión 1,5; suministrado por la Environmental Protection Agency (EPA). Este software primero realiza una prueba de CHI cuadrado (X²), para determinar la relación entre la concentración del herbicida y el porcentaje de respuesta en unidades probit, estableciendo si los valores son paramétricos o no. Los valores son ajustados considerando la mortalidad de los blancos o controles. El programa tiene un límite de confianza del 95% (Castillo, 2004). Además, se elaboraron gráficas de dosis - respuesta para informar la relación entre las concentraciones administradas de cada pesticida y el efecto mortal sobre los bioindicadores (Aguirre y Sánchez, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración letal media, de los plaguicidas analizados sobre nauplios de *A. salina*, evidenció un efecto negativo en 3 de las soluciones ensayadas (soluciones 2, 3 y 4).

El Metaldehído resultó ser inofensivo en las concentraciones evaluadas. La composición del mismo y la acción de los microorganismos presentes en el ambiente natural hace que este compuesto sea transformado en acetaldehído y luego en CO₂ y H₂O (Agricense, 2006).

Los resultados y sus límites de confianza para cada caso se verifican en la tabla 2.

Tabla 2. CL₅₀ e intervalos de confianza para cada solución

SOLUCIÓN	Cl ₅₀
2	832,875 mg/L (672,125-1032)
3	2,636 mg/L (1,980—3,550)
4	1,289 mg/L (0,271-3,197)
1	No contaminante a las concentraciones ensayadas

La solución 2, presenta un Cl₅₀ de 832,875 mg/L, sin embargo, en unión con el surfactante (Solución 4), su potencial tóxico aumenta mostrando un Cl₅₀ de 1,289 mg/L. Los ensayos realizados revelaron que la solución 4 es sumamente tóxica a las 48 horas de exposición, seguida de la solución 3 que muestra un Cl₅₀ de 2,636 mg/L. La solución 1 por su parte no presenta peligrosidad en las concentraciones recomendadas.

La relación dosis - respuesta de las concentraciones aplicadas en mg/L, para las soluciones 1, 2, 3 y 4, no evidenció mortandad asociada al plaguicida de la solución 1. En la segunda solución se verifica una mortalidad del 56,6% a partir de la concentración de 937,5 mg/L. Es importante destacar que, desde la concentración más baja, todos los metanauplios expuestos que sobrevivieron, mostraron movimientos lentos y poca reacción a la luz.

En el caso de la tercera solución, el porcentaje de mortalidad a partir de concentraciones de 61,2 mg/L, es del 100%. Además, el coadyuvante penetró y se dispersó en los organismos de tal modo que en las concentraciones desde 10 y 100 %, los organismos no fueron encontrados. El producto muestra efectos de mortandad menor al 10% a partir de la concentración de 0,612 mg/L y las inferiores a la misma.

La solución 4, revela un porcentaje de mortalidad mayor al 50%, desde la concentración más baja correspondiente a 1,25 mg/L. Esta solución resultó ser altamente tóxica para estos organismos. La relación dosis-respuesta para metanauplios se muestra en la figura 1.

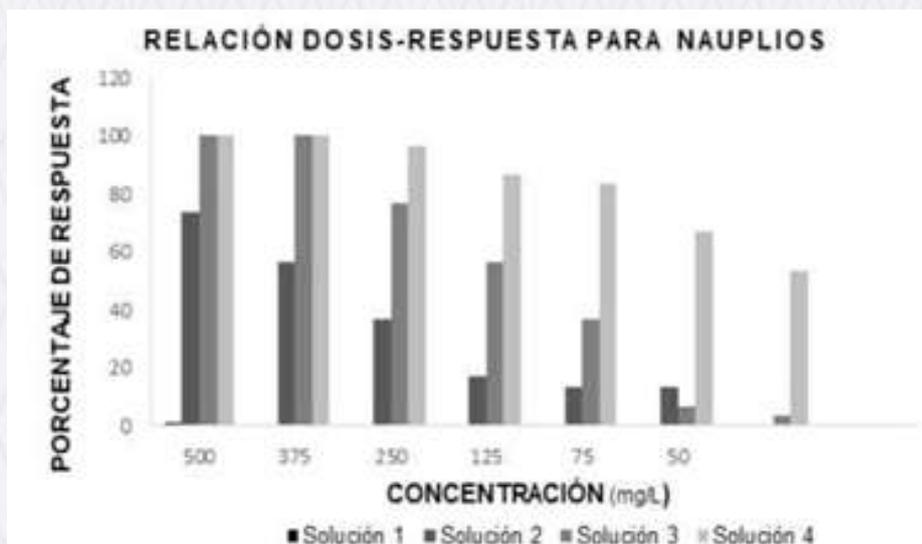


Figura 1. Relación Dosis- Respuesta para metanauplios de *A. salina*

CONCLUSIONES

- ✓ La dosis recomendada para aplicación en el medio biótico de Metaldehído al 5% de composición, mostró ser de muy baja toxicidad para nauplios de *A. salina*. Considerando estos resultados, su aplicación como molusquicida se ve favorecida en relación al efecto adverso reducido que presentan en estos organismos.
- ✓ La concentración letal media para las soluciones 2, 3 y 4 fue de 832,875 mg/L; 2,636 mg/L y 1,289 mg/L respectivamente. La concentración de 1250 mg/L recomendada para la solución 2, resultó ser altamente tóxica para la especie analizada. En las concentraciones menores a esta los efectos negativos fueron notables al evidenciar limitación en el movimiento de los organismos, así como poca reacción a la luz.
- ✓ La mezcla de los productos comercializados bajo los nombres de Thanavin y Break Thru, evaluados en este ensayo bajo el nombre de solución 4, formaron un compuesto de toxicidad elevada en el medio acuático. Desde la mínima concentración ensayada, correspondiente a 1,25 mg/L más del 50% de las poblaciones de nauplios murieron.
- ✓ La solución 3 resultó tóxica desde las concentraciones mínimas tanto para nauplios como adultos de *A. salina*. La solución probablemente ingresa por la membrana cuticular externa de los organismos provocando finalmente su muerte.
- ✓ Los ensayos con las concentraciones 2, 3 y 4 revelan que las concentraciones recomendadas no toman en consideración a los posibles efectos sobre las comunidades bióticas de invertebrados que habitan en el ecosistema acuático, por lo que se plantea reevaluar las dosis recomendadas basadas en bioensayos de toxicidad que consideren a elementos del ecosistema acuático como sujetos bioindicadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguirre F, Sánchez J. ¿Qué sabe Ud. acerca de la curva Dosis-Respuesta? Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. 2010:: p. 57-59.
2. Andrewa K. Control químico de babosas especialmente de la babosa del frijol, *sarasinula plebeian*. Revista CEIBA. 1985:: p. 90-101.

3. Aveiga A. Universidad de guayaquil. [Online].; 2012. Available from: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/1079>.
4. Basf. Hojas de datos de seguridad break thru. [Online].; 2014. Available from: Disponible en <https://bit.ly/2PEIL7n>.
5. Camacho M, al e. Valoración de la toxicidad aguda de biocidas utilizados en ambientales de la vida privada y la salud pública sobre Artemia Franciscana. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 2007;; p. 90-97.
6. Camean A, Repetto M. *Toxicología Alimentaria*. [Online].; 2012. Available from: <https://bit.ly/2y5EnWb>.
7. Castillo G. *Ensayos Toxicológicos y Métodos de Calidad de Aguas*. [Online].; 2004. Available from: <https://bit.ly/2yisqgM>.
8. Ceccon E. *La revolució Verde: tragedia en dos actos*. *Ciencias*. 2008;; p. 20-29.
9. Cole D, al e. *Pesticides and health in highland Ecuadorian potato production: Assessing impacts and developing responses*. *International Journal of Occupation and Environmental Health*. 2002;; p. 182-190.
10. Crespo J, Baessolo L. *Biogeografía y Taxonomía del género Artemia(Crustáceo, Anostraca)*. *Historia Natural*. 2012;; p. 1721.
11. Florida DdAySaCdl. *Frequently Asked Questions About Metaldehyde for Controlling Snails and Slugs*. 2013.
12. Empresa de Químicos BASF. *ficha técnica Break Thru*. [Online]. Available from: <https://bit.ly/2PzZrLT>.
13. Gava M, Lourenco R. *Pontificia Universidad Católica do Rio de Janeiro*. [Online].; 2007. Available from: <https://bit.ly/2yi9oae>.
14. Gutiérrez J, al e. *convergencia*. [Online].; 2008. Available from: <https://bit.ly/2yHYFoQ>.
15. Henao S, Nieto O. *Plaguicidas tipo Organo-fosforados y carbonatados*. [Online]. Available from: <https://bit.ly/2Abh5Ai>.
16. Huaraca L. *Escuela Politécnica Nacional del Ecuador*. [Online]. Available from: <https://bit.ly/2OVERZt>.
17. Iannacone J, Alvariño L. *Agricultura Técnica*. [Online]. Available from: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000300003>.
18. INstituto Ecuatoriano de Estadística y Censo (INEC). *Información Ambiental en la Agricultura*. [Online].; 2016. Available from: <https://bit.ly/2xRp1EA>.
19. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. *Plaguicidas clasificación toxicológica*. [Online].; 1996. Available from: <https://bit.ly/2OuCNYP>.
20. Jiménez N, González L. *Evaluación del tratamiento realizado al vertimiento de la industria galvánica "nicrozinc Ltda", teniendo como referencia la concentración sobre daphnia pulex*. Colombia;; 2009.
21. Lavens P, al e. *Producción de nauplios de artemia y quistes decapsulados para usarlos como alimentos en centros de puesta de peces y crustáceos*. [Online].; 1986. Available from: <https://bit.ly/2CIVOGf>.
22. Liang P, MacRae T. *the Synthesis of a Small Heat Shock/ a- Crystallin protein in artemia and It is relationship to stress Tolerance during development biology*. [Online].; 1999. Available from: <https://doi.org/10.1006/dbio.1998.9138>.
23. Liang P, al e. *Molecular Characterization of a Small Heat Shock/ -Crystallin Protein in Encysted Artemia Embryos*. *Journal of Biological Chemistry*. [Online].; 1997.
24. Lomas G, al e. *Orden Anostraca*. IDEA.SEA. 2015.
25. MARTÍNEZ I, al e. *Determinación de la citotoxicología de extractos de Erythroxyllum confusum Britt, mediante el Método de la Artemia salina*. *Acta Farm Bonaerense*. 2006;; p. 429-431.

26. Ministerio de Agricultura y Ganadería. MAGAP capacita a los agricultores sobre manejo técnico para enfrentar plaga del caracol manzana. 2013.
27. Monteros A, Salvador S. Panorama Agroeconómico del Ecuador. una visión del 2015. 2015: p. Disponible en <https://bit.ly/2NYWloc>.
28. Moraga , P , al e. Salinidad y temperatura óptima para reproducción ovípara y desarrollo de Artemia Franciscana Idesia. [Online].; 2015. Available from: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718->.
29. Naila M, al e. Lethal Concentration 50 (LC50) and effects pf Diuron on Morphology of Brine Shrimp Artemia Salina (Branchiopoda Anostraca) Nauplii. Sciences. 2015.
30. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Eliminación de las grandes cantidades de plaguicidas en desuso en los países en desarrollo. FAO. 1996.
31. Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS). La equidad en la mira: la salud pública en Ecuador durante las últimas décadas. Quito. [Online].; 2007. Available from: <https://bit.ly/2uX4IJN>.
32. Orta A. Contaminación de las Aguas por plaguicidas Químicos Fitosanidad. [Online].; 2002. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209118292006>.
33. Pérez O, Lazo F. Ensayo de Artemia: útil Herramienta de trabajo para ecotoxicología y químicos de productos naturales. [Online].; 2010. Available from: <https://bit.ly/2EoUHb0>.
34. Seachem. Salwater. [Online].; 2018. Available from: <https://www.seachem.com/vibrant-sea.php+>.
35. Solagro. Thanavin. [Online].; 2016. Available from: <http://www.solagro.com.ec/es/productos-2/item/42.html>.
36. Vargas A, Perea Y. Determinación de la concentración letal medio, de bario e hidroxido de sodio, mediante bioensayos de toxicidad en un ecosistema, sobre Daphnia magna. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Saneamiento. 2011.
37. Yangge D, al e. Los plaguicidas: impactos en producción, salud y medio ambiente en Carchi. Abya Yala. 2003: p. <https://bit.ly/2QS3pjo>.
38. Zapata C. Instructivo para la aprobación, ejecución y supervisión de ensayo de eficiencia de plaguicidas y productos afines de uso agrícola en Ecuador. [Online].; 2015. Available from: <https://bit.ly/2IWv2oA>.
39. Zapata O, Pedrero J. Ensayo de toxicidad aguda con larvas y juveniles de los peces tilapia, carpa y ciclidos. [Online].; 2004. Available from: <https://bit.ly/2RS2nVV>.

8
Recibido: 2020/06/16
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, DE LA EMPRESA TEXTIL ANDELAS, UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL AMBATO

REDESIGN OF THE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM OF THE ANDELAS TEXTILE COMPANY, LOCATED IN THE AMBATO INDUSTRIAL PARK

Parada Mabel¹*, Tapia Valeria¹, Sofía Godoy¹, Manobanda Paúl¹

¹Investigador, ESPOCH, Riobamba, Ecuador

*Corresponding: mabelparada1982@hotmail.com

RESUMEN

Al realizar el Rediseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, de la Empresa Textil ANDELAS, ubicada en el Parque Industrial Ambato, dicho estudio inicia con un monitoreo de las descargas directas de agua residual al río Cutuchi, que provee de agua de riego a las zonas agrícolas del valle de Patate, además del reconocimiento del sistema de tratamiento que posee la empresa, en el tanque de dosificación donde empieza el tratamiento, con la determinación del caudal promedio de 2,43 L/s, se realiza un análisis físico-químico y microbiológico a las muestras de agua, se obtiene como resultado los parámetros fuera de límites permisibles según la normativa vigente, entre los parámetros más importantes están: el Color, la Turbiedad, el DBO₅ y el DQO, también se determina índice de Biodegradabilidad con la relación (DBO₅/DQO), que indica el tratamiento químico como el más adecuado para las aguas residuales de la empresa. Al realizar las pruebas de tratabilidad de las aguas residuales, se determinó que el porcentaje de remoción de contaminantes son: color 99,89%, turbiedad 99,91%, DBO₅ 99,94% y el DQO 99,99 %. Finalmente se concluye que el rediseño consta de un tanque mezclador rápido de turbina, un tanque horizontal de sedimentación y un filtro lento combinado de arena y carbón activado se recomienda implementar el rediseño propuesto ya que es factible económicamente y el agua residual puede ser reutilizada en los procesos productivos nuevamente.

Palabras Clave: Análisis químico, aguas residuales, sistema de tratamiento, efluente residual, dimensionamiento, índice de bio degradabilidad, río Cutuchi, Ambato

ABSTRACT

When carrying out the Redesign of the Wastewater Treatment System, of the Textile Company ANDELAS, located in the Ambato Industrial Park, said study begins with a monitoring of direct wastewater discharges to the Cutuchi River, which provides irrigation water to the agricultural areas of the Patate valley, in addition to the recognition of the treatment system that the company has, in the dosing tank where the treatment begins, with the determination of the average flow rate of 2.43 L / s, a physical-chemical analysis is carried out and microbiological to the water samples, the parameters outside the permissible limits according to the current

regulations are obtained, among the most important parameters are: Color, Turbidity, BOD5 and COD, Biodegradability index is also determined with the ratio ($BOD5 / COD$), which indicates the chemical treatment as the most suitable for the company's wastewater. When carrying out the residual water treatability tests, it was determined that the percentage of removal of contaminants are: color 99.89%, turbidity 99.91%, BOD5 99.94% and COD 99.99%. Finally, it is concluded that the redesign consists of a fast turbine mixing tank, a horizontal sedimentation tank and a combined slow filter of sand and activated carbon. It is recommended to implement the proposed redesign as it is economically feasible and the wastewater can be reused in the productive processes again.

Keywords: Chemical analysis, wastewater, treatment system, residual effluent, sizing, biodegradability index, Cutuchi river, Ambato

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Tungurahua, en el Parque Industrial Ambato existe una gran cantidad de industrias que generan aguas residuales que desechan directamente al río Cutuchi, una de estas industrias es la Empresa Textil "ANDELAS Compañía Limitada" ubicada en el Parque Industrial Ambato. Es una Industria textil en tejido de punto, en telas fleece, interlock, jersey, licra pique, en poliéster, algodón y sus diferentes mezclas para la confección de ropa deportiva, sus aguas son descargadas a la alcantarilla (BUCAY, 2014) y otras se descargan directamente al cauce del río, por esta contaminación generada el estado a través del ministerio del ambiente se ha propuesto normar la concentración de las descarga de aguas residuales de la industria, razón por la cual, también los gobiernos descentralizados municipales han hecho eco y buscan disminuir la contaminación provocada por esta clase de industrias. La empresa está catalogada como un centro de tinturado y lavado que utilizan diferentes colorantes y un elevado volumen de agua para el teñido de su materia prima. Por los procesos operativos de la empresa se sabe que la fuerte coloración de las aguas residuales (Brito & et al, Cuantificación de efluentes de aguas residuales del Camal Frigorífico Riobamba, 2019) del tinturado va directamente al río y debe ser controlada. En general, las moléculas de los colorantes utilizados en la actualidad son estructuras muy variadas y complejas. La mayoría son de origen sintético, muy solubles en agua, altamente resistentes a la acción de los agentes químicos y poco biodegradables. De acuerdo con los antecedentes de la empresa es indudable la necesidad de introducir una mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (Valencia & Brito, 2012), pues, la empresa incumple con las normativas ambientales vigentes. Con una propuesta para el rediseño de la planta, se pretende reducir la contaminación provocada por el mal funcionamiento de la planta actual, el estudio se basa en encontrar un proceso apropiado para dar tratamiento a las aguas residuales de la empresa.

Para el rediseño de la planta de tratamiento, es necesario considerar parámetros como: caudal de diseño, tiempo de vida útil (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias I, 2000) del rediseño propuesto, factores de contaminación, insumos y reactivos utilizados en el proceso de elaboración del producto, concentración de las aguas industriales (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias II, 2001); todo basado en normas generales para el diseño de tratamiento de aguas residuales, que cumpla con los límites permisibles de la norma. Una de las razones más importantes que motivan este estudio en el rediseño de la PTAR es minimizar los costos de adquisición de agua, reutilizando el agua que sale del proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Debido a que la empresa trabaja con maquinaria que requiere agua en intervalos de tiempo, es necesario la determinación del caudal de aguas residuales que tiende a no ser constante, para eso se utilizó un método volumétrico para su medición (Tabla 1):

Tabla 1. Caudal promedio total

SEMANAS	CAUDAL
Primera semana	1,48

Segunda semana	1,45
Tercera semana	1,58
Cuarta semana	1,32
Quinta semana	1,30
Caudal promedio (L/s)	1,43

Realizado por: Los Autores

Para el muestreo se tomaron muestras en forma manual a diferentes horarios, cuando las máquinas descargaban el agua residual a un canal que está construido por debajo de estas y que es conducido a la cisterna en donde una vez llena esta cisterna con la ayuda de una bomba es llevada esta agua al sistema de tratamiento de aquí con un balde graduado se tomó las muestras compuestas de los cinco días, en la hora que la descarga de agua es mayor. En laboratorio se realiza la caracterización físico-química del agua, para conocer que parámetros están fuera de rango, para dar un tratamiento adecuado a esta agua con la posibilidad de ser reutilizada nuevamente en los procesos de la empresa. Con la caracterización físico-química del agua residual sin tratar, durante las dos semanas del mes que más produce la empresa y por ende es cuando más caudal presenta, se identificó los parámetros que están fuera de los límites permisibles de la Norma según la Tabla N° 9: Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce, del Anexo 1 del Libro VI del TULSMA (Registro Oficial No.387, 4 de noviembre del 2015), los resultados se presentan en la Tabla 2.

Al realizar las pruebas de tratabilidad, se inicia con:

- a) *Prueba de jarras:* Para las pruebas de tratabilidad, en base a los resultados de la Tabla 2, se consideró una turbiedad de 694,91 NTU, el PH de 8,52 las revoluciones por minuto fueron de 200 y un tiempo de agitación de 30 minutos, utilizando un polímero y con una dosificación paulatina de coagulantes y floculantes, se determina la dosis óptima para la máxima remoción de los contaminantes. La dosis óptima de floculante y coagulante se realizó a concentraciones diferentes hasta tener un número estándar en nuestro caso el estándar es 0,04 donde la curva de turbiedad expresadas en NTU cambia según la dosificación.



Gráfico 1 Dosis Óptima de floculante y coagulante

- b) *Filtración:* A nivel de laboratorio se efectuó un filtro con materiales de plástico, válvulas manuales, una porción de arena de mar, una porción de grava y una porción de carbón activado, el tiempo de filtración fue de 30 a 35 minutos para que el agua quede transparente.

Una vez tratada el agua residual (LÓPEZ, 2013), se realizó una nueva caracterización físico-química, para comparar los valores iniciales y los obtenidos luego de tratar el agua y es notable la remoción de contaminantes en referencia a los límites permisibles de la norma, como se observa en la Tabla 2. Una vez comparados los

parámetros que estuvieron fuera de norma, se procede a calcular el porcentaje de remoción de los contaminantes (EDDY, 1995) tomamos luego del tratamiento, como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2 Caracterización físico-química del agua residual antes y después del tratamiento y determinación del porcentaje remoción luego del tratamiento

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULSMA			
		Lim.Max.Per	M. COMP	LUEGO TRATAMIENTO	% REMOCIÓN
COLOR	UTC	Inapreciable en	935,00	1,00	99,89
TURBIEDAD	NT		694,91	0,6	99,91
pH			8,52	7,0	
CONDUCTIVIDAD	uS/cm		919,24	87,64	90,47
SÓLIDOS TOTALES	/L		837,80	38,57	95,39
TEMPERATURA	° C		19,85	17,98	
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg	50,0	40,74	3,65	91,04
FOSFATOS (P-PO4 ²⁻)	mg/L	10,0	15,56	0,07	99,96
NITROGENO AMONICAL (NH ₃ -N)	mg/L	30,0	29,56	0,54	98,17
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1000	1164,60	0,01	99,99
FLUORUROS (F)	mg	5,0	15,22	2,0	86,86
HIERRO TOTAL (Fe)	mg	10,0	18,09	0,3	97,95
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg	2,0	4,054	0,0	99,01
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg	0,5	0,78	0,008	98,97
COBRE (Cu)	mg	1,0	0,47	0,005	
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg		520,00	0,04	99,99
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg	5,0	0,066	24,00	
CLORUROS (Cl ⁻)	mg	1000	744,62	0,007	
NIQUEL (Ni)	mg	2,0	0,82	3,86	
COBALTO (Co)	mg	0,5	0,54	0,006	98,80
PLOMO (Pb ²⁺)	mg	0,2	0,20	0,007	96,50
ZINC (Zn ²⁺)	mg	5,0	0,70	< 0,01	
PLATA (Ag ⁺)	mg	0,1	0,007	< 0,10	
CIANURO (CN ⁻)	mg	0,1	0,34	< 0,20	
BARIO (Ba ²⁺)	mg	2,0	2,42	< 0,02	
BROMO (Br)	mg		0,008	0,39	
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg		0,008	0,04	
CROMO TOTAL (Cr)	mg		0,82	0,72	
DBOs	mg	100	444,01	0,2	99,94
DQO	mg	200	3015,22	0,1	99,99
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg		1,00	5,5	
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL		9,2	< 1*	
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	Rem. al 99%	3,4	< 1*	

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EP.EMAPA-G Realizado por: Los Autores

Finalmente se presenta en el diagrama de la Figura 1, la propuesta del rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales:

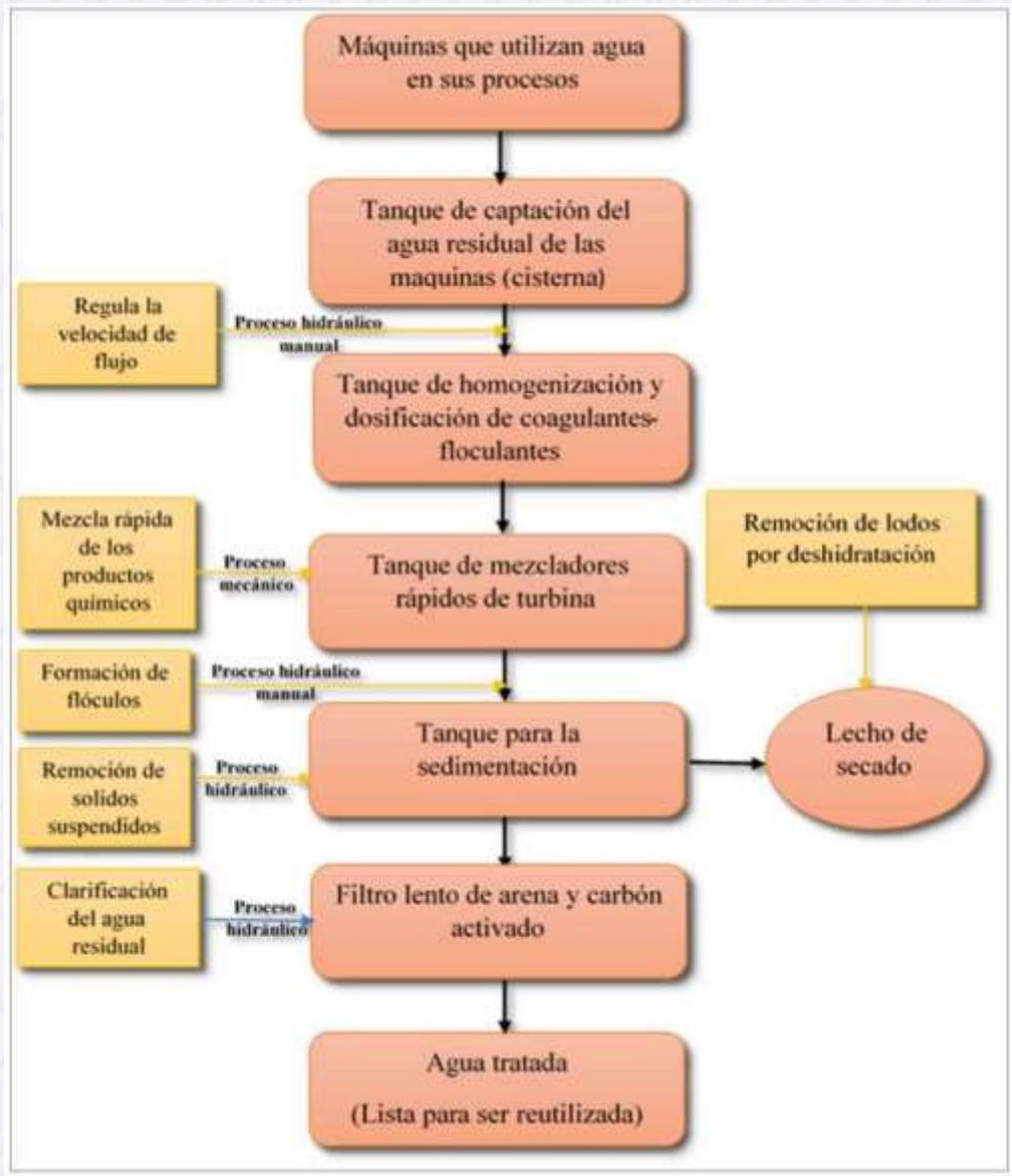


Figura 1 Proceso propuesto para el rediseño de la planta de tratamiento de la empresa ANDELAS

El sistema del tratamiento de aguas residuales que se propone en este proyecto está basado en un rediseño que consta de:

Cisterna

A la cisterna llega el agua que descargan las siguientes maquinas: DMS que tiene una capacidad de 2600 litros de agua. LAIP que tiene una capacidad de 1700 litros de agua. THIES 3 que tiene una capacidad de 500 litros de agua. THIES 4 que tiene una capacidad de 1500 litros de agua. Cada máquina tiene un tiempo determinado de descarga que en promedio son 2 por día de trabajo.

Mezclador rápido de turbina

A este tanque el agua que sale de la cisterna llega con la ayuda de una bomba, aquí se realiza la dosificación del policloruro de aluminio y el chemflok, y con el mezclado por la agitación de las pañetas de la turbina se forman los flocs que luego pasan al sedimentador.

Sedimentados horizontal de tasa alta

El agua que llega al sedimentador está regulada por una válvula manual que controla el caudal, aquí los flocs formados en el mezclador rápido de turbina se sedimentan dejando el agua con un color casi transparente luego esta agua sale mediante gravedad natural al sistema de filtración para su clarificación total.

Filtro combinado de arena con carbón activado

El agua que llega al sistema de filtración es por ayuda de la gravedad natural primero pasa por una capa de grava luego pasa por la arena fina y llegando finalmente al carbón activado donde termina el proceso de tratamiento quedando el agua clara y transparente que luego es depositada en un tanque de almacenamiento que constara de una bomba para llevar el agua mediante una tubería hasta el canal de agua que ingresa del río a la empresa donde se da la reutilización comenzando así nuevamente el ciclo.

Lecho de secado

Este punto es uno de los más delicados a tratar ya que el estudio para que este lecho de secado funcione de forma eficiente es extenso, el propósito de mencionarlo aquí es que la empresa cuenta con este sistema ya construido y los lodos que aquí se extraen ANDELAS paga a una empresa dedicada a tratamiento de lodos lo único que se quiere dejar en claro de este punto es que el lodo que queda en el sedimentador con la ayuda de una bomba es llevado al lecho de secado donde será trasladado por la empresa encargada del tratamiento de los lodos.

Debido a que el lecho de secado cuenta con los implementos necesarios como son las bombas y las tuberías y esta apartado del sistema a rediseñar se conservará este lecho y se adecuará las tuberías a las unidades propuestas y así tendrá una utilidad eficiente este sistema de lecho de secado para lodos.

Comparación del sistema propuesto con el sistema actual de tratamiento de la empresa ANDELAS.

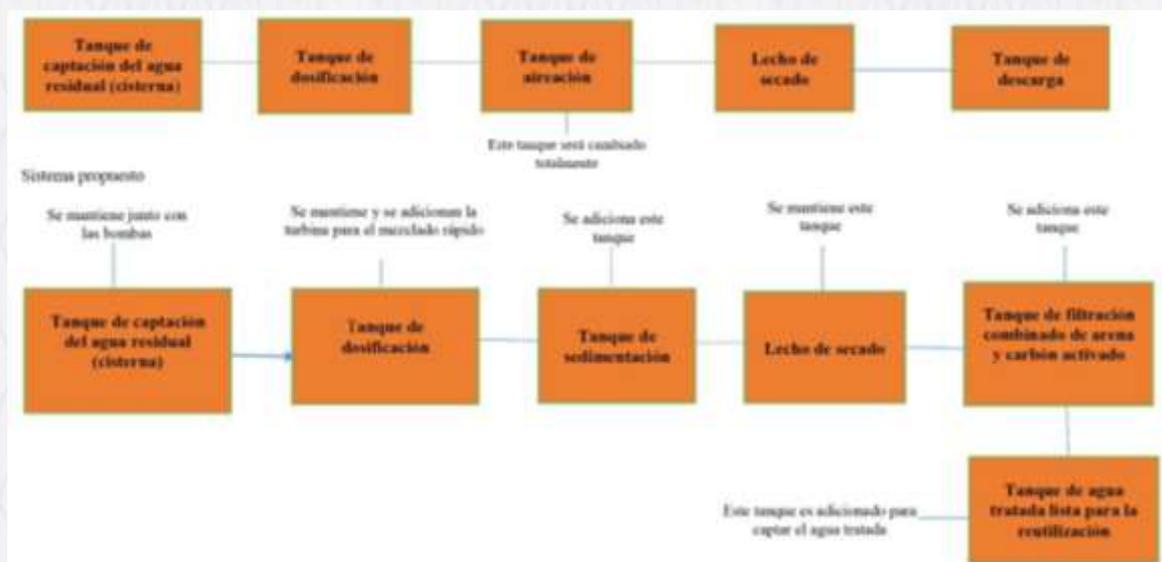


Figura 2. Cuadro en el que se compara el sistema propuesto con el sistema actual de tratamiento de la empresa ANDELAS

Para que una planta de tratamiento de agua residuales funcione con calidad y este en óptimas condiciones debe estar construido de tal forma que permita una depuración eficaz, con características únicas como son la impermeabilidad y tenga una resistencia total.

El rediseño que se propone solo es en el tanque de aireación que cuenta con un área de 204 m² en donde se adecuará los dos sistemas que se propone el tanque de sedimentación y el sistema de filtración combinado de arena y carbón activado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la caracterización físico-química, los parámetros que están fuera de norma son: Color, Turbiedad, Conductividad, Sólidos Totales Disueltos, Fosfatos (P-PO₄³⁻), Sulfatos (SO₄²⁻), Fluoruros (F), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn²⁺), Cromo (Cr⁶⁺), Dureza Total (CaCO₃), Cobalto (Co), Plomo (Pb²⁺), DBO₅, DQO, estos datos obtenidos están detallados en la tabla 2.

Tomando en cuenta todos los aspectos antes mencionados se realizó la tratabilidad mediante una prueba de jarras a la muestra compuesta de agua residual aplicando un tratamiento físico-químico, a diferentes concentraciones de coagulante policloruro de aluminio (PAC), auxiliar de coagulación CHEMFLOCK-N100 e hipoclorito de calcio para la desinfección, los mismos permitieron bajar las concentraciones de los parámetros que estaban fuera de los límites permisibles según la norma.

La decisión de hacer un tratamiento químico está basada en el valor obtenido del Índice de Biodegradabilidad promedio (DBO₅/DQO) igual a 0,147 determinado a 20 °C de temperatura, lo que indica que el efluente es de naturaleza poco biodegradable.

En las pruebas de tratabilidad, para la turbiedad de un valor de 694,91 NTU con un pH de 8,52 a 200 revoluciones por minuto (rpm) y con un tiempo de agitación de 30 minutos, la dosis adecuada del coagulante policloruro de aluminio (PAC) fue de 240 mL y el auxiliar de coagulación CHEMFLOCK-N100 fue de 280 ml para obtener una turbiedad final de 0,63 con un 99,91 % de remoción máxima de los contaminantes que se indica en la tabla 2.

Con respecto a los lodos se deberá realizar otras investigaciones para su disposición final, y si es posible realizar una reutilización o reciclaje de los mismos.

CONCLUSIONES

- ✓ *En el análisis físico-químico y microbiológico de las aguas residuales, se determinó los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles según la normativa ambiental vigente, los parámetros más relevantes son: Color, Turbiedad, Sólidos Totales Disueltos, Dureza Total (CaCO₃), DBO₅, DQO.*
- ✓ *Las variables identificadas para el rediseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales son: el caudal y el tiempo estimado de retención del agua en cada una de las etapas de proceso propuesto, la dosificación de coagulante-floculante diario. Al realizar los cálculos de ingeniería según los criterios*

para el rediseño de la planta, se propone implementar los siguientes procesos: un tanque mezclador, un tanque sedimentador de tasa alta, un filtro lento combinado de arena y carbón activado.

- ✓ La empresa ANDELAS cuenta con el lecho de secado para lodos que se encuentra en funcionamiento, el cual deberá seguir operando con la implementación del rediseño propuesto para la PTAR.
- ✓ Si la empresa decide implementar el rediseño propuesto que tiene un costo estimado de 18576,29 dólares para que entre en operación. La reutilización del agua residual es factible, también es posible disminuir costos de compra de agua de tanqueros ya que el costo diario de la dosificación de los químicos para tratar el agua residual es de 86,39 dólares que es menor que el costo diario de tanqueros que tiene un valor de 312 dólares, la ventaja de esta propuesta es que si la cisterna de agua se llena y el agua tratada sobrante puede fluir sin ningún problema y descargarse en el río disminuyendo los costos y el impacto ambiental que se busca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUCAY R. Rediseño de una planta de aguas residuales para EP-Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Guaranda. [En línea] (Tesis pregrado). ESPOCH. Facultad de Ciencias. Escuela de Ingeniería Química. [Online].; 2014. Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3658>.
2. Brito H, et al. Cuantificación de efluentes de aguas residuales del Camal Frigorífico Riobamba. Ciencia Digital. 2019;; p. 783-794.
3. Valencia J, Brito H. Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Área de Bovinos en el Camal Frigorífico Municipal De Riobamba Riobamba; 2012.
4. Brito H. Texto Básico de Operaciones Unitarias I Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2000.
5. Brito H. Texto Básico de Operaciones Unitarias II Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2001.
6. LÓPEZ A. Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - provincia de Chimborazo. [En línea] (Tesis pregrado). ESPOCH. Facultad de Ciencias. Escuela de Ingeniería Química. Riobamba - Ecuador. [Online].; 2013. Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>.
7. EDDY M. INDANIERIA DE AGUAS RESIDUALES, tRATAMIENTO, VERTEDERO Y NEUTRALIZACIÓN. MADRID-ESPAÑA;; 1995.
8. APHA AE. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid, España;; 1992.
9. AYALA A. Estudio para la reducción de colorantes en las aguas residuales de la Industria Textil a través de procesos electroquímicos. [En línea] (Tesis pregrado). Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador. [Online].; 2016. Available from: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1508/13/UPS-CT002191.pdf>.
10. CEPIS-OPS, L.C. DRTYDEN AQUA TECHNOLOGY. [Online].; 2014. Available from: <http://www.elaguapotable.com/filtracion.htm>.
11. CONTROL AND HANDLING. A. [Online]. Available from: http://indostra.com/docs/Catalogo_Flow_Control_Agitadores_Industriales.pdf.
12. CRITES T. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogota-Colombia;; 2000.
13. EMZULIA E.S.P. [Online].; 2014. Available from: <http://www.emzuliaesp.com/sedimentacion.html>.
14. HARODLD E. Alcantarillado y tratamiento de aguas negras. México;; 1971.
15. HERNÁNDEZ A. DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. MADRID-ESPAÑA;; 1994.
16. INDUSTRIES C. Products-liquid-chemfloc description del producto. [Online].; 2007. Available from: <http://chemtexindustries.com/Products-Liquid-ChemFloc.htm>.
17. ISA. pac_01. Pac policloruro de aluminio. [Online].; 2009. Available from: http://torres.com.ec/pdf/pac_01.pdf.

18. MENDOZA S. *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la Parroquia San Mateo del Cantón Esmeraldas. [En línea] (Tesis pregrado). ESPOCH. Facultad de Ciencias. Escuela de Ingeniería Química. Riobamba - Ecuador, h. [Online].;* 2015. Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/1234>.
19. MENENDEZ P. *Realizar el análisis verificativo de equipos energéticos y mejoramiento de la red de distribución de calor en la fábrica ANDELAS CÍA. LTDA. [En línea] (Tesis pregrado). ESPOCH. Facultad de Mecánica. Escuela de Mecánica. Riobamba - Ecuador. [Online].;* 2013. Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4766>.
20. ROMERO J. *Calidad del agua. Bogotá-Colombia.;* 2009.
21. ROMERO J. *Tratamiento de aguas residuales-Teoría y Principios de Diseño. Bogotá-Colombia.;* 2002.
22. SIERRA C. *Calidad del agua- Evaluación y Diagnostico. Medellín-Colombia.;* 2011.
23. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias III Riobamba: SE;* 2001.

9

Recibido: 2020/06/23
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

USO DEL MODELO HEC-HMS PARA LA EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

USE OF THE HEC-HMS MODEL FOR THE EVALUATION OF THE CHANGE OF LAND USE AND SURFACE RUNOFF

Valdés Javier¹, Jodar Antonio¹, Alulema Rafael², Palacios Teresa^{2*}

¹Investigador, UNIVERSIDAD DE ALICANTE, ESPAÑA

²Investigador, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, ECUADOR

*Corresponding: tapalacios@uce.edu.ec

RESUMEN

El estudio analiza los cambios en la lluvia-escorrentía producto de los cambios en la cubierta terrestre entre 1990–2018 en la cuenca del Embalse Guadalest con una superficie de 122,5 km², utilizando el modelo del Centro de Ingeniería Hidrológica-Sistema de Modelado Hidrológico (HEC-HMS) y remota detección a escala diaria para capturar la dinámica hidrológica compleja: técnicas de SIG (sistema de información geográfica). El propósito es analizar la evolución espacio temporal de la respuesta hidrológica en 12 subcuenca y la dinámica de los cambios en el uso de la tierra / cobertura de la tierra (CLC) para los años 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018. Los hallazgos revelan un cambio de tipo de vegetación esclerófila en un porcentaje de 81,56% en el esenario inicial 1990, a pastizales naturales con un porcentaje de 81,55% en el esenario 2018, una disminución de las áreas agrícolas y conversión a bosques de coníferas, pastizales naturales en un porcentaje de 60% aproximadamente. Los resultados de detección de cambios CLC entre los años 1990–2018 fueron corroborados con los valores de los números de curva obtenidos. Se estableció que el modelo HEC-HMS es compatible y funciona mejor para el modelado de lluvia-escorrentía, porque integra los diversos parámetros que influyen en el proceso. El análisis cíclico y de tendencia de las series de datos históricas de precipitación permite evidenciar una ciclicidad de cinco años y una tendencia decreciente desde 1984 hasta el 2018. Existe cambios en el uso de suelo transformando la foresta original en pastizales naturales y en tierras de cultivo, que influyen en una disminución de la evapotranspiración (ET) e infiltración en general, con un aumento de la escorrentía en principio, pero conforme transcurre el tiempo disminuye trayendo como consecuencia un déficit en la oferta de agua.

Los resultados muestran que los riesgos de inundaciones repentinas han aumentado en las sub cuencas estudiadas debido a cambios en el comportamiento de los parámetros hidroclimáticos. La respuesta hidrológica de las sub cuencas estudiadas presenta picos de flujo más altos y tiempos de concentración más cortos que inciden en la cantidad de agua que descarga la cuenca. Se encontró que, en los datos presentados y los caudales obtenidos del modelo, se visualiza un cambio cíclico en los diferentes años que concuerda con los ciclos que se analizó en las precipitaciones. Estos hallazgos proporcionan a los responsables de la planificación urbana información muy útil frente a los efectos de las inundaciones repentinas, que han costado incluso vidas humanas en las cuencas de barrancos estudiadas en los últimos años.

Palabras clave: HEC-HMS, suelo, uso, escurrimiento, superficial.

ABSTRACT

The study analyzes the changes in rainfall-runoff as a result of changes in land cover between 1990-2018 in the Guadalest Reservoir basin with a surface area of 122.5 km², using the model of the Hydrological Engineering Center-Hydrological Modeling System (HEC-HMS) and remote sensing on a daily scale to capture complex hydrological dynamics: GIS (Geographic Information System) techniques. The purpose is to analyze the spatial-temporal evolution of the hydrological response in 12 sub-basins and the dynamics of changes in land use / land cover (CLC) for the years 1990, 2000, 2006, 2012 and 2018. The findings reveal a change in the type of sclerophyllous vegetation in a percentage of 81.56% in the initial 1990 scenario, to natural grasslands with a percentage of 81.55% in the 2018 scenario, a decrease in agricultural areas and conversion to coniferous forests, natural grasslands in a percentage of approximately 60%. The results of detection of CLC changes between the years 1990–2018 were corroborated with the values of the curve numbers obtained. It was established that the HEC-HMS model is compatible and works best for rainfall-runoff modeling, because it integrates the various parameters that influence the process. The cyclical and trend analysis of the series of historical precipitation data shows a five-year cyclicity and a decreasing trend from 1984 to 2018. There are changes in land use transforming the original forest into natural pastures and croplands, which influence a decrease in evapotranspiration (ET) and infiltration in general, with an increase in runoff in principle, but as time passes it decreases, resulting in a deficit in water supply.

The results show that the risks of flash floods have increased in the sub-basins studied due to changes in the behavior of the hydroclimatic parameters. The hydrological response of the studied sub-basins presents higher flow peaks and shorter concentration times that affect the amount of water discharged from the basin. It was found that, in the data presented and the flows obtained from the model, a cyclical change is visualized in the different years that agrees with the cycles that were analyzed in the rainfall. These findings provide those responsible for urban planning with very useful information on the effects of flash floods, which have even cost human lives in the ravine basins studied in recent years.

Keywords: HEC-HMS, soil, use, runoff, surface.

INTRODUCCIÓN

La gestión de los recursos hídricos es un enfoque importante e integrado que incluye todos los componentes hidrológicos y sus vínculos entre sí. Las modificaciones humanas, como el cambio de la cobertura del suelo, el riego, urbanizaciones, etc., producen cambios en las variaciones hidrológicas. En los últimos años, los datos de teledetección han tenido una parte activa en el mapeo de los cambios de CLC. Los modelos matemáticos hidrológicos, tanto agrupados, distribuidos y semidistribuidos, en especial estos últimos ya que dividen a la cuenca en sub-cuencas más pequeñas facilitando el análisis detallado. Por ejemplo, el Centro de Ingeniería Hidrológica - Sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS), (Petchprayoon, 2010) enfatizó el impacto del uso de la tierra / cobertura de la tierra en el alivio del problema de la inundación. (Durga Rao, 2011) estudió el modelado hidrológico de grandes cuencas fluviales en datos espaciales y no espaciales. (A., 2006) utilizó la teledetección, el sistema de información geográfica (SIG) y el modelo hidrológico para el modelado de lluvia y escorrentía.

Las inundaciones repentinas son uno de los principales riesgos que los humanos han enfrentado a lo largo de la historia. Particularmente en regiones altamente habitadas, las inundaciones repentinas producen algunos de los peligros naturales más severos, como altas tasas de escorrentía, deslizamientos de tierra, transporte de sedimentos y contaminantes, que causan destrucción de propiedades, infraestructura, daños en cultivos agrícolas, muerte del ganado, pobreza e incluso pérdidas de vidas humanas. (Boithias, 2017) (Hooke, 1999) (Mahmood, 2015) Los principales factores que afectan la ocurrencia de inundaciones repentinas son las características de la lluvia (duración, cantidad total, intensidad, distribución de espacio tiempo, etc) y las características de la cuenca de drenaje (superficie, longitud, pendientes, tiempo de concentración, orografía, uso del suelo y tipos de suelo y/o vegetación). (Nogueira, 2018), (Ballesteros, 2017) (Belmonte, 2006), (García, 1985), (Rosales, 2010), (Zhong, 2010).

A lo largo de la cuenca de las costas mediterráneas se extiende el riesgo de inundaciones repentinas debido al aumento de áreas impermeables, la reducción de los tiempos de propagación de inundaciones y las tasas de infiltración, en consecuencia, el aumento de las tasas de escorrentía pico (Belmonte, 2006), (Jeong, 2016), 2010; (Pérez-González, 2002). Además, las intensidades de lluvia y los cambios en el uso del suelo están relacionados debido, por ejemplo, a que las áreas urbanas modifican el clima regional a través de varias alteraciones en el efecto albedo, emisiones de efecto invernadero, entre otros.

Con el fin de predecir los eventos de inundaciones repentinas y sus variaciones debido a los cambios en el uso de la tierra, se utilizó la Herramienta HEC-HMS, la cual presenta las siguientes ventajas: i) Actualmente, pocos modelos numéricos calculan los procesos hidrológicos a escala de cuenca con pasos de tiempo sub-diarios, necesarios para simular correctamente la respuesta hidrológica de las cuencas de concentración a corto plazo (Boithias, 2017); (Jeong, 2016); (Rosales, 2010); (Yang, 1994) Yang et al., 2015).

Esta resolución temporal es esencial para capturar la complejidad hidrológica de las inundaciones repentinas. El HEC-HMS alcanza precisiones espaciales en la unidad de respuesta hidrológica (HRU) siendo adecuado para evaluar la influencia del uso de la tierra en los resultados del presente estudio. Este modelo se ha aplicado ampliamente en cuencas no calibradas obteniendo, en general, buenos resultados (Boongaling, 2018); (Gassman, The Soil and water assesment tool: Historical Development, applications and future research directions, 2007); (Gassman, Applications of the SWAT. Model Special Section, 2014). La literatura científica informa modelos robustos no calibrados con resultados apropiados en cuencas no calibradas. Incluso, en regiones semiáridas, algunas experiencias mostraron modelos no calibrados y calibrados con resultados similares ((Beven, 2012); (Lange, 2001); (Miao, 2008); (Rosales, 2010))

Doce subcuencas del Embalse Guadalest ubicadas en la provincia de Alicante y que representan los sistemas fluviales típicos de ambientes mediterráneos semiáridos con corrientes efímeras, pendientes moderadamente empinadas, tiempos de concentración cortos y con episodios de inundaciones repentinas críticas registradas durante las últimas décadas.

ÁREA DE ESTUDIO

El Embalse Guadalest se encuentra dentro de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), con una capacidad de 13hm³ y una lámina de agua de 64ha, la subcuenca del Guadalest tiene una superficie de 122,5 km² y nace en de la confluencia de los barrancos de Fabara y Beniardá al pie de la Sierra del Serella.

La región tiene un clima mediterráneo semiárido con una temperatura media anual de 18 ° C y bajos valores de precipitación anual total, que van de 250 a 350 mm / año en las sub cuencas seleccionadas. La precipitación se distribuye de manera desigual a lo largo del año, con veranos secos y otoños que concentran la mayor parte de la precipitación.

Los datos climáticos se obtuvieron de series temporales diarias proporcionadas por la Agencia Nacional de Meteorología (AEMET 2018).

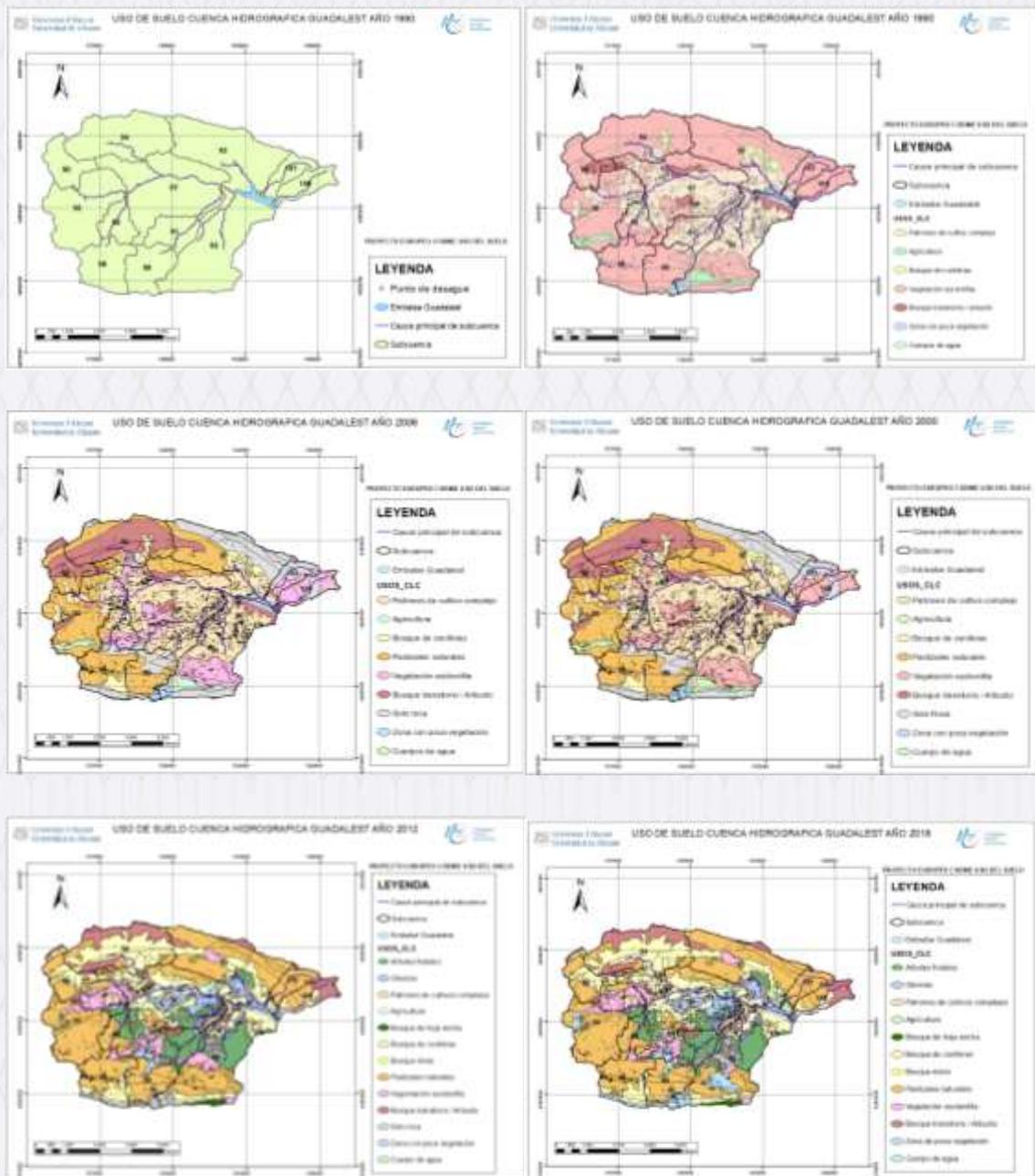


Figura1. Mapas de Uso de Suelo 1990, 2000, 2006, 2012, 2018.

Cuenca Embalse Guadalest.

Fuente: Adaptada de Corine Land Cover

Geológicamente en la zona se tienen afloramientos de rocas sedimentarias tales como calizas, areniscas, conglomerados con un 53,68%, seguido de brechas con el 18,73% y arcillas, margas y limos con 11,58%. La permeabilidad de las rocas sedimentarias, se clasifican en alta permeabilidad el 17,14%, media permeabilidad 40,86% y de baja permeabilidad del 31,81%. (VIELCA INGIOPSA, Empresa Consultora UTE, 2013).

La subcuenca del Embalse Guadalest, según el modelo de elevación digital (DEM) disponible en el (<https://www.cnig.es/servicios>, 2017). La orografía característica, tiene elevaciones de hasta 1400 m en 20 km de la línea de costa, donde se produce concentrados de agua lluvia que aumentan rápidamente el riesgo de inundaciones repentinas (Ibarra, 2010); (Valdés-Abellán, 2017).

En cuanto a su geomorfología, los accidentes geográficos están dominados por gravas, arenas, arcillas y limos de depósitos de glaciares y estribaciones, con algunas inclusiones de areniscas y calizas (www.igme.es, 2018)

Las áreas urbanas han aumentado en gran medida durante las últimas cuatro décadas, principalmente en la costa y, a menudo, sin un plan de desarrollo urbano adecuado (Olcina, 2016); (Pérez-González, 2002). En consecuencia, algunas de estas cuencas tienen aproximadamente el 70% de su superficie ocupada por áreas urbanas) con alta densidad de población según la base de datos (Barbara Kosztra, 2017).

Datos Utilizados

La información de uso de la tierra y clasificación de la cobertura de la tierra fue obtenido desde el (Barbara Kosztra, 2017), que es una base de datos de polígonos de ocupación del suelo a nivel europeo a una escala 1:100.000, y basada en una nomenclatura jerárquica de tres niveles de 44 clases, siendo el tamaño mínimo del polígono de 25ha. La data CLC adaptada de (Corine Land Cover), fue considerada en los períodos 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018 generando cinco escenarios: CLC1990, CLC2000, CLC2006, CLC2012, CLC2018. La capa de permeabilidad fue obtenida del Servicio Geológico Español (IGME) en formato shapefile escala 1:50.000. (www.igme.es, 2018)

El dato de pendiente de cada sub-cuenca, fue calculado del modelo digital de elevación (DEM) en formato raster disponible en (<https://www.cnig.es/servicios>, 2017) con una resolución de 5m*5m (grilla) de acuerdo con la metodología mostrada en (Tarboton, February 1997). El DEM5 ha sido prefiltrado usando la herramienta ARGIS para remover sumideros y picos evitando los sistemas de drenajes discontinuos.

Los mapas de CLC se obtuvieron del (Gisbert, 2013), y los datos diarios de lluvia del IMD (AEMET 2018), se utilizaron para el área de estudio.

Como resultado de este proceso, el polígono shapefile de umbral de escorrentía fue obtenido en una resolución espacial de la unidad de respuesta hidrológica (Neitsch, Arnold, & Kiniry, septiembre 2011). Se ha implementado el modelo para cada uno de los escenarios, estableciéndose diferentes caudales de crecida, acordes a la intensidad y duración de las precipitaciones y de los cambios de uso de suelo

Se utilizó información de cobertura rasterizada de suelos, con una escala de 1: 1,000,000 (Barbara Kosztra, 2017) Los códigos de suelo de (Barbara Kosztra, 2017)) fueron adaptados e incluidos en la base de datos HEC-HMS. La pendiente se dividió en dos clases (0% –3% y N3%) siguiendo la normativa española (Margarita Mohedas Díaz, 2015). Los datos de uso de la tierra se obtuvieron de la base de datos de CLC con una escala de 1: 100,000 (Barbara Kosztra, 2017). Se consideró que un escenario de referencia sin uso de suelo urbano y datos de CLC de 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018 produjeron cinco escenarios: línea de base, CLC1990, CLC2000, CLC2006, CLC2012 y CLC2018. De manera similar a (Velázquez, 2018), el escenario de referencia se generó utilizando el CLC1990 y asignando clases de proporcionalidad de uso agrícola y natural del suelo a clases urbanas. Los usos del suelo de CLC se reclasificaron en clases de uso del suelo HEC-HMS siguiendo a (Ashraf El-SADEK, 2014).

El número de la curva de escorrentía para la condición de humedad II (CN2), se establecio atendiendo a la nomenclatura del Servicio de Conservación del Suelo (SCS, 1986) y el flujo diario promedio de cada subcuenca (flujo_out) se seleccionaron usando el modelo HEC-HMS-diario (Jeong, 2016);

METODOLOGÍA

Delimitación de la Cuenca: Las sub-cuencas y la red de drenaje se delimitan utilizando el DEM a través de un proceso automatizado, manteniendo la extensión espacial de la cuenca, el tiempo de cálculo y la precisión deseada; la cuenca se dividió en 12 sub-cuencas, con homogeneidad cambio de uso de suelo, pendiente entre (0%-3% y >3%) y características del tipo de suelo sea agrícola, natural y urbanizable. Se determinó las características de la Cuenca como: superficie, longitud, pendiente, tiempo de concentración, orografía, tipos de suelo, tipos de vegetación, cambio de uso del suelo.

Umbral de Escorrentía: Se calculó de acuerdo a la Normativa española (Margarita Mohedas Díaz, 2015) La cobertura de uso de suelo, permeabilidad y datos de pendiente fueron analizados con la herramienta ARGIS versión 10.5 para obtener el umbral de escorrentía.

Tiempo de concentración: Para cada sub cuenca se calculó usando la ecuación empírica desarrollada por (Neitsch, Arnold, & Kiniry, septiembre 2011) considerando principales afluentes y los niveles de subcuencas. El valor de $K=60\%lag$, se consideró por recomendación del mismo programa, para $X= 0.2-0.3$. El modelo de transformación del hidrograma de la unidad SCS se usa para calcular la escorrentía directa de la excesiva precipitación. El tiempo de concentración según la norma 5.2-IC-Drenaje_Superficial de la Instrucción de Carreteras es el tiempo mínimo necesario desde el comienzo del aguacero para que toda la superficie de la cuenca esté aportando escorrentía en el punto de desagüe, utilizando la ecuación (1):

$$t_c = 0.3L_c^{0.76} \cdot J_c^{-0.19} \quad \text{Factor Empírico (h/Km)}$$

Donde: t_c (horas) tiempo de concentración; L_c (Km) Longitud del cauce; J_c (adimensional) Pendiente media del cauce

El modelo de número de curva del servicio de conservación del suelo (SCS-CN) fue el más utilizado en el modelado hidrológico; fue desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Surendra Kumar, 2003) . El CN II obtenido ha sido modificado acorde a las pendientes de cada sub-cuenca usando el Método de Williams y Laseaur (1976) (Surendra Kumar, 2003)

Dentro de los modelos de funciones de almacenamiento o propagación de avenidas se escogió el método Muskingum que fue presentado por McCarthy en 1938, y es el ejemplo más clásico de empleo de relaciones de caudal-almacenamiento variables. Ante zonas muy llanas inundables donde la avenida pueda exceder el límite del cauce e inundar una gran superficie de terreno, debemos tener presente que pueden establecerse almacenamientos de agua importante y por ello se considera modelar esta realidad como una especie de embalse o depósito, es por ello si conseguimos conocer los datos de los hidrogramas de entrada y salida del tramo con objeto de calibrar correctamente los parámetros K y X , el más adecuado es Muskingum; fue desarrollado por el Servicio de Conservación del distrito de Muskingum, Ohio, USA, para la prevención de avenidas, y fue presentado por McCarthy en 1938 (Béjar, 2014). El número de curva depende del grupo hidrológico del suelo (Corine Land Cover), el tipo de uso de la tierra y el AMC-II (condición de humedad como antecedente).

Modelado hidrológico utilizando el modelo HEC-HMS 4.4

El modelo HECHMS (Béjar, 2014), fue diseñado para ser aplicable en un amplio rango de áreas geográficas y adecuado para simular el flujo diario, mensual y estacional. Los elementos hidrológicos están conectados en una red para simular un proceso de escorrentía-lluvia. Los elementos disponibles son subcuenca, alcance, unión, reservorio, desvío, fuentes y sumideros; la computación procede de elementos aguas arriba a la dirección aguas abajo; se dispone de una clasificación de diferentes métodos para simular pérdidas de infiltración. El cálculo de

la escorrentía superficial de HEC-HMS incluye interacciones complejas entre el clima, el dosel de la planta, la escorrentía directa de la precipitación, el flujo base, el enrutamiento del flujo de la corriente, la evaporación y la capa de nieve. En HEC-HMS, el cálculo de la escorrentía superficial se realiza principalmente mediante el módulo de método de transformación, se utilizan dos parámetros, "tiempo de concentración" y "coeficiente de almacenamiento" para definir la curva. Las opciones para el modelado del método de pérdida incluyen el número de curva SCS, La fase de descarga máxima en HEC-HMS puede ajustarse tanto por el módulo de transformación como por el módulo de enrutamiento de flujo (Teng, Huang, & Ginis, 2018).

Las simulaciones hidrológicas se han logrado con HEC-HMS (Koneti, Sunkara, & Sarathiroy, 2018), una herramienta hidrológica semi-distribuida y continua en el tiempo en la escala de la cuenca. Es un modelo basado en la física y que se puede aplicar a una amplia gama de casos, como los impactos del cambio climático en los recursos hídricos (Kavim Abbaspour, 2018), prácticas de gestión de tierras sobre agua, el transporte de sedimentos y los rendimientos químicos agrícolas en cuencas hidrográficas calibradas y no calibradas (Elham Rouhollahnejad, 2014). Las mejoras recientes en la resolución del modelo de tiempo permiten simular con periodos de tiempo en minutos, colocando a HEC-HMS como una herramienta adecuada para realizar estudios de inundaciones repentinas (Boithias, 2017), (Jeong, 2016)

Escorrentía superficial, propagación de inundaciones y velocidad de flujo

La conversión lluvia-escorrentía se logró mediante el método de infiltración de Green y Ampt (Green y Ampt, 1911), modificada recientemente por Mein y Larson (1973) (Valdés-Abellán, 2017), se considera apropiado para lograr los objetivos del presente estudio debido al requerimiento de datos de precipitación sub-diarios y la inclusión de las variaciones de número de curva (impactos de la cobertura del suelo) en la expresión efectiva de conductividad hidráulica (Bauwe et al., 2017; (Boithias, 2017), (Jeong, 2016) Maharjan et al., 2013; Nearing et al., 1996;). La propagación de inundaciones en canales se simuló utilizando el método de enrutamiento del río Muskingum (Cunge, 1969; Overton, 1966) (Neitsch, Arnold, & Kiniry, septiembre 2011)

Se consideró la ecuación de Manning para flujo uniforme (Manning et al., 1977) calculó la velocidad y la velocidad del agua en tierra firme y en los canales principales y tributarios (ecuaciones (2) y (3)): (Valdés-Abellán, 2017).

$$\begin{aligned} V_{\text{almacenado}} &= K \cdot (X \cdot q_{in} + (1 - X) \cdot q_{out}) \\ V_{ov} &= \frac{0.005 \cdot L_{slp}^{0.4} \cdot slp^{0.3}}{n_{ov}^{0.6}} \\ V_c &= \frac{0.317 \cdot \text{Area}^{0.125} \cdot slp_{ch}^{0.375}}{n_c^{0.75}} \end{aligned}$$

donde v_{ov} es la velocidad de flujo terrestre (m / s); L_{slp} es la longitud de la pendiente de la subcuenca (m); slp es la pendiente promedio en la subcuenca (m / m); y n_{ov} es el coeficiente de rugosidad de Manning para la subcuenca. v_c es la velocidad media del canal (m / s); Área es el área de la subcuenca (km²); slp_{ch} es la pendiente del canal (m / m); y n_c es el coeficiente de Manning para el canal.

Se trabajó con la base de datos de USOS del suelo adaptado de Corine Land Cover y se asignaron códigos como, por ejemplo: 323 Vegetación esclerofila, 321 pastizales naturales, 312 bosques de coníferas, entre otros. Tabla (1).

Tabla 1 Usos del suelo según Corine Land Cover

<i>USOS_CLC</i>	<i>NOMENCLATURA CORINE</i>
324	<i>bosque transitorio / arbusto</i>
321	<i>pastizales naturales</i>
312	<i>bosque de coníferas</i>
323	<i>vegetación esclerófila</i>
332	<i>Solo roca</i>
222	<i>árboles frutales</i>
223	<i>oliveras</i>
243	<i>agricultura</i>
512	<i>cuerpo de agua</i>
242	<i>patrones de cultivo complejo</i>

Fuente: Elaboración propia

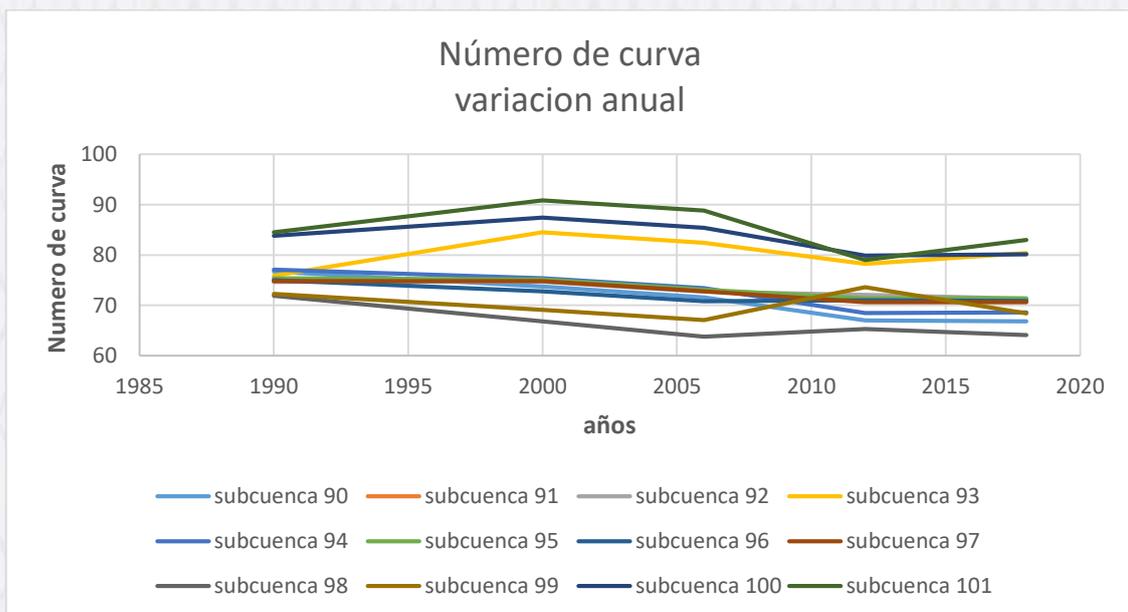
Principales características de las doce subcuencas.

El tiempo de concentración (T_c) para cada sub-cuenca se calculó utilizando las ecuaciones empíricas desarrolladas por (Neitsch, Arnold, & Kiniry, septiembre 2011) considerando canales principales y tributarios a nivel de sub-cuenca. El T_c de cada cuenca se logró seleccionando sub-cuencas cuyos canales principales y tributarios definen la ruta de agua más larga.

Tabla 2 Doce subcuencas del Embalse Guadalest y principales características.

DATOS CARACTERÍSTICOS DE LAS SUBCUENCAS EMBALSE GUADALEST									
Sub-cuenca	área (km ²)	pendiente (°)	longitud (m)	CN					T _c (h)
				1990	2000	2006	2012	2018	
90	2.6	3.3	327.7	76.7	73.7	71.6	67.0	66.8	0.1
91	2.5	6.4	2047.9	74.7	74.9	72.9	71.0	71.0	0.4
92	9.9	7.5	3119.9	74.7	74.7	72.7	72.1	71.3	0.5
93	8.9	4.3	2623.5	75.9	84.5	82.4	78.2	80.4	0.5
94	7.0	4.5	2380.4	77.1	75.4	73.4	68.5	68.6	0.4
95	2.0	7.2	2134.2	75.4	75.1	73.1	71.4	71.4	0.4
96	7.2	0.4	2532.2	75.0	72.8	70.8	71.0	70.9	0.7
97	10.8	3.2	4798.6	74.8	74.8	72.8	70.6	70.6	0.8
98	3.8	11.4	605.2	71.9	66.8	63.8	65.3	64.1	0.1
99	3.3	7.7	662.1	72.3	69.1	67.1	73.6	68.4	0.1
100	2.0	14.6	2910.3	83.8	87.4	85.4	79.9	80.1	0.4
101	1.8	14.3	2818.8	84.5	90.8	88.8	79.0	83.0	0.4

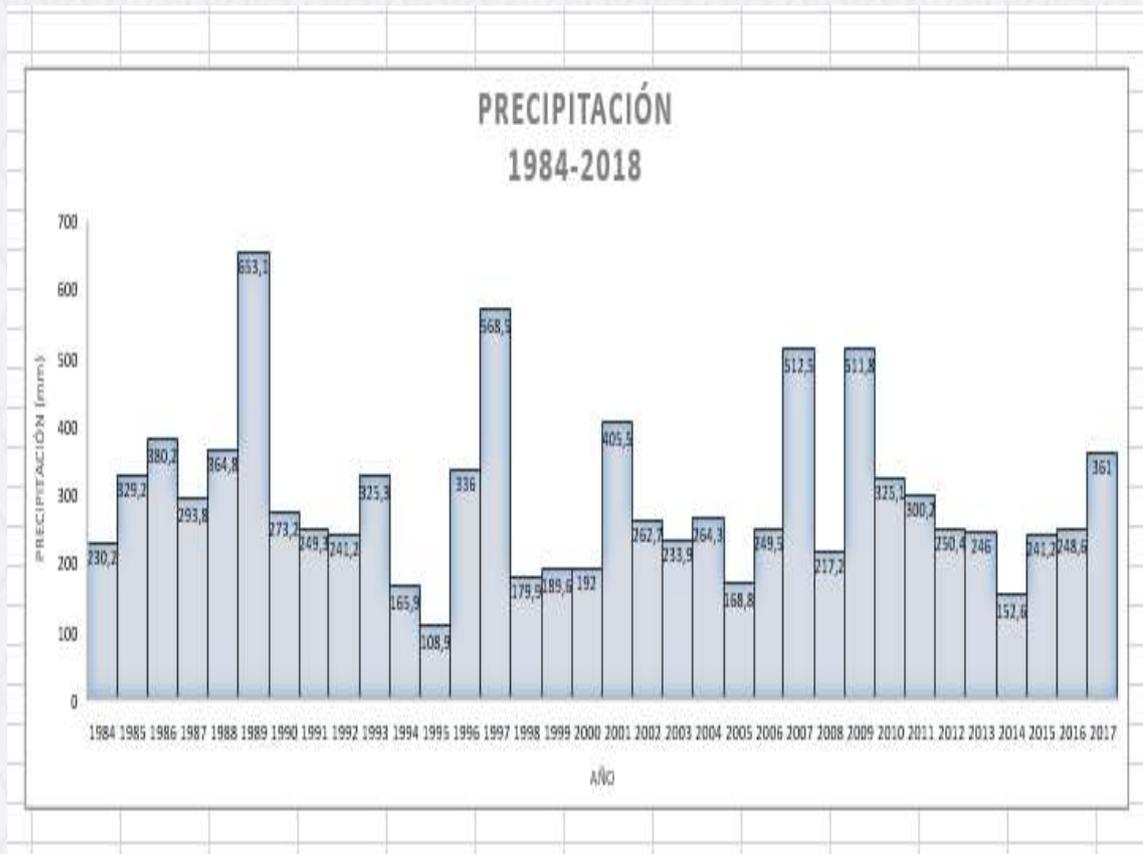
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1 Variación multitemporal del número de curva.

A continuación, se obtuvo la función Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) (Ec. (1)) para los datos meteorológicos observados en la estación 8025 (Koutsoyiannis et al., 1998): $a \cdot T^n$ donde I es la intensidad (mm / h); T es el período de retorno (años); T_c es el tiempo de concentración (horas); a , n , b , m son coeficientes específicos para la estación 8025. La estación meteorológica seleccionada presenta los registros diarios más largos y la menor presencia de brechas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Precipitación multitemporal 1984-2018.

HEC-HMS también requiere series meteorológicas diarias de temperaturas máximas y mínimas (T_{max} y T_{min}), humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento (Winchell et al., 2013). Se obtuvieron registros diarios de $T_{máx}$ y $T_{mín}$ de las estaciones meteorológicas La mejor estación es 80411-Guadalest, pero sólo existe a partir de 2005, se observó muy buena correlación con tres estaciones: 8025, 8036B-Benidorm, 8054-Laguar y se eligió la 8025 por ser la mejor correlación un R^2 de 0.91y por ser esta más completa se consideró para estimar temperaturas en la zona de estudio.

En cuanto a la precipitación se buscó estaciones que sean vadas y estén más cerca 8040, 8040C y 8041A, situadas en Callosa. Atendiendo a la correlación, se trabajó con los datos de la 8040 como estación de referencia ante los huecos de la 8040I-Presa. Estas estaciones se seleccionaron debido a las longitudes temporales para datos meteorológicos de 30 años o más.

La evapotranspiración potencial se simuló con el método Hargreaves et al. (1985). Se obtuvieron series diarias de humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento utilizando el generador meteorológico del modelo HEC-HMS. (Valdés-Abellán, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cambios en el uso del suelo

Tabla3 Cambios más representativos del uso del suelo de las doce subcuencas del Embalse Guadalest.

SUBCUENCA	USOS_CLC	NOMENCLATURA CORINE	PORCENTAJE	
			1990	2018
101	323	vegetación esclerófila	81,56	
	321	pastizales naturales		81,55
100	323	vegetación esclerófila	95,02	
	312	bosque de coníferas		30,11
	321	pastizales naturales		31,51
	324	bosque transitorio / arbusto		36,95
99	323	vegetación esclerófila	84,38	
	321	pastizales naturales		70,76
	333	zona con poca vegetación		16,93
98	323	vegetación esclerófila	100	
	321	pastizales naturales		64,30
	312	bosque de coníferas		24,72
97	323	vegetación esclerófila	29,01	
	242	patrones de cultivo	63,58	
	312	bosque de coníferas		37,86
	321	pastizales naturales		14,30
	223	oliveras		18,79
96	323	vegetación esclerófila	64,15	
	242	patrones de cultivo	30,08	
	321	pastizales naturales		67,09
	323	vegetación esclerófila		19,01
95	242	patrones de cultivo	49,91	
	323	vegetación esclerófila	50,09	
	321	pastizales naturales		60,44
	222	árboles frutales		26,25
94	323	vegetación esclerófila	90,46	
	324	bosque transitorio / arbusto		28,63
	312	bosque de coníferas		57,92
93	323	vegetación esclerófila	68,52	
	242	patrones de cultivo	22,20	
	321	pastizales naturales		54,82
	312	bosque de coníferas		22,44
92	242	patrones de cultivo	51,64	
	323	vegetación esclerófila	32,30	
	312	bosque de coníferas		20,70
	222	árboles frutales		24,68
	321	pastizales naturales		19,40

SUBCUENCA	USOS_CLC	NOMENCLATURA CORINE	PORCENTAJE	
			1990	2018
91	242	patrones de cultivo	84,35	
	323	vegetación esclerófila	15,65	
	222	árboles frutales		54,19
	323	vegetación esclerófila		20,05
90	323	vegetación esclerófila	75,84	
	324	bosque trasnsitorio / arbusto	19,33	
	321	pastizales naturales		51,15
	312	bosque de coníferas		41,03

En la Tabla se presenta una descripción detallada sobre estos códigos y sus clases de usos de la tierra.

A lo largo del tiempo, no se observa un cambio significativo entre los tipos de suelo: los escenarios iniciales (1990 y 2000) mostraron principalmente áreas de vegetación esclerófila y patrones de cultivo, mientras que los escenarios actuales (2006, 2012 y 2018) presentan zonas de pastizales naturales, bosque de coníferas, árboles frutales.

Estos cambios en las clases de uso del suelo responden al requerimiento y demanda antropogénica enfocada principalmente a ganadería y plantaciones frutales y la alta presión demográfica descrita en (Ballesteros, 2017) (Belmonte, 2006), (García, 1985), etc. a lo largo de la costa sudeste de España durante los últimos años y, especialmente, en la costa de las provincias de Alicante y Murcia (Pérez-González, 2002)

Por otro lado, se detectó una disminución en el uso de la tierra agrícola durante el período estudiado (2012-2018) se perdió (-5,72%) y (-6,23%) en las subcuencas 96 y 92 respectivamente de lo que se tenía en los años (1990, 2000 y 2006); en cambio apareciendo un ligero uso en agricultura en el 2012 y 2018 (2,48%) y (3,05%) respectivamente. Según estudios recientes realizados en el SE de España (Alonso-Sarría et al., 2016; García-Ruiz y Lana-Renault, 2011; Rodrigo-Comino et al., 2018), el abandono observado de las áreas agrícolas se debió a factores relacionados, con el clima, la pedología y las limitaciones topográficas (por ejemplo, la intensificación en la ocurrencia de pequeños deslizamientos de tierra) y por numerosos factores socioeconómicos derivados de las Políticas Agrícolas Europeas, usos intensivos inadecuados de la tierra, etc.

Variaciones del Número de Curva

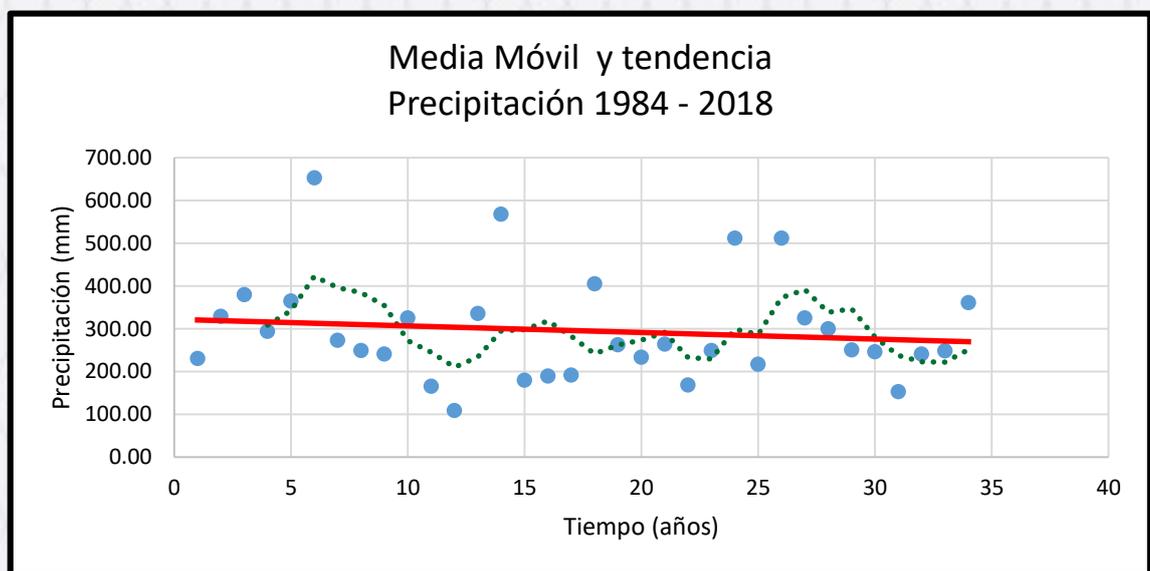
Las variaciones del número de curva observada (CN2) entre escenarios se debieron exclusivamente a cambios en los usos del suelo, sin embargo, se ha encontrado que ésta variación no es significativa al igual que los demás factores (pendiente y grupos hidrológicos del suelo) que demostraron una ligera variación a lo largo del período analizado en el área de estudio. La figura 2 muestra los cinco escenarios con las mayores diferencias entre ellos (1990, 2000, 2006, 2012 y 2018). Existe una variación decreciente del valor de CN en todas las subcuencas en menor magnitud en las subcuencas 93, 100 y 101 y con mayor magnitud en el resto de las subcuencas atribuible al cambio de uso del suelo y su incidencia en factores de infiltración e impermeabilización.

En la Tabla 3 se presenta como se ha dado el cambio de uso de suelo desde el escenario inicial 1990 hasta el más actual 2018, y poder analizar las diferencias identificadas en los niveles de CN2 de áreas de vegetación esclerófila, zonas de pastizales naturales, agrícolas y plantaciones frutales. Entre los escenarios, CN2 no se mostró cambios considerables, porque hubo bajas variaciones en sus clases de uso de la tierra más extendidas

dentro del período de estudio. La superficie de la cuenca está prevalentemente cubierta por espacios naturales de matorral, sobre todo en las zonas más montañosas, con una fuerte presencia de cultivos en secano en las zonas de fondo valle y frutales (cítricos) en la zona sur, donde el río se aproxima a la costa. El tipo de suelo Aridisol-Orthid-Calciorthid-Camborthid 7.51%, Entisol-Orthent-Xerorthent 48.51% y Inceptisol-Ochrept-Xerochrept 43.98%.

La caracterización litológica responde a calizas, areniscas, conglomerados con un 53,68%, seguido de brechas con el 18,73% y arcillas, margas y limos con 11,58%; en cuanto a la permeabilidad corresponde a media un 40,86%, baja 31,81% y alta al 17,14% (VIELCA INGIOPSA, Empresa Consultora UTE, 2013), a esto se debe los valores presentados de número de curva de los diferentes escenarios, existiendo una estrecha relación con la permeabilidad de las principales clases de uso de la tierra.

Caudales y Precipitaciones



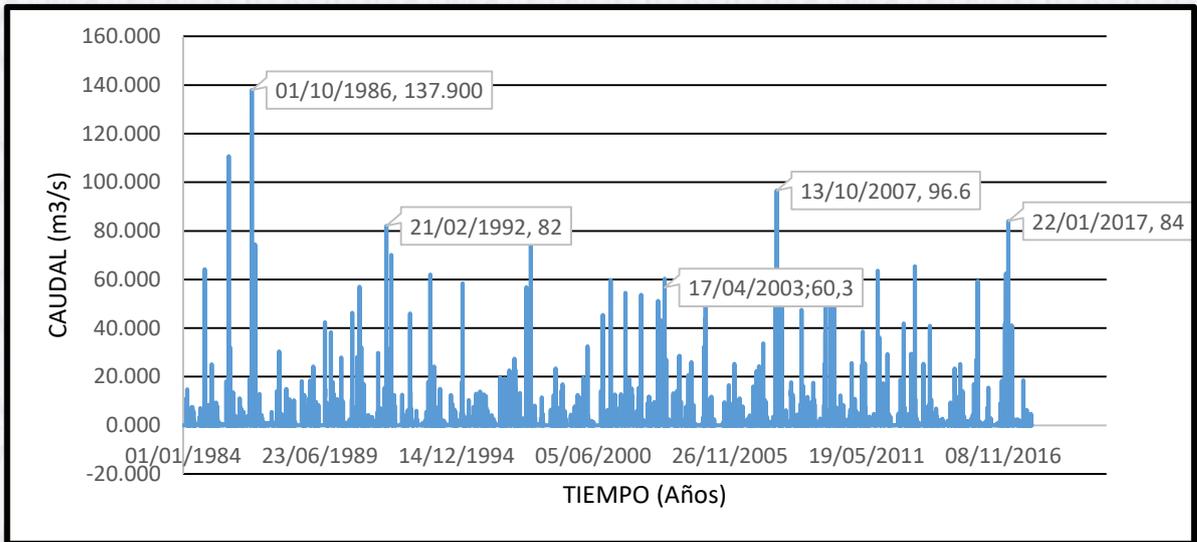
Fuente: Elaboración propia

Figura 4 Media móvil y tendencia 1984-2018

Del análisis hecho a la serie histórica de precipitaciones (1984 al 2018), aplicando las herramientas estadísticas Media móvil (línea verde) y tendencia (línea roja), nos permite determinar el componente cíclico y cuál sería la tendencia de la precipitación. La parte cíclica marca aproximadamente 5 años para cada ciclo; es decir cinco años de ciclo lluvioso y cinco años de ciclo menos lluvioso, correspondiente a este último el periodo de 2013 al 2018. La línea roja marca la tendencia de la precipitación y es decreciente, analizando desde 1984 hasta el año 2018 proporcionando información de las subcuencas que corresponde a menor cantidad de lluvia.

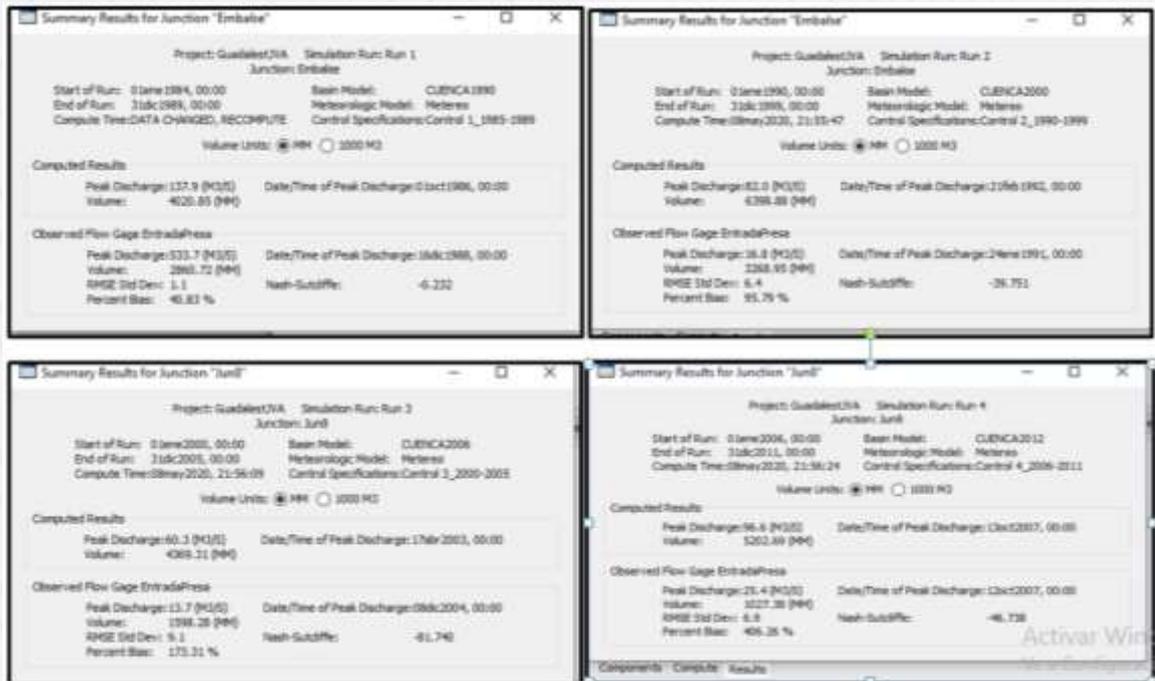
Los caudales deben comportarse de una manera similar a las lluvias si las subcuencas no están muy alteradas, es decir los caudales deberían ir decreciendo ya que la lluvia está decreciendo en términos anuales y multianuales y se corrobora luego de establecer una correlación de 0,815 entre precipitación y caudales. Los caudales no presentan un comportamiento diferente a la lluvia (Fig.5) luego de analizar que en las subcuencas no se ha dado un mayor cambio en el uso del suelo (Tabla 2 y 3).

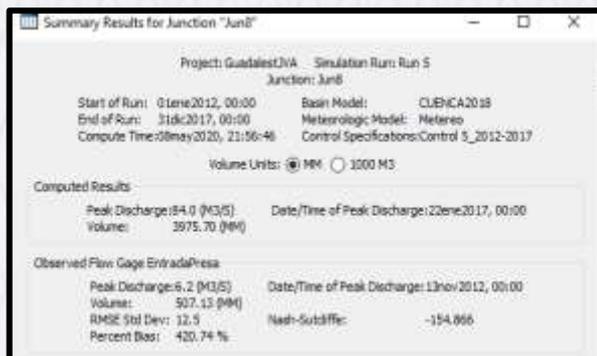
Corridas del modelo HEC-HMS para los cinco escenarios



Fuente: Elaboración propia

Figura 5 Caudales de 1984 al 2018 y picos de caudales





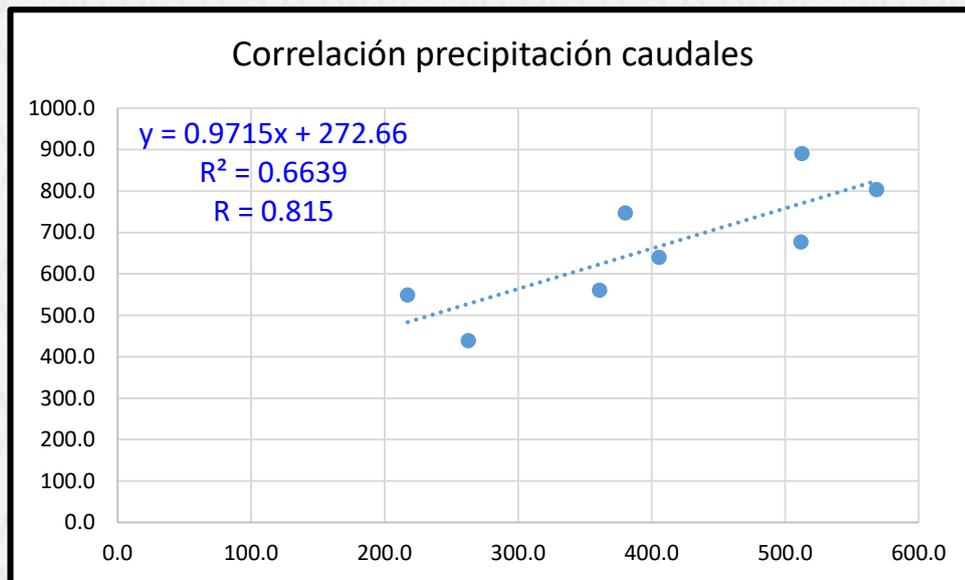
Fuente: Elaboración propia

Figura 5 Corridas del modelo HEC-HMS 1990, 2000, 2006, 2012, 2018

Tabla 4 Análisis comparativo de precipitación y caudales

AÑO	PRECIPITACIÓN	CAUDAL
1986	380,2	747,70
1989	653,1	590
1990	273,20	529.20
1997	568,5	803,7
2000	192	357.4
2001	405,5	640,10
2002	262,7	438,9
2003	233,9	791,5
2006	249,50	430.8
2007	512,5	890,7
2008	217,2	549,5
2009	511,8	677,5
2012	250,40	433.90
2015	241,20	470
2016	248.6	499.5

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 6 Correlación precipitación caudales.

Las descargas máximas se generaron para cada subcuenca y en la salida al embalse; al establecer el análisis estadístico con los datos de precipitación y caudales existe una buena correlación entre estos parámetros con un coeficiente de determinación de 0.6639 y un coeficiente de correlación alto de 0.815.

La lluvia es el parámetro más importante que influye en todos los componentes del balance hídrico, como la escorrentía. La precipitación total en la cuenca del Embalse Guadalest para los años 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018 fue de 273,20 mm, 192 mm, 249,50 mm, 250,40 mm, y 361 mm respectivamente. Se consideraron los picos obtenidos del modelo del 01 de octubre de 1986 = 137,9 m³/s; 21 de febrero de 1992 = 82m³/s; 17 de abril de 2003 = 60,3 m³/s; 13 de octubre de 2007 = 96,6 m³/s; 22 de enero de 2017 = 84,0m³/s, estos valores están altamente correlacionados con la lluvia. Se estableció que la tendencia de la escorrentía es altamente dependiente de la cantidad de lluvia recibida en toda la Cuenca determinándose como crecidas según el resultado del modelo y corroborado con los datos observados.

El modelo HEC-HMS es particularmente adecuado para los escenarios de uso de la tierra y sus implicaciones en los procesos hidrológicos a escalas regionales y globales durante los plazos seleccionados.

CONCLUSIONES

El Embalse Guadalest se encuentra dentro de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), con una capacidad de 13hm³ y una lámina de agua de 64ha, la subcuenca del Guadalest tiene una superficie de 122,5 km² y nace de la confluencia de los barrancos de Fabara y Beniardá al pie de la Sierra del Serella; el estudio realizado en los últimos 34 años (1984–2018), se encontró que no se experimentó mayores cambios en el uso del suelo de vegetación esclerófila en un esenario inicial a pastizales naturales en el esenario más nuevo. Se identificó un ligero abandono de las zonas agrícolas, en parte, debido a su conversión en el uso del suelo a

pastizales naturales y bosque de coníferas, lo que ha incidido en decrecimientos de los valores del número de curva en todas las subcuencas, con magnitudes decrecientes menores en las subcuencas 93, 100 y 101.

El modelo HEC-HMS diario implementado y las herramientas basadas en SIG han demostrado ser útiles al realizar los objetivos del estudio. Dentro del HEC-HMS, el modelo Green-Ampt Mein-Larson y el método Muskingum fueron adecuados para resolver, respectivamente, la conversión lluvia-escorrentía y las ecuaciones de propagación de inundaciones.

Los resultados obtenidos pueden ayudar a las autoridades de gestión del agua en el proceso de toma de decisiones contra los efectos del cambio climático luego del análisis cíclico y de tendencia de las precipitaciones y caudales que reflejan una tendencia a la disminución de los caudales relacionado con las precipitaciones en el periodo de estudio, no evidenciándose mayor incidencia en los caudales a causa del cambio de uso de suelo, pero si el aumento del riesgo identificado en la ocurrencia de tormentas de alta intensidad como consecuencia del cambio climático.

Los estudios hidrológicos con el objetivo de capturar la alta complejidad (orográfica y meteorológica) de las cuencas costeras del Mediterráneo deben continuar analizando la vulnerabilidad de la población y la percepción del riesgo socio ambiental; ambos son especialmente importantes en áreas sensibles del Sur de España.

Finalmente, este modelo permitirá realizar más investigaciones en las cuencas hidrográficas evaluadas relacionadas principalmente con: el cambio de uso de tierra a pastizales, así como el abandono de las áreas agrícolas, particularmente importantes en las subcuencas y su influencia esperada en las tasas máximas de escorrentía, varias alteraciones del transporte de sedimentos hacia la costa debido a las grandes tasas de impermeabilización del terreno como consecuencia del desarrollo urbano.

El presente estudio es para detectar, evaluar y predecir las tendencias en los cambios en el uso del suelo / cobertura del suelo y su impacto en la escorrentía superficial entre 1990 y 2018 en la cuenca del Embalse Guadalest.

Además, este estudio indica que la expansión de tierras de cultivo conduce a la disminución de la ET general, con un aumento de la escorrentía. Este estudio ha proporcionado información valiosa en la perspectiva de los cambios posteriores en los componentes hidrológicos como resultado de CLC para la predicción futura, que puede ser útil en el desarrollo de políticas de gestión para conservar los bosques en más inteligencia y vías científicas. Este estudio de modelos HEC-HMS puede proporcionar información sobre futuros escenarios hidrológicos, lo que ofrecerá a los planificadores tomar medidas previas para el uso sostenible del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- 1. Petchprayoon P. Impactos hidrológicos del uso del suelo / cambio de la cobertura del suelo en una gran cuenca fluvial en el centro-norte de Tailandia Bangkok: Wiley; 2010.*
- 2. Durga Rao ea. Un modelo distribuido para el pronóstico de inundaciones en tiempo real en la cuenca del Godavari utilizando entradas espaciales. India: Isro; 2011.*
- 3. A. L. A comparison of mud and sand dominated meanders in a downstream coarsening reach of the mixed bedrock alluvial klip river. Sedymentari geology. 2006:: p. 213-226.*

4. Boithias. *Simulación de inundaciones repentinas a intervalos de tiempo por hora utilizando el modelo SWAT*. MDPI. 2017.
5. Hooke JM. *Impactos geomorfológicos de un evento de inundación en canales efímeros en el sureste de España Reino Unido: Departamento de Geografía, Universidad de Portsmouth, Edificio Buckingham, Lion Terrace, Portsmouth, Hants, PO1 3HE; 1999.*
6. Mahmood. *Secretaría de la Cumbre Mundial Humanitaria, Recuperar la humanidad Nueva York: Naciones Unidas; 2015.*
7. Nogueira S. *Estrategias de adaptación y percepciones institucionales del riesgo hidrológico en una ciudad urbana amazónica. Pará: Instituto de Desarrollo de Ultramar; 2018.*
8. Ballesteros C. *Flood risk evaluation to multiple components on the coast of Maresme. Ribagua. 2017;: p. 110-129.*
9. Belmonte C. *Riesgos naturales y desarrollo sostenible, impacto, predicción y mitigación Alicante: Instituto Geológico y Minero de España; 2006.*
10. García C. *Inundaciones en Lorca, Riesgo y Expectación Murcia: Papeles de Geografía Física N10; 1985.*
11. Rosales M. *Conditioning factors in flooding of karstic poljes, the case of Zafarraya polje. Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones: guía metodológica para su elaboración. 2010;: p. 331-342.*
12. Zhong. *Changes of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of waterlogging-tolerant and waterlogging-sensitive maize. Respuesta de las plantas a estrés por inundación. 2010;: p. 651-661.*
13. Jeong JS. *Implementación de un método para alcanzar un paisaje. Economía Agraria y Recursos Naturales. Vol 16. 2016;: p. 19-38.*
14. Pérez-González. *Aportaciones a la Geomorfología de España en el inicio del Tercer Milenio Madrid: Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España ; 2002.*
15. Yang. *Parameter uncertainty in dam-break flood modelling: Dam break Stockholm: Institutionen för Vattenbyggnad. ; 1994.*
16. Boongaling CGK. *Modelando los impactos del cambio del uso de la tierra en la hidrología y el uso de métricas del paisaje como herramientas para el manejo de cuencas hidrográficas: el caso de una cuenca hidrográfica en Filipinas. Elsevier. 2018;: p. 116-128.*
17. Gassman. *The Soil and water assesment tool: Historical Development, applications and future research directions New York: Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers; 2007.*
18. Gassman. *Applications of the SWAT. Model Special Section New York: Journal of Environmental Quality; 2014.*
19. Beven. *Rainfall-Runoff Modelling. The Primer England: John Wiley & Sons Ltd. West Sussex; 2012.*
20. Lange O. *Biological Soil Crust Characteristic and Distriburion New York: Springer; 2001.*

21. Miao H. Impacts of reforestation approaches on runoff control in the hilly red soil. *Journal of Hydrology*. 2008;; p. 174-184.
22. AEMET 2018. AGENCIA NACIONAL DE METEOROLOGÍA. [Online]. [cited 2018].
23. VIELCA INGIOPSA, Empresa Consultora UTE. PLAN DIRECTOR DE DEFENSA CONTRA LAS AVENIDAS EN LA COMARCA DE LA MARINA BAJA (ALICANTE). In VIELCA INGIOPSA ECU. *Estudio Hidrológico*. Alicante: VIELCA INGIOPSA, Empresa Consultora UTE; 2013. p. 38,39.
24. <https://www.cnig.es/servicios>. Centro Nacional de Información Geográfica. Alicante; 2017.
25. Ibarra M. La inundación extraordinaria del 12 de octubre de 2007 en Calpe (Alicante-España). *Cuadernos de Geografía*. 2010;; p. 89-110.
26. Valdés-Abellán ea. Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. In Valdés-Abellán ea. *International Journal of Climatology*. Alicante: Tenza; 2017. p. 1285-1296.
27. www.igme.es. Instituto Geológico Minero de España IGME. Madrid; 2018.
28. Olcina J. Improvement of resilience of urban areas by integrating social perception in flash-flood risk management. *Journal of Hydrology*. 2016;; p. 665-676.
29. Barbara Kosztra GBGH. Updated CLC Illustrated nomenclature guidelines. Austria;; 2017.
30. Tarboton Dg. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Surface Water and Climate*. February 1997;; p. 309-319.
31. Gisbert ICM. Zonas de morfología urbana: coberturas de suelo y demografía. ; 2013.
32. Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR. Soil and Water Assessment Fool Theoretical Documentation. Texas Water Resources Institute Technical Report. septiembre 2011;; p. 60.
33. Margarita Mohedas Díaz AMV. Trabajos de infraestructuras forestales UF0700. Madrid;; 2015.
34. Velázquez P. Adaptación de la agricultura a escenarios de cambio global. Aplicación de métodos participativos en la cuenca del río Júcar. *Economía Agraria y Recursos Naturales Vol 18*. 2018;; p. 29-51.
35. Ashraf EI-SADEK AI. Evaluating the impact of land use uncertainty on the simulated stream flow and sediment yield of the sey ahn River basin using the SWAT model.. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. Cairo Egipto. 2014;; p. 50-62.
36. Surendra Kumar MaVPS. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Primera ed. Louisiana State: Springer-Science + Business Media, B.V.; 2003.
37. Béjar MV. HEC-HMS Ejemplos. Primera ed. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica; 2014.
38. Teng F, Huang W, Ginis I. Hydrological modeling of storm runoff and snowmelt in Taunton River Basins by applications of HEC-HMS and PRMS models. *Natural Hazards*. 2018;; p. 179-199.
39. Koneti S, Sunkara SL, Sarathiro P. Hydrological Modeling with Respect to Impact of Land-Use and Land -Cover Change of the Runoff Dynamics in Godavari River Basin Using the HEC-HMS Model. Centre for Earth Ocean and Atmospheric Sciences, University of Hyderabad. 2018;; p. 2-17.

40. Kavim Abbaspour RSSAVMFaLC. *Integrated Soil and Water Management. In International SWAT Conference ; 2018; Barcelona, Basel, Beijing, Wuhan, Belgrado.*
41. Elham Rouholahnejad KCA. *Water resources of the Black Sea Basin at high spatial and temporal resolution. Water Resources Research. 2014;; p. 2-21.*
42. Papagiannaki K. *Análisis Holístico del impacto de las Precipitaciones. Barcelona;; 2014.*
43. Amengual. *A hydrometeorological modeling study of a flash-flood event over Catalonia Spain. Journal of Hydrometeorology. 2007;; p. 282-303.*
44. Molina C. *Lluvias de Barro registradas el 7 de enero de 1979 en el Sudeste de la Península Ibérica. Anuales de Ciencias. 1979;; p. 103-111.*
45. Galiano S. *Implementación del modelo Transit-Oriented Development (TOD) en la ciudad de Alicante Valencia: Congreso de Ingeniería del transporte; 2016.*
46. Patricova. *Generalitat Valenciana. [Online].; 2015. Available from: <http://politicaterritorial.gva.es/es/web/planificacion-territorial-e-infraestructura-verde/patricova-plan-de-accion-territorial-de-caracter-sectorial-sobre-prevencion-del-riesgo-de-inundacion-en-la-comunitat-valenciana>.*
47. Seguido M. *La comprensión del riesgo de inundación a través del trabajo. Vegueta. Anuario de la Facultad de Geografía e Historia. 2018;; p. 10-31.*
48. Sorooshian My. *Efecto de los errores de muestreo de lluvia en las simulaciones de inundaciones repentinas del desierto New York: American Geophysical Union; 1994.*

10
Recibido: 2020/07/25
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

VULNERABILIDAD Y RIESGO CLIMÁTICO TERRITORIAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA, PROVINCIA DEL AZUAY

VULNERABILITY AND TERRITORIAL CLIMATE RISK IN THE MACHÁNGARA RIVER SUBWAY, PROVINCE OF AZUAY

Mena Johnny¹, Alquina Yessenia¹, Palacios Teresa^{2*}

¹Investigador, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, ECUADOR

²Investigador, UNIVERSIDAD DE ALICANTE, ESPAÑA

*Corresponding: tapalacios@uce.edu.ec

RESUMEN

Diversos estudios de cambio climático realizados en Ecuador han mostrado que en los últimos años ha existido retroceso en los glaciares producto del aumento de la temperatura, además se ha evidenciado la degradación y desertificación de páramos, y el incremento en la frecuencia de eventos extremos. En distintos lugares del país se han desarrollado varias iniciativas dirigidas a la adaptación y mitigación al cambio climático. Este artículo tiene como objetivo analizar el riesgo climático de lluvias intensas en la subcuenca del río Machángara en Azuay, para lo cual se utilizó dos escenarios, actual y futuro (RCP 4.5). Desarrollando indicadores para evaluar el riesgo climático, el cual está conformado por amenaza, exposición y vulnerabilidad, y clasificándolos a cada uno de ellos en cinco categorías: muy alta, alta, moderada, baja y muy baja. Evidenciando que la zona alta de la subcuenca posee un riesgo climático de muy alto a moderado ante los efectos del cambio climático.

Palabras clave: Riesgo, climático, vulnerabilidad, río Machángara, Azuay.

ABSTRACT

Various studies on climate change carried out in Ecuador have shown that in recent years there has been a retreat in glaciers as a result of the increase in temperature, in addition there has been evidence of degradation and desertification of moorlands, and the increase in the frequency of extreme events. Various initiatives have been developed in different parts of the country aimed at adapting and mitigating climate change. The objective of this article is to analyze the climatic risk of heavy rains in the sub-basin of the Machángara River in Azuay, for which two scenarios were used, current and future (RCP 4.5). Developing indicators to assess climate risk, which is made up of threat, exposure and vulnerability, and classifying each of them into five categories: very high, high, moderate, low and very low. Evidence that the upper area of the sub-basin has a very high to moderate climate risk from the effects of climate change.

Keywords: Risk, climate, vulnerability, Machángara river, Azuay.

INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), establece que para finales de este siglo los impactos ocasionados por el cambio climático aumentarán gradualmente, produciendo variaciones en los patrones de precipitación, mayor intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos y exacerbación de fenómenos naturales como el Niño y la Niña (IPCC, 2014).

Según el Quinto reporte del IPCC la influencia antropogénica en el sistema climático es innegable, debido al incremento en la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, emitidos desde la década de los cincuenta por los sectores industriales (AR5, 2014), como resultado del crecimiento económico y demográfico. Además, señala que hay una gran confianza en que calentamiento global continuará y posiblemente se agudice en el siglo actual, concluyendo que cuanto mayor sea la perturbación humana sobre el clima, mayores serán los riesgos de impactos graves, generalizados e irreversibles en los sistemas humanos y naturales, y más perdurables serán los cambios en todos los componentes del sistema climático (IPCC, 2014).

Los sistemas naturales y humanos han demostrado ser sensibles al cambio climático. En muchas regiones, las cambiantes precipitaciones o el derretimiento de nieve y hielo han alterado los sistemas hidrológicos, afectando así a los recursos hídricos en términos de cantidad y calidad (IPCC, 2014), ocasionando impactos como (PACC, 2009):

En los últimos años, Ecuador y varias naciones del mundo han acordado acciones internacionales, enfocadas a la adaptación y mitigación al cambio climático, brindando pautas para generar planes y mecanismos de coordinación institucional, desarrollando proyectos de investigación relacionados al cambio climático y sus posibles afectaciones a variables sociales, económicas, ambientales, y de gobernanza, para orientar estrategias enfocadas a una resiliencia.

En cuanto a los impactos del cambio climático que se han observado en Ecuador se encuentra la alteración del balance hidrológico, que ha dificultado las actividades productivas, el abastecimiento para el suministro de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica y conservación de ecosistemas (PACC, 2009).

Con todos los antecedentes mencionados, el presente estudio tiene como objeto evaluar de la vulnerabilidad y riesgo climático que afectan a las poblaciones ubicadas en la subcuenca del río Machángara en la provincia del Azuay. Partiendo de la recolección de información secundaria cualitativa y cuantitativa de fuentes oficiales como el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Sistema Nacional de Información (SIN), los catálogos de metadatos del país, entre otros. A partir de esta información se identificaron indicadores cualitativos y cuantitativos que permiten evaluar la vulnerabilidad ante efectos del cambio climático en la zona de estudio, estos fueron comprados con fuentes globales de información sobre desastres naturales y clima.

ÁREA DE ESTUDIO

La subcuenca del río Machángara se encuentra ubicada en la provincia del Azuay y Cañar, forma parte de la cuenca del río Paute de la vertiente del Amazonas, tiene un área aproximada de 325 km² dividida en tres microcuencas: alta y baja del Machángara, media del río Chulco, esta vertiente se origina a una altura aproximada de 4400 msnm y descarga sus aguas en el río Cuenca a una altitud aproximada de 2400 msnm. Además, se encuentra ubicada dentro de tres regiones bioclimáticas (páramo muy lluvioso, lluvioso subtemperado y muy húmedo temperado), y su temperatura promedio oscila de 7°C en las zonas altas y de 13°C en zonas bajas (MAE- AICCA, 2018).

La investigación tomó como unidad de análisis a la unidad parroquial, en la cual se identificó a 13 parroquias que conforman la subcuenca del río Machángara, como se muestra en la Figura 1.

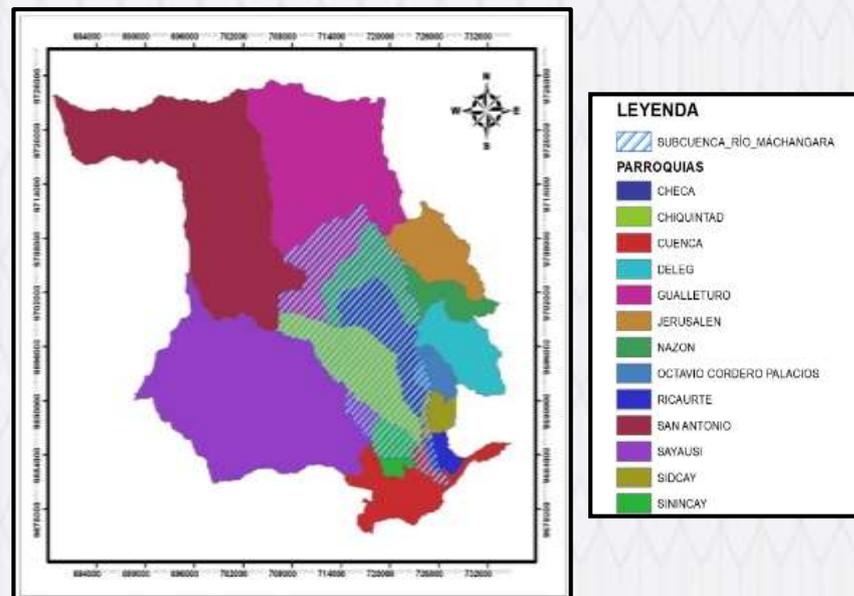


Figura 1 Parroquias de la subcuenca del río Machángara.

Los valores obtenidos evidencian que existen tres parroquias (Jerusalén, San Antonio y Deleg) que dentro de la subcuenca ocupan una superficie menor al 1% del área total de la misma, por lo que para el estudio se decidió prescindir de éstas y trabajar únicamente con las 10 parroquias restantes: Checa, Chiquintad, Octavio Cordero Palacios, Ricaurte, Sayausi, Sidcay, Sinincay, Cuenca, Nazon y Gualleturo.

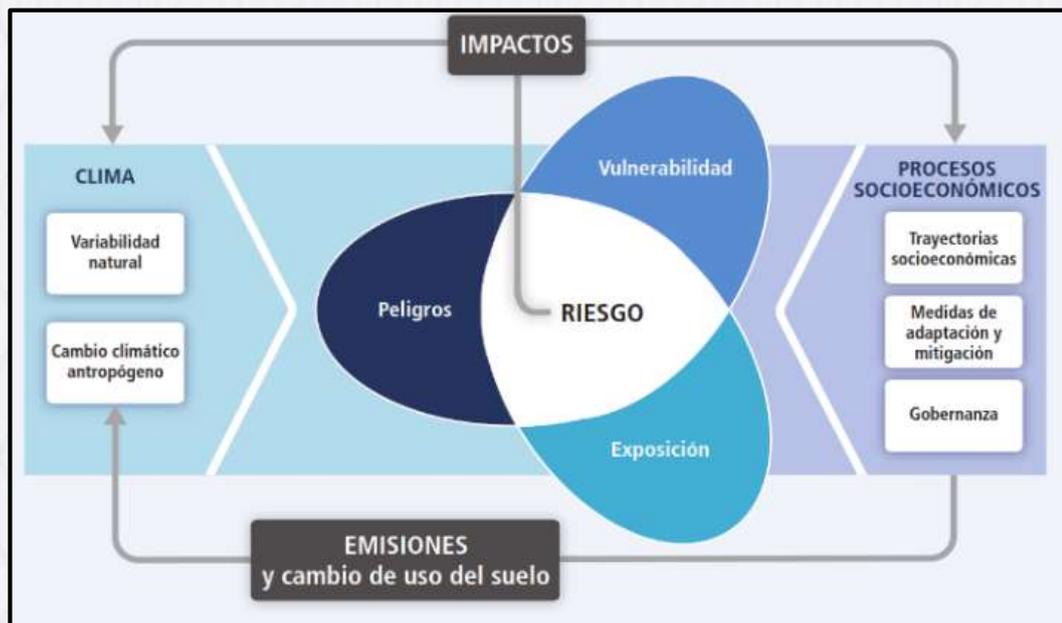
METODOLOGÍA

Delimitación de la Cuenca: La subcuenca del río Machángara y red de drenaje se calculó en base al modelo digital del terreno, utilizando como referencia los niveles del sistema Pfafstetter (SENAGUA, 2009) que es una metodología que describe la anatomía local y regional de la red hidrográfica de drenaje, utilizando una codificación jerarquizada con el fin de relacionar unidades internas y colindantes. Por lo tanto, comparando la zona de estudio con el nivel 5 Pfafstetter, se puede decir que la delimitación de la subcuenca es confiable debido que se encuentra de acuerdo con el margen de las unidades hidrológicas.

Ecuación de Riesgo climático: Para la estimación de la vulnerabilidad y el riesgo climático territorial, se utilizó la metodología presentada en la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador (TCN) y el quinto reporte de la IPCC del año 2014 (AR5, por sus siglas en inglés); que abordan a las dimensiones territoriales como factores fundamental para evaluar los efectos del cambio climático, englobando a los peligros existentes de los fenómeno meteorológicos extremos y el resultado de la interacción de la susceptibilidad al daño y el grado de exposición de los sistemas humanos y naturales, como se muestra en la figura 2, dando como resultado la siguiente ecuación (1), (MAE, 2017):

$$\text{Riesgo climático} = f(\text{Amenaza, Exposición, Vulnerabilidad})$$
$$\text{Vulnerabilidad} = f\left(\frac{\text{sensibilidad}}{\text{capacidad adaptativa}}\right)$$

$$\text{Riesgo climático} = A \times E \times \frac{S}{Ca}$$



Fuente: (IPCC, 2014)

Figura 2 Interacción de las variables, para cálculo del riesgo climático.

Identificación de la Amenaza climática actual y futura: La amenaza climática que se utilizó para el análisis del riesgo climático actual y futuro (RCP 4.5) son las lluvias intensas, debido que el área de estudio ha presentado en los últimos años temporadas anormal con exceso y déficit de precipitación en periodos extendidos, que provocan la aparición de impactos como inundaciones, deslizamientos, tempestades, entre otras (FAO-GCI, 2017).

Amenaza climática actual: La incidencia actual de las lluvias intensas en el área de estudio, se la estimo con los registros hidrometeorológicos de 14 estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) que disponía de una serie de datos de 30 años desde 1985-2015, a estos datos se le dio un tratamiento estadístico a través del Rclimatol que contiene funciones para la homogenización, control de calidad y llenado de datos ausentes de las series climatológicas (Guijarro, 2018).

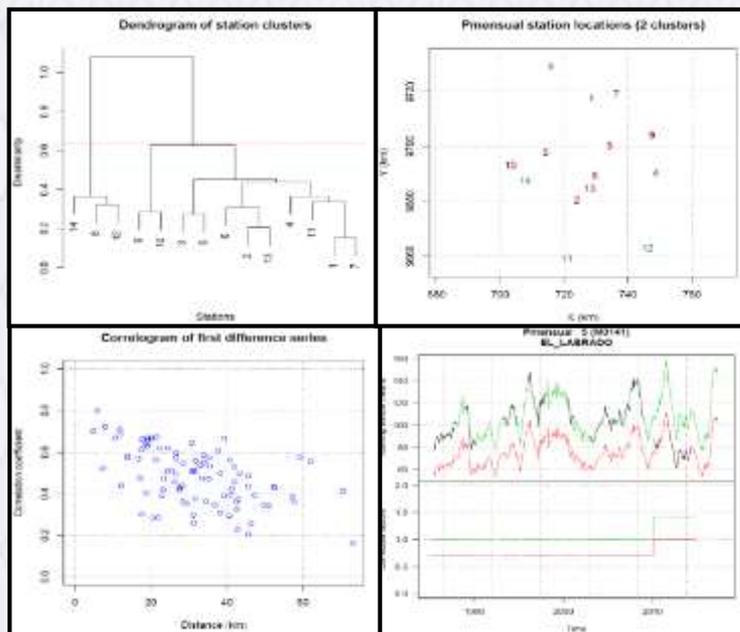
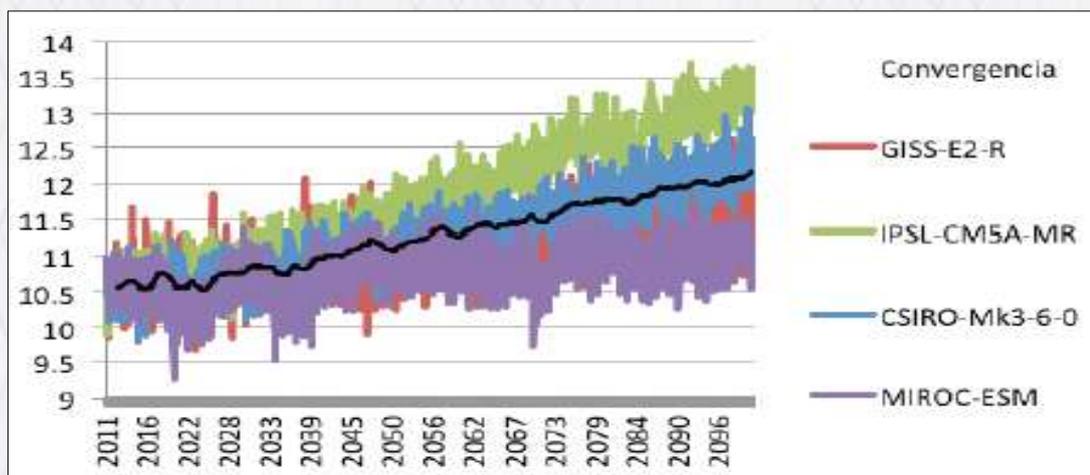


Figura 4 Correlación de la serie de datos observados

En la Figura 4 se presenta la siguiente correlación: a) Árbol de correlación por ponderación de las estaciones; b) diagrama de ubicación de las estaciones; c) Correlograma de las series; d) Reconstrucción de las series completas para ambos subperíodos homogéneos.

Los resultados obtenidos de Rclimatol fueron comprobados a través de métodos estadísticos como coeficiente de correlación, las pruebas de homogeneidad SMHT, el coeficiente de variación, curva doble masa, entre otras; con la finalidad de verificar la fiabilidad de la homogenización y llenado de datos. (Guajardo, P., Granados, R., Sánchez, C. & Díaz, p., (2014).

Amenaza climática futura: De acuerdo con el Quinto informe del IPCC (AR5, por sus siglas en inglés) a finales del siglo XXI la temperatura global superficial superara el 1,5 °C con respecto al período de 1850 y 1900 para todas las RCPs (RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5) excepto el RCP 2.6 (IPCC, 2014).



Fuente: (MAE, 2017)

Figura 5 Proyecciones climáticas para el período 2011-2100

Con lo expuesto anteriormente, se analizó la incidencia futura (2011 – 2040) de las lluvias intensas bajo el escenario RCP 4.5 que es una trayectoria de concentración intermedia de 650 ppm de CO² en la cual el forzamiento radiactivo se estabiliza en 4,5 W/m. en el mismo contexto se utilizó las proyecciones climáticas generadas como insumo de la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador donde se logra la reducción de escala de los modelos climáticos globales a un tamaño de celda (10 km X 10 km) para los cuatro escenarios de cambio climático en los periodos de 2011 – 2040; 2041- 2070; y 2071 – 2100 (MAE, 2017).

Indicador de lluvias intensas: Para el análisis de esta amenaza se utilizó el Índice simple de intensidad diaria (SDII, por sus siglas en inglés) que se compone por la precipitación total anual y el número de días con precipitación, como se muestra en la siguiente ecuación (2).

$$SDII_j = \frac{\sum_{Af}^{Ai} \text{Precipitación total anual}}{\sum_{Af}^{Ai} \text{días con precipitación al año} > 1 \text{ mm}}$$

Debido a que la investigación tiene un enfoque multianual la ecuación fue adaptada al período de los datos meteorológicos.

Para el escenario actual los resultados obtenidos fueron comparados con el sistema de inventario de efectos de desastres conseguidos de fuentes globales como DesInventar que recopila la información sistemática sobre la ocurrencia de desastres de pequeño, mediano y gran impacto ocurridos en América Latina desde la década de los 90, contiene registros a escala local y regional (DESINVENTAR, 2019), adicional a este indicador de apoyo se consideró la pendiente promedio del área de estudio con el fin de identificar las áreas con pendientes superiores a 45° y que son propensas a deslizamientos.

Factor de Exposición: La selección del elemento expuesto se realizó considerando que este no sea modificable en el tiempo y que tenga un alto grado de influencia tanto en el sistema humano como natural, siendo éste la red de drenaje de la subcuenca del río Machángara, es así que se procedió a calcular la densidad de drenaje a nivel parroquial, mediante la determinación de la red hidrológica de orden de la portante a partir del cálculo del número de Strahler, el cual proporciona una clasificación de las corrientes de acuerdo al grado de bifurcación de la subcuenca del río Machángara. (Doffo, N. & Bonorino, G., 2005)

$$\sum \frac{Nu \times \sum L_{Nu}}{A}$$

Donde:

Nu: Orden del aportante; L_{nu}: Longitud de la aportante (Km); A: Área Parroquial (km²).

Factor de Vulnerabilidad: Se calculó con la relación de la sensibilidad y la capacidad adaptativa territorial considerada en la ecuación (1), tomando como base indicadores socioeconómicos y ambientales del registro de datos de instituciones nacionales como el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), Sistema Nacional de Información (SNI), y los catálogos de metadatos de las instituciones públicas. Con el propósito de obtener datos estadísticos confiables a nivel parroquial. (CIIFEN, 2018).

Indicador de Sensibilidad: En la selección de los indicadores se consideró características socioeconómicas y ambientales de las poblaciones sensibles a los eventos extremos del cambio climático. Tomando en cuenta estos aspectos, se seleccionaron los siguientes indicadores a evaluar: 1) Porcentaje de población con necesidades básicas insatisfechas; 2) Tasa de analfabetismo; 3) Densidad poblacional; 4) Porcentaje de población ocupada en actividades dependientes del clima (agricultura, ganadería, caza y silvicultura); 5) Porcentaje de hogares

que habitan en viviendas con características físicas inadecuadas; 6) Porcentaje de hectáreas con conflicto de uso de suelo; 7) Porcentaje de deforestación (INEC, 2010; MAE, 2017; Monterroso, 2012).

Indicador de Capacidad adaptativa: Estos indicadores se centraron en parámetros sociales y ambientales de protección, sin considerar parámetros políticos administrativos, debido que los planes de desarrollo y ordenamiento territorial del año 2018 a nivel parroquial no cuenta con información de referencia sobre medidas y acciones de adaptación y mitigación ante los efectos del cambio climático, por lo que se seleccionaron los siguientes indicadores a evaluar: 1) Porcentaje de población de 12 años o más por aportación o afiliación al seguro social, 2) Tasa alfabetismo, 3) Porcentaje de viviendas con eliminación de aguas servidas por la red pública de alcantarillado, 4) porcentaje de viviendas con servicio eléctrico de empresa pública, 5) Porcentaje de cobertura de bosque y vegetación protectora (MAE, 2017; INEC, 2010; SIN; 2010).

Tratamiento Estadístico de la Información: El enfoque propuesto para la investigación requiere del manejo de varios datos que conforman los indicadores e índices que fueron incluidos en la ecuación de riesgo climático. Con la finalidad de conservar un orden de la información a lo largo de la investigación, se clasificaron en variables, indicadores, índices y factores.

Operación de normalización métrica: Dado que los indicadores e índices pueden ser medidos a diferentes escalas y unidades, no es posible realizar operaciones matemáticas para calcular un valor, por lo cual se procedió a normalizar todos los datos obtenidos mediante la siguiente ecuación (3).

$$X_{i,0 a 1} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Donde:

X_i , o a 1: Punto de datos normalizado. Adimensional, valor entre 0 y 1; X_i : Punto de datos individuales a ser transformado; X_{min} : Valor más bajo para el indicador.; X_{max} : Valor más alto para el indicador.

Operación de normalización categórica: Para estandarizar los resultados obtenidos de la normalización métrica, se aplicó en primera instancia una distribución continua debido a que se pretende describir la probabilidad de los posibles valores de las variables aleatorias en un conjunto de valores conocidos, a dicho resultado se aplicó una normalización categórica (distribución discreta), cuyo resultado son números enteros sucesivos en el rango de 1 a 5 normalizado es decir que los valores obtenidos en los factores adoptarán valores categóricos distribuidos en cinco clases de evaluación como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Valores métricos del indicador- categórico. Fuente. (GIZ, 2017)

Niveles de clases	Descripción
5	Critica o muy alta (sistema ya no funciona)
4	Bastante negativa o alta
3	Neutral o moderada
2	Bastante positiva o baja
1	Óptima o muy baja (sin mejora necesaria o posible)

En el cálculo de probabilidad de variables continuas existen diversos métodos de distribución. Para la investigación se consideró la distribución beta ya que es adecuada para variables aleatorias en intervalos de 0 a 1, lo que la hace apropiada para modelar proporciones. Además, el principal recurso de esta distribución es el ajuste a diferentes distribuciones empíricas, debido que adopta formas diversas dependiendo de los valores de los parámetros. (FAO-GCI, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez validada la información de los resultados obtenidos por el Rclimatol, se procedió al cálculo de las isoyetas e isotermas para el período observado 1985 – 2015, el mapa de isoyetas se la obtuvo mediante la técnica de interpolación geoestadística kriging presentando valores de precipitación acumulada promedio multianual de 877 mm al 1215 mm, y el mapa de las isotermas se la se calculó mediante la técnica de interpolación de distancia inversa ponderada (IDW) obteniendo temperaturas medias de 8,8°C y 16,3°C. Estos valores resultantes del área de estudio son similares al estudio realizado por (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2014) en su Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial, además mencionan que en el área existe la presencia de dos ciclos lluviosos, el primero de ellos en el mes de abril y el segundo en el mes de octubre, y temperaturas anuales entre 8°C en el páramo andino y 15°C en la zona media y baja de la subcuenca del río Machángara.

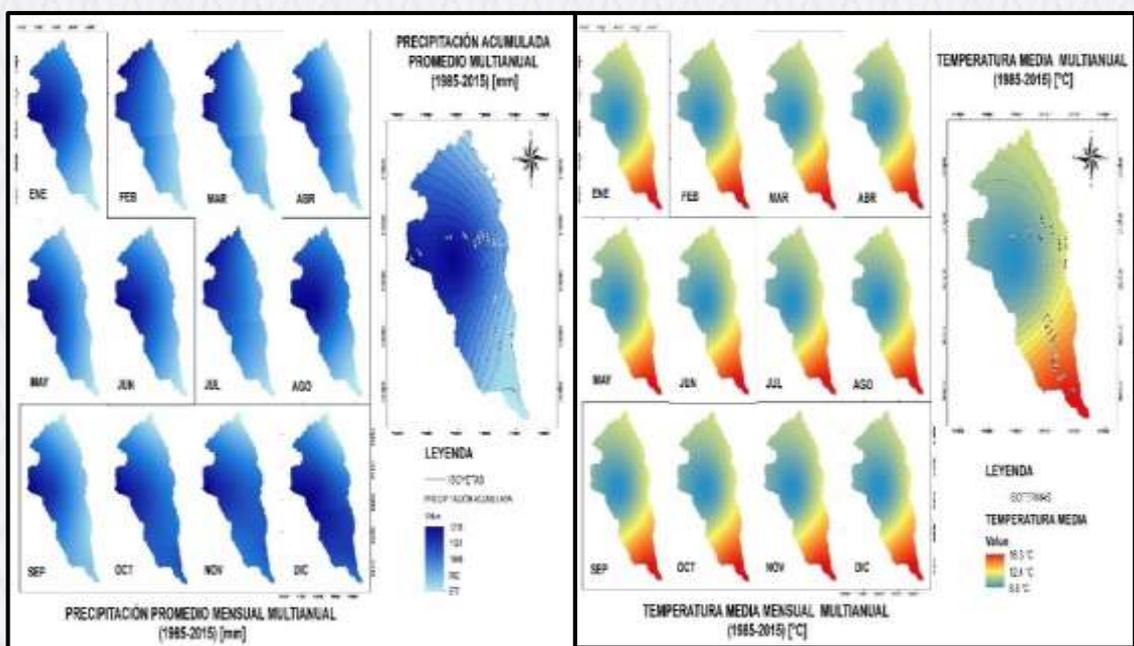


Figura 6 Mapas de isoterma e isoyetas de la subcuenca del río Machángara del período 1985-2015.

En cuanto a los deltas de variación promedio de precipitación y temperatura entre el escenario actual y futuro (RCP 4.5), se obtuvo que para la precipitación anual exista un incremento promedio de 3,43% y una temperatura media entre 0,5°C a 1°C en el escenario RCP 4.5 en el período de 2016-2040, según (Armenta, et al., 2014) en su estudio, los incrementos de temperatura media para el período del 2011 al 2040 sería como límite máximo 1°C para los cuatro escenarios. Para las variables antes mencionadas, según (MAE, 2017) en el Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, los deltas de variación promedio para el escenario RCP 4.5 oscilan alrededor 4,05% (precipitación) y 0,65 °C (temperatura) para la región de la sierra.

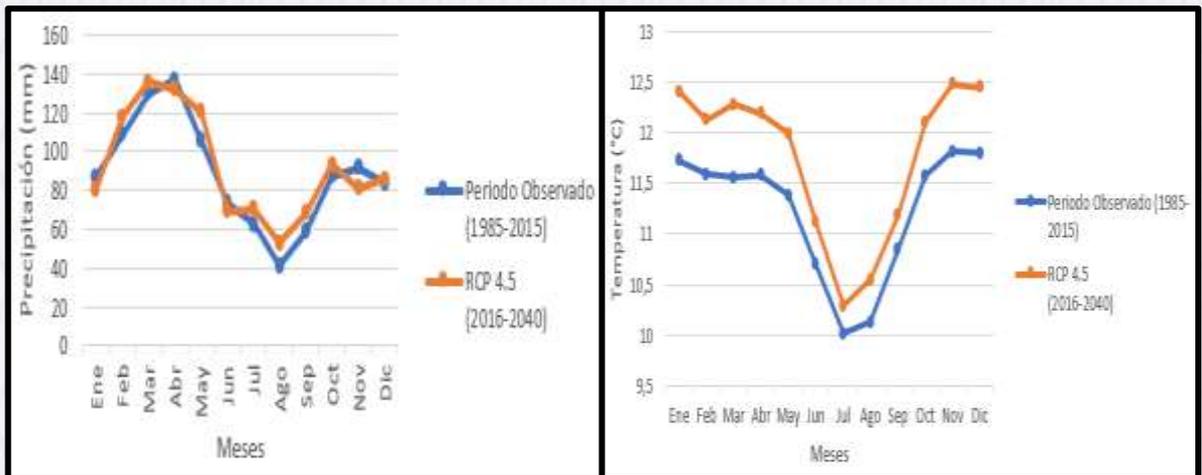


Figura 7 Variaciones de los valores de temperatura media y precipitación en los escenarios actual (1985- 2015) y futuro RCP 4.5 (2016 – 2040).

Factor de Amenaza Climática (Lluvias intensas)

La amenaza de lluvias intensas actuales y futuras RCP 4.5 en la subcuenca del río Machángara se calculó considerando el índice simple de intensidad diaria (SDII) que indica la cantidad de precipitación promedio en un día, los valores promedio en el escenario observado (1985 – 2015) son de 4,89 mm/día y 4,15 mm/día en el escenario RCP 4.5 (2016 – 2040). Utilizando como referencia la base de datos de (DESINVENTAR, 2019), se obtuvo que las parroquias con mayor número de eventos extremos causadas por las lluvias intensas en el período 1985-2015 son Sayausi, Sinincay, Gualleturo y Chiquintad. Además, se debe acotar que el área presenta pendientes superiores a 45° siendo propensas a sufrir impactos del cambio climático.

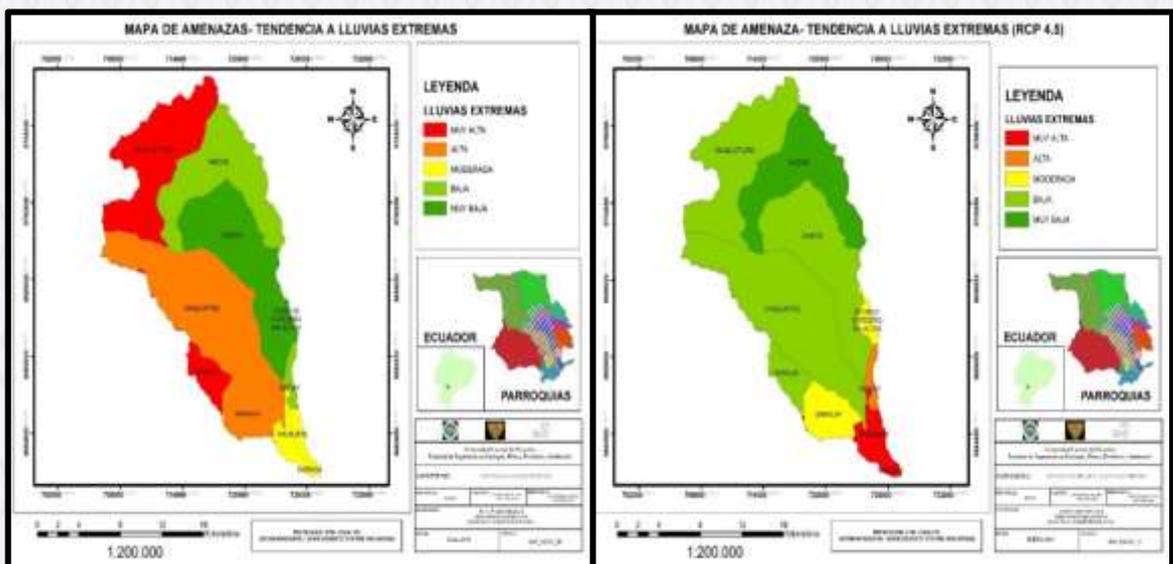


Figura 8 Mapa de tendencia a lluvias extremas en la subcuenca del río Machángara: a) Escenario actual; b) Escenario RCP 4.5.

Factor de Exposición

En la determinación del elemento expuesto de la subcuenca del río Machángara se realizó el análisis morfométrico de la misma, determinando características como área, longitud total de los cauces, el número de orden, la densidad de drenaje y la relación de bifurcación. En base al estudio desarrollado por (CIIFEN, 2018) en el Chinchiná-Colombia, se consideró utilizar la densidad de drenaje adaptado a la unidad de análisis (parroquial) de la subcuenca del río Machángara como elemento expuesto. Obteniendo que la parroquia Ricaurte tiene una exposición muy baja (nivel 1), la parroquia Sayausi una exposición baja (nivel 2), la parroquia de Cuenca una exposición muy alta (nivel 5). La relación de bifurcación de 5.96 según (Docampo, et al., s.f.) indica que tiene una torrencialidad moderadamente alta, lo que provocaría un aumento sustancial del caudal de la subcuenca.

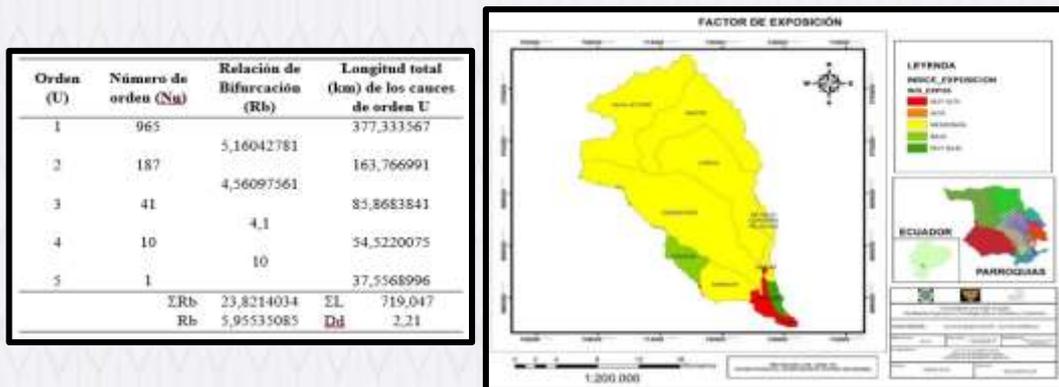


Figura 9 Factor de Exposición para amenaza de lluvias intensas y análisis morfométrico de la subcuenca.
Fuente: Elaboración Propia

Factor de Vulnerabilidad

Con la relación existente entre el componente de sensibilidad y capacidad adaptativa según la ecuación (1), se consideró indicadores ambientales y socioeconómicos para los índices de sensibilidad y capacidad adaptativa, los indicadores con mayor ponderación para el índice de sensibilidad son la deforestación y actividades económicas dependientes del clima (agricultura, ganadería, silvicultura y pesca) con 0,16; y la tasa de analfabetismo tienen un peso de 0,15. Para el índice de capacidad adaptativa los indicadores con mayor peso son cobertura de bosque y vegetación protectora con 0,24; y el porcentaje de personas que saben leer y escribir con 0,21.

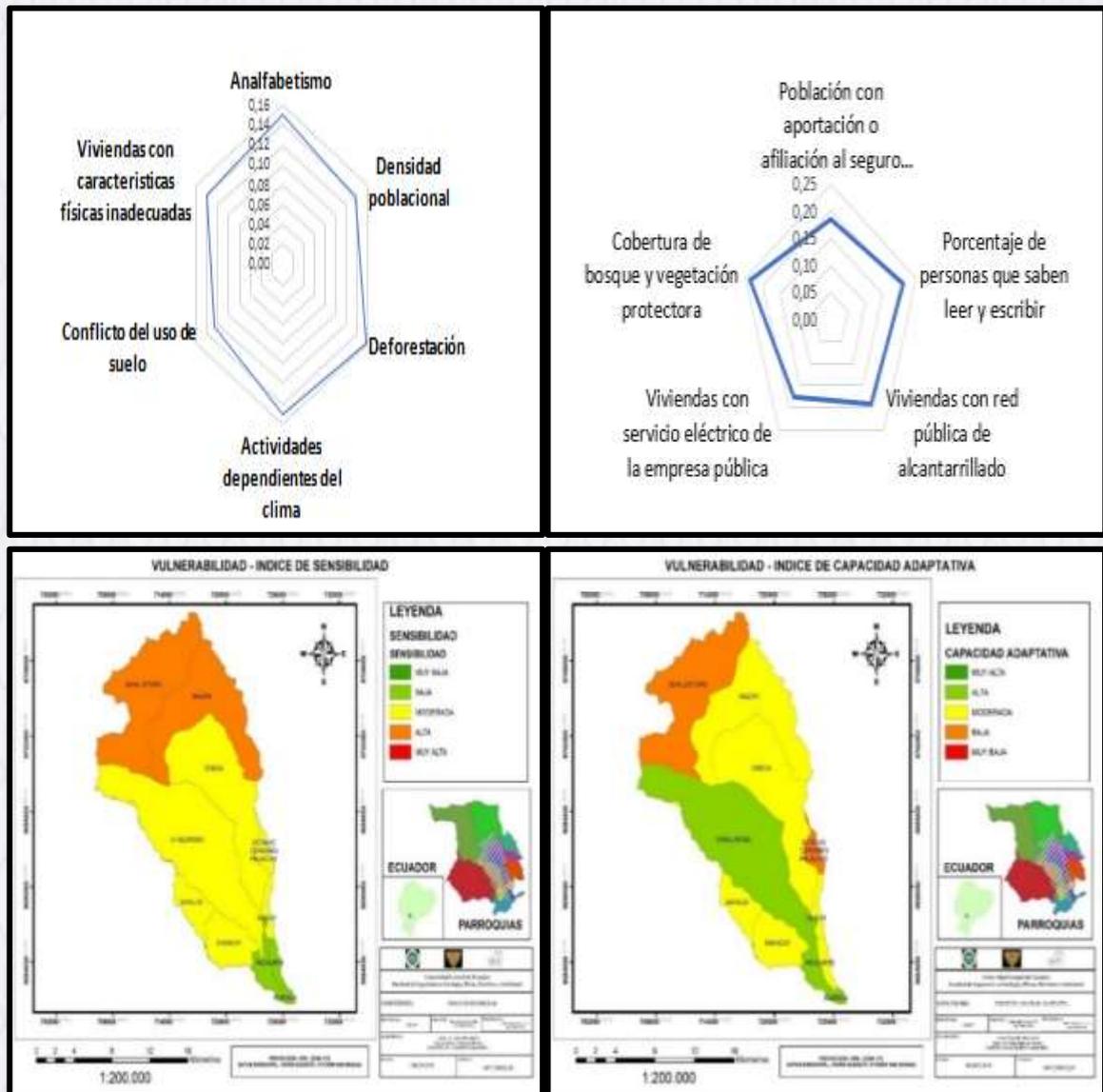


Figura 10 Mapas e indicadores del índice de sensibilidad y capacidad adaptativa de la subcuenca del Río Machángara.

Con los resultados obtenidos de sensibilidad y capacidad adaptativa, se calculó el factor de vulnerabilidad territorial dando como resultados que la parroquia de Gualleturo tiene una vulnerabilidad muy alta (nivel 5), las parroquias de Nazon y Octavio Cordero Palacios presentan una susceptibilidad moderada (nivel 3) y el resto de las parroquias se encuentran categorizadas en niveles bajos y muy bajos (nivel 1 y 2), ante los impactos de los eventos meteorológicos extremos. En concordancia con la investigación de (Jiménez, 2018) en su estudio, la zona alta de subcuenca presenta una alta vulnerabilidad (nivel 4 a 5), mientras que las zonas bajas de la subcuenca se encuentran con niveles bajos de vulnerabilidad (nivel 1 a 2).

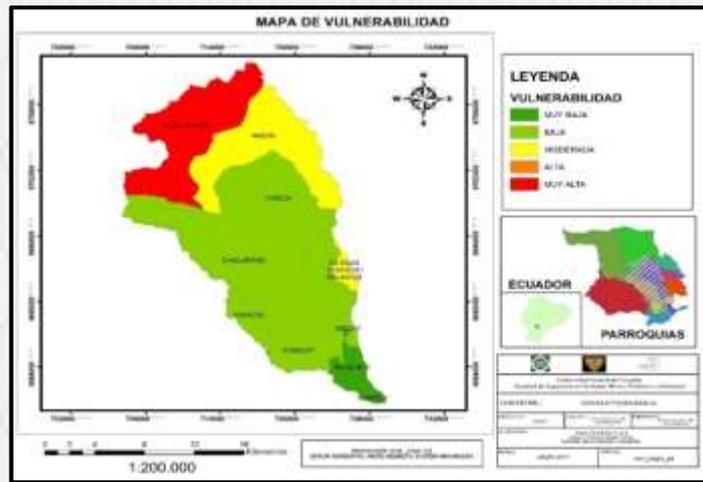


Figura 11 Vulnerabilidad territorial de la subcuenca del río Machángara.

Riesgo climático territorial

Considerando todos los componentes de la ecuación (1) de riesgo climático para lluvias intensas, se obtuvo que el riesgo en el escenario actual y RCP 4.5 la parroquia de Gualleturo mantiene el nivel alto de riesgo (nivel 5), la parroquia de Ricaurte y Cuenca están en el nivel bajo de riesgo (nivel 2) esto se debe a la capacidad adaptativa que tienen, mientras que las parroquias de Chiquintad y Saysusi se mantiene en el nivel moderado (nivel 3) en los dos escenarios.

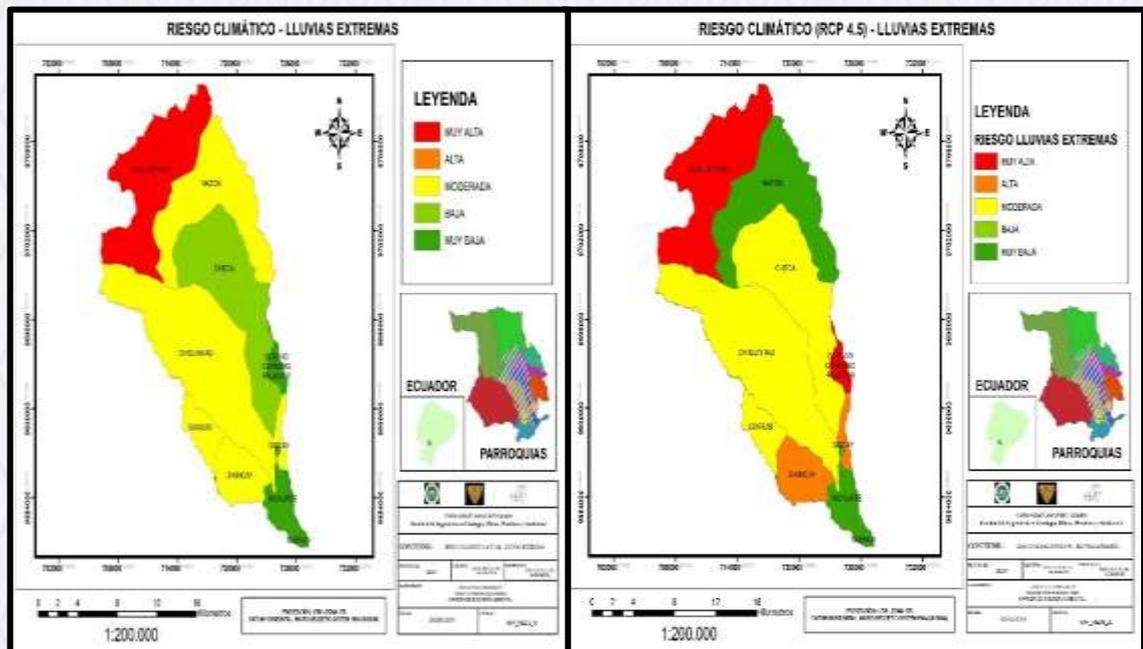


Figura 12 Riesgo climático- Lluvias intensas: a) Escenario actual; b) Escenario RCP 4.5.

CONCLUSIONES

El estudio realizado en la subcuenca del Río Machángara ubicada en la provincia del Azuay y Cañar de la república del Ecuador, para la estimación del riesgo climático territorial para el escenario observado o actual (1985 – 2015) y el escenario futuro RCP 4.5 (2016 – 2040), se utilizó en total 18 indicadores, de los cuales 1 componen el factor de amenazas (Índice simple de intensidad diaria – SDII), 1 el factor de exposición (densidad de drenaje a nivel parroquial) y 12 forman parte del factor de vulnerabilidad (7 de sensibilidad y 5 de capacidad adaptativa), además 2 indicadores de apoyo (porcentaje de pendientes y el número de eventos extremos).

El Índice simple de intensidad diaria (SDII, por sus siglas en inglés) que indica la cantidad promedio de precipitación en un día, con apoyo de la herramienta DESINVENTAR se obtuvo que las parroquias ubicadas en la parte alta de la subcuenca del río Machángara son propensas a presentar impactos negativos ante las lluvias intensas en el escenario actual (1985 – 2015) y futuro RCP 4.5 (2016 – 2040). La herramienta de apoyo DESINVENTAR no sirve para los escenarios climáticos futuros debido a su alta dependencia de la información proporcionada por los medios de comunicación. Por otra parte, con los resultados obtenidos del análisis morfométrico de la subcuenca del río Machángara, se obtuvo una relación de bifurcación 5,9 indicando que está tiene una torrencialidad moderadamente alta, lo que podría ocasionar un incremento sustancial en el caudal de los ríos producto de las precipitaciones.

La estimación del riesgo climático en el estudio permitió conocer el nivel de riesgo territorial de cada parroquia, ante la amenaza lluvias intensas actuales (1985 – 2015) y futuras RCP 4.5 (2016 – 2040), obteniendo que la parroquia de Gualleturo tiene un nivel 5 de riesgo con muy alta, la parroquia de Ricaurte y Cuenca están en el nivel bajo de riesgo (nivel 2), debido a la alta capacidad adaptativa que tienen, mientras que las parroquias de Chiquintad y Sayausi se mantiene en el nivel moderado de riesgo (nivel 3) en los dos escenarios.

Cabe mencionar que estos resultados dependen del grado de sensibilidad y capacidad adaptativa de cada parroquia. Permitiendo a los Gobiernos Autónomos Descentralizados locales conocer aquellos factores que influyen negativamente en su jurisdicción y de esa manera tomar acciones de mitigación y adaptación para afrontar el cambio climático.

REFERENCIAS

1. SENAGUA. Delimitación y codificación de unidades hidrológicas en el Ecuador al 1:250000. [Online].; 2009 [cited 2018 Noviembre 24. Available from: <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/delimitacion-codificacion-Ecuador.pdf> [.
2. DESINVENTAR.org. Sistema de Inventario de efectos de desastres. [Online].; 2019 [cited 2019 Enero 14. Available from: <https://www.desinventar.org/es/software>.
3. FAO- GCI. Proyecto de Ganadería Climáticamente Inteligente: Reporte Metodológico. [Online]. Quito- Ecuador; 2017 [cited 2018 Agosto 30. Available from: <https://www.ganaderiaclimaticamenteinteligente.com/archivos/Metodolog%C3%ADa%20y%20Herramientas%20para%20An%C3%A1lisis%20Vulnerabilidad.pdf>.
4. GIZ. El libro de la Vulnerabilidad: Conceptos y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad. [Online].; 2017 [cited 2019 Febrero 09. Available from: https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=269.
5. Armenta G, Delgado J, Rodríguez A, Ruiz J. Escenarios de cambio climático para precipitación y temperatura en Colombia. [Online].; 2014 [cited 25 Enero 2019. Available from: <http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/escenarios/escenarios-rcp-2014.pdf>.

6. Ministerio del Ambiente. Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático. 2017..
7. DESINVENTAR. Sistema de Inventario de efectos de desastres. [Online].; 2019 [cited 2019 Enero 14. Available from: <https://www.desinventar.org/es/software>.
8. CIIFEN. Diagnóstico sobre riesgo climático y análisis de los sectores prioritarios para la mitigación al cambio climático a nivel provincial. ; 2018.
9. Docampo L, de Bikuña B, Rico E, Rallo A. Morfometría de las cuencas de la red hidrográfica de Bizkaia (País Vasco, España). [Online]. [cited 2019 Febrero 24. Available from: <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-5-1-p-51.pdf>.
10. Jiménez S. Estimación de la Vulnerabilidad de los riesgos del cambio climático en una cuenca de montaña. [Online].; 2018 [cited 2018 Octubre 2. Available from: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30399>.
11. WMO. Índice normalizado de precipitación: Guía del usuario. [Online].; 2012 [cited 2019 Enero 20. Available from: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1090_es.pdf.
12. MAE- AICCA. Proyecto Andino de Adaptación a los Impactos del Cambio Climático sobre el Agua. Informe País: Versión 7. Quito.; 2018.
13. CIIFEN. Guía metodológica para análisis de vulnerabilidad ante eventos climáticos de la cuenca del río Chinchiná, Colombia. Guayaquil: Publiasesores Cia. Ltda.; 2018.
14. Guijarro J. Rclimatol: Climate Tools (Homogenization of climatic series with Climatol). [Online].; 2018 [cited 2018 Noviembre 07. Available from: http://www.climatol.eu/homog_climatol-en.pdf.
15. IPCC. Climate Change: The Physical Science Basis. [Online].; 2014 [cited 2019 Febrero 5. Available from: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf.
16. Askoa G. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Boletín de la A.G.E. 2004;(38): p. 311-329.
17. Cruz J, Patxi T. Análisis cuantitativo de la red de drenaje de la cuenca del río Deba. [Online].; 1983 [cited 2019 Febrero 04. Available from: <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur06/O6cruz/O6cruz.htm>.
18. Mongil J. El número de Strahler. [Online].; 2017 [cited 2019 Febrero 08. Available from: <http://ghidrologia.blogspot.com/2017/02/el-numero-de-strahler.html>.
19. ESRI. Cómo funciona Clasificación de arroyos. [Online].; 2018 [cited 2019 Febrero 07. Available from: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-stream-order-works.htm>.
20. Delgadillo A, Ada M. Morfometría de cuencas. [Online]. [cited 2019 Enero 05. Available from: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/MORFOMETR%CDA%20DE%20CUENCA%20S.pdf>.
21. Doffo N, Bonorino G. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: Un análisis estadístico. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 2005; 60(1): p. 16-22.
22. Vences J. Construcción de un índice compuesto y aproximación para medir los cambios en el tiempo. [Online].; 2014 [cited 2019 Febrero 10. Available from: https://www.inegi.org.mx/rde/rde_12/doctos/rde_12_art6.pdf.

23. MAE-TOOLKIT. Cambio climático, principios, política y gestión, una guía para la acción ciudadana. 2015..
24. Kreft S, Eckstein D, Melchior I. Germanwatch. [Online].; 2017 [cited 2019 Enero 12. Available from: <https://germanwatch.org/sites/germanwatch.org/files/publication/16411.pdf>.
25. González M, Jurado E, González S, Aguirre O, Jiménez J, Navar J. Cambio climático mundial: origen y consecuencias. Ciencia UANL. 2003; VI(3): p. 377-386.
26. Isaza J, Campos D. Cambio climático: Glaciaciones y calentamiento global Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano; 2007.
27. IPCC. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. R.K. Pachauri ed. Ginebra: L.A. Meyer; 2014.
28. FAO- GCI. Proyecto de Ganadería Climáticamente Inteligente: Reporte Metodológico. Quito-Ecuador.; 2017.
29. Naciones Unidas. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. [Online].; 1992 [cited 2018 Octubre 09. Available from: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
30. PACC. Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo Quito: Manthra Editores; 2009.
31. IPCC. Climate Change: The Physical Science Basis. [Online].; 2013 [cited 2019 Febrero 5. Available from: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf.
32. Alianza Clima y Desarrollo. El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC ¿Qué implica para América Latina? [Online].; 2014 [cited 2019 Febrero 13. Available from: <https://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/12/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>.
33. Ministerio del Ambiente. Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador. Quito.; 2016.
34. Asamblea Nacional. Constitución de la República del Ecuador. 2008..
35. UNDP. Human Development Report 2007-2008: Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World. New York.; 2007.
36. Dorta P. Catálogo de riesgos climáticos en Canarias: amenaza y vulnerabilidad. Geographicalia. 2007;(51): p. 133-160.
37. Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible. [Online]. [cited 2019 Febrero 19. Available from: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>.
38. Campos D. Procesos del ciclo hidrológico San Luís Potosí: Universidad Autónoma de San Luís Potosí; 1998.
39. Gaona G, Quentin E, Labus J. Homogeneidad y variabilidad espacial de series meteorológicas del área del proyecto "Ciudad del Conocimiento - Yachay". AVANCES. 2013.
40. Arias O. ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO TEMPISQUE, GUANACASTE. [Online].; 2001 [cited 2019 Enero 20. Available from:

- https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2616/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
41. Guajardo P, Granados R, Sánchez C, Díaz p. *bas de homogeneidad de varianza a series de precipitación y temperatura e estaciones del estado de Veracruz y áreas aledañas*. [Online].; 2014 [cited 2019 Febrero 10]. Available from: <http://www.ommac.org/memoria2014/extensos/E2014092606.pdf>.
 42. INEC. *Censo poblacional del 2010*. 2010..
 43. Sistema Nacional de Información. *Consulta de indicadores y datos*. [Online].; 2010 [cited 2018 Diciembre 1]. Available from: <http://app.sni.gob.ec/web/menu/>.
 44. Monterroso A, Conde C, Gay C, Gómez J, López J. *Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México*. VIII Congreso de la Asociación Española de Climatología. 2012.; p. 881-890.
 45. Ministerio de Agricultura y Ganadería. *Sistema de Información Pública Agropecuaria*. [Online].; 2018 [cited 2018 Noviembre 15]. Available from: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>.
 46. Quishpe D. *Sistematización de experiencias de adaptación al cambio climático desarrolladas a nivel de cuencas hidrográficas en el Ecuador*. 2017..
 47. Magaña V. *Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático*. [Online].; 2013 [cited 2018 Octubre 20]. Available from: http://climasaludal.org/resources/images/public/avirtuales/cuarta_conferencia/140923_guia_metodologica.pdf.
 48. Ocampo O. *El cambio climático y su impacto en el agro*. *Revista de Ingeniería*. 2011;(33).
 49. Lampis A. *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición*. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*. 2013;(22).
 50. Hammill A. *Repositorio de indicadores de adaptación. Casos reales de sistemas de monitoreo y evaluación nacionales*. 2018..
 51. SchellInhuber H, Cramer W. *Avoiding Dangerous Climate Change*. [Online].; 2006 [cited 2018 Noviembre 3]. Available from: https://www.eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/publications/pdf/NAK_BOO_2006_01.pdf.
 52. CIIFEN. *Estimación del riesgo a sequías, heladas y otros impactos del cambio climático que pueden afectar al sector agrícola de la serranía del ecuador, y en las cuencas de los ríos Chone y Portoviejo*. 2009..
 53. Arreguín F, López M, Montero M. *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático: efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México*. 2015..
 54. Andrade G, Quishpe D. *Análisis de la sensibilidad del caudal aprovechable para generación hidroeléctrica del proyecto "El Tigre" ante los efectos del cambio climático y propuesta de medidas de adaptación*. 2016..
 55. Conde C, Saldaña S. *Cambio Climático en América Latina y el Caribe: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación*. *Ambiente y Desarrollo Descipma*. 2007; 23(40): p. 23-30.

11
Recibido: 2020/07/25
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA ADSORCIÓN DE PARACETAMOL E IBUPROFENO EN MAZORCA DE MAÍZ

NUMERICAL SIMULATION OF THE ADSORPTION OF PARACETAMOL AND IBUPROFEN ON CORN COB

Juela Quintuña Diego Marcelo^{1*}

¹ Investigador, UNIVERSIDAD DE CUENCA

*Corresponding: diego.juela@ucuenca.edu.ec

RESUMEN

El uso de adsorbentes naturales para la eliminación de contaminantes emergentes presentes en efluentes domésticos ha sido una tecnología muy estudiada en la última década. El presente estudio evaluó el proceso de biosorción en columnas para la remoción de paracetamol (PC) e ibuprofeno (IB) con residuos de mazorca de maíz (MM), utilizando el software Aspen Adsorption® V10. Los estudios se llevaron a cabo en sistemas mono-componentes y bi-componentes. En sistemas mono-componentes, el efecto del flujo de alimentación (desde 1,5 a 3,5 mL/min) y la altura del lecho (desde 20 a 40 cm) fue estudiado a través del análisis de la curva de ruptura. En sistemas bi-componentes se estudió la selectividad que tiene la MM por cada uno de los fármacos. Los resultados demostraron que el flujo de alimentación y la altura de lecho influyen significativamente en el rendimiento de la columna de adsorción. Los mayores tiempos de ruptura y saturación fueron obtenidos al flujo de alimentación más bajo (1,5 mL/min) y a la altura de lecho más alta (40 cm). Además, los estudios revelaron que la mazorca de maíz posee mayor afinidad por el ibuprofeno que por el paracetamol, tanto en sistemas mono-componentes y bi-componentes. El hecho puede deberse principalmente a las interacciones electrostáticas y la posibilidad de formación de puentes de hidrogeno entre los grupos funcionales del ibuprofeno y la mazorca de maíz.

Palabras clave: simulación, Aspen Adsorption, adsorción, paracetamol, ibuprofeno, mazorca de maíz.

ABSTRACT

The use of natural adsorbents for the removal of emerging pollutants present in domestic effluents has been a well-studied technology in the last decade. The present study evaluated the column biosorption process for the removal of paracetamol (PC) and ibuprofen (IB) with corn cob residues (CC), using the Aspen Adsorption® V10 software. The studies were carried out in single-component and bi-component systems. In single-component systems, the effect of flow rate (from 1.5 to 3.5 mL / min) and bed height (from 20 to 40 cm) was studied through breakthrough curve analysis. In bi-component systems, the CC selectivity for each of the pharmaceuticals was studied. The results demonstrated that the flowrate and the bed height significantly influence the performance of the adsorption column. The highest breakthrough and saturation times were obtained at the lowest flow rate (1.5 mL / min) and at the highest bed height (40 cm). Furthermore, studies revealed that corn cob has a greater affinity for ibuprofen than for acetaminophen, in both single-component

and bi-component systems. The fact may be mainly due to the electrostatic interactions and the possibility of formation of hydrogen bonds between the functional groups of ibuprofen and corn cob.

Keywords: simulation, Aspen Adsorption, adsorption, paracetamol, ibuprofen, corn cob

INTRODUCCIÓN

Uno de los contaminantes emergentes que ha generado especial preocupación son los productos farmacéuticos debido a su presencia en varios compartimentos ambientales, pero principalmente en aguas residuales. Los productos farmacéuticos son compuestos químicos de estructuras complejas y de origen sintético o natural, contiene principios activos destinados a contrarrestar efectos negativos en la salud de las personas y animales. La mayoría de medicamentos son destinados para consumo humano y algunos para uso en animales. Los fármacos llegan a las aguas residuales debido a la eliminación inadecuada de medicamentos caducados o no utilizados, la excreción de personas, pacientes y animales a través de la orina y las heces, residuos agrícolas, lixiviado de suelos, y basura doméstica y hospitalaria (Heberer, 2002; Patel et al., 2019). Al llegar estas aguas servidas a las plantas de tratamiento de aguas residuales, no existe una tecnología dentro de ésta desarrollado para eliminación de este tipo de contaminantes, por lo que su remoción no es completa (Gracia-Lor et al., 2012). Finalmente, estos fármacos llegan a depositarse en aguas donde existe vida marina. Sin bien los medicamentos tiene efecto positivos y beneficiosos en los seres humanos, el impacto es grande cuando estos fármacos llegan a aguas marinas donde los efectos que producen en ciertas especies marinas, recién se han empezado a estudiar en los últimos años.

Los efectos negativos sobre diversas especies marinas van desde alteración en la reproducción de peces expuestos a etinilestradiol (Jobling et al., 2004), selección de cepas resistentes en bacterias medioambientales expuestas a antibióticos vertidos de plantas fabricantes (Kristiansson et al., 2011), estimulación de la reproducción de mejillones zebra expuestos a diferentes ISRS, y reducción de la capacidad de depredación de una variante del róbalo expuesto a fluoxetina (Gaworecki and Klaine, 2008). Particularmente el paracetamol y el ibuprofeno son dos de los antiinflamatorios y antipiréticos más recetados y consecuentemente los más utilizados por la población (Diener, Schneider and Aicher, 2008). De no es de extrañar que el Paracetamol se haya encontrado en cuerpos de agua superficial y subterráneo en concentraciones mayores a 15.7 ug/l., en aguas residuales hospitalarias con 186,5 ug/L, y la más alta concentración ha sido detectado en efluentes de plantas de producción de fármacos por encima de 417,5 ug/l (Lin and Tsai, 2009), mientras que el ibuprofeno ha sido encontrado en efluentes de estaciones de aguas residuales con concentraciones en el rango de 2.94 a 36.17 ug/L, en aguas superficiales ha sido detectado en una concentración máxima de 3,4 ug/L (Boxall et al., 2004; Khazri et al., 2019).

Actualmente se están estudiando nuevas tecnologías para la remoción de estos contaminantes, entre ellas la tecnología de membranas, procesos avanzados de biomasa fija sobre lecho móvil, procesos de oxidación avanzada, la biosorción, por sus resultados y ventajas favorables. En el caso del tratamiento con membranas, biomasa fija y oxidación avanzada son procesos muy efectivos para la eliminación de estas sustancias, demostrando altos porcentajes de remoción. Sin embargo, hasta el momento son tecnologías muy costosas y por lo tanto económicamente inviables para la implantación como tratamiento terciario en una planta depuradora de aguas residuales. No obstante, la bioadsorción se presenta como una alternativa eficiente y de bajo costo debido al uso de adsorbentes naturales para eliminar contaminantes emergentes. Existen una gran cantidad de materiales procedentes de fuentes naturales que pueden ser usados como biosorbentes, entre estos se encuentran, los tallos de uva (Villaescusa et al., 2011), cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar, cáscara de maní, mazorca de maíz, cáscara de coco, fibra de coco, basura de bambú, café molido, tallos de plátano, entre otros (Zhou, Zhang and Cheng, 2015). La modalidad de biosorción en columnas de lecho fijo como sistema continuo han sido ampliamente estudiada en la última década, debido a su facilidad de escalado y diseño (Patel, 2019).

El uso de modelos matemáticos teóricos en los estudios de adsorción en columna de lecho fijo ha demostrado ser eficaz para el estudio del comportamiento del contaminante en el interior de la columna (Patel, 2019). Hasta la fecha se han desarrollado modelos matemáticos más realistas, con capacidad de predecir la concentración del contaminante a la salida de la columna (Shafeeyan, Wan Daud and Shamiri, 2014). Esto claramente representa un ahorro económico en el costo de los procesos operaciones, así como permite estudiar el efecto en el porcentaje de remoción del contaminante cuándo existe un cambio en las variables operacionales de la columna, sin la necesidad de llevar a cabo los estudios experimentales. Aspen Adsorption® es un software de simulación que incluye un conjunto de modelos matemáticos específicos para el proceso de adsorción en fase gaseosa y líquida. Actualmente ha sido usado para simular la adsorción de metales pesados como Cd^{+2} , Cu^{+2} (Soriano et al., 2016). Sin embargo, hasta la fecha no existen estudios previos de la simulación de productos farmacéuticos usando Aspen Adsorption®.

El principal objetivo de este estudio fue simular las curvas de ruptura de la biosorción de ibuprofeno y paracetamol en mazorca de maíz utilizando el software Aspen Adsorption®. Con esta investigación se estudió mediante la curva de ruptura, los mejores parámetros operacionales para obtener el rendimiento máximo de remoción. La influencia de la altura de la columna y flujo de alimentación fue estudiada, así como la selectividad del biosorbente en la remoción de estos productos farmacéuticos.

METODOLOGIA

Datos Experimentales

La simulación del proceso de biosorción de paracetamol (PC) e ibuprofeno (IB) en columnas de lecho fijo usando mazorca de maíz (MM) se realizó utilizando Aspen Adsorption® V10. Las propiedades físicas de la mazorca de maíz fueron determinadas por estudios previos y se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Datos obtenidos de la caracterización de los biosorbentes

Parámetro	Mazorca de maíz
Densidad Aparente (kg/m^3)	333,63
Densidad Real (kg/m^3)	815,5
Porosidad	0,5909
Tamaño de partícula (mm)	1,2

Consideraciones Generales

Los supuestos del modelo matemático para la adsorción de PC e IB en MM en fase acuosa fueron:

- ✓ Flujo pistón con dispersión axial.
- ✓ La presión de la fase líquida varía según el equilibrio del momentum del flujo laminar (con la caída de presión supuesta proporcional a la velocidad del flujo)
- ✓ La velocidad superficial de la solución varía a lo largo de la columna debido a la adsorción y esta incorporado en el balance de masa total.
- ✓ Las concentraciones molares de PC e IB se calculan a partir de los volúmenes molares. Se supone que la mezcla ideal ocurre en la fase líquida, por lo que el volumen molar es una función lineal de la composición.
- ✓ Se aplica una tasa de transferencia de masa concentrada, con una resistencia lineal de película en la fase sólida.
- ✓ Los coeficientes de transferencia de masa son constantes a lo largo del lecho adsorbente.

- ✓ La isoterma de adsorción fue descrita por el modelo de equilibrio de Langmuir.
- ✓ Se aplican condiciones isotérmicas en todo el proceso.

Simulación en Aspen Adsorption® V10

Propiedades físicas y químicas de los productos farmacéuticos

Aspen Properties® V10 proporcionó el conjunto de componentes para la simulación, así como sus propiedades físicas y químicas. Paracetamol (PC), Ibuprofeno (IB), y agua fueron registrados desde la base de datos de Aspen Properties® V10. El método usado para el cálculo de las propiedades termodinámicas fue NTRL-SAC el cual ha sido ampliamente usado en la industria farmacéutica para predecir la solubilidad del fármaco en una amplia gama de disolventes (Bouillot, Teychené and Biscans, 2011).

Parámetros de la simulación

La Fig. 1 muestra la hoja de flujo obtenido de Aspen Adsorption® para el proceso de Biosorción de PC e IB usando mazorca de maíz. La Hoja de flujo constan de tres bloques, alimentación, columna de biosorbente y bloque de producto, los cuales fueron especificados de acuerdo a las suposiciones planteadas en el modelo.

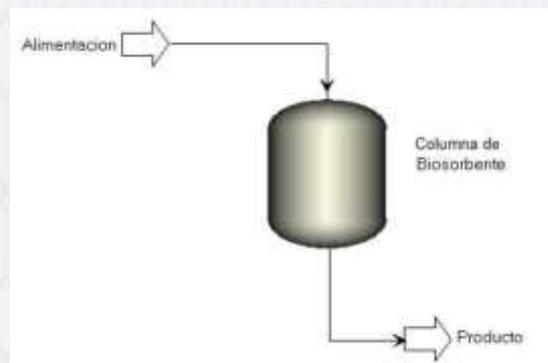


Figura 1 Hoja de flujo del Proceso de Biosorción de fármacos en Aspen Adsorption®.

a) Especificaciones de la corriente de alimentación

La concentración inicial del fármaco, la temperatura y el caudal de la corriente pueden ser controlados desde el bloque de alimentación. El modelo reversible fue elegido para el modo de interactividad del diagrama de flujo.

Las especificaciones fijas en la corriente de entrada en toda la simulación son:

- ✓ Se trabajó con sistemas simples o mono-componentes y sistemas compuestos o bi-componentes. En sistemas simples en la corriente de entrada se halla solo el PC o el IB, no los dos simultáneamente, y es realizada para evaluar los mejores parámetros operacionales (caudal y altura de lecho) para alcanzar un tiempo de ruptura máximo. En sistemas compuestos tanto el PC como el IB se encuentran en la corriente de entrada a la misma concentración con esto se evaluó la selectividad de cada biosorbente para cada fármaco.

- ✓ La concentración tanto del IB y del PC es de 40 mg/L, y permanece constante durante todo el estudio, en sistemas simples, así como en sistemas compuestos. La simulación fue ejecutada a la 18 °C y presión atmosférica de 1 atm.

Especificaciones Variables en la corriente de entrada

El caudal es una variable de estudio, los ensayos de adsorción se realizaron a varios caudales comprendidos entre 1,5 mL/min a 3,5 mL/min, como muestra la Tabla 4.

b) Especificaciones de la columna de biosorbente

La orientación de la cama se asume como vertical con flujo descendente. El conjunto de ecuaciones que definen el lecho adsorción y en las que se basan las suposiciones fueron establecidas usando la configuración de capa. Los supuestos hechos para el lecho adsorbente se visualizan en la Tabla 2.

Tabla 2 Suposiciones para la configuración de la cama en Aspen Adsorption*.

Configuración	Suposiciones
General	Metodo de Discretización: UDS1 (Esquema de diferenciación contra el viento) Numero de nodos: 29
Balance de Materia/ Momento	Suposición del Balance de Materia: Difusión con Convección Suposición de la Pérdida de presión: Ecuación de Carman- Kozeny Suposición de la Velocidad: constante
Modelo Cinético	Suposición del modelo de película: en función del Sólido Suposición del Modelo Cinético: resistencia lineal aplanada. Forma de coeficiente de transferencia de masa: constante
Tipo de Isoterma	Isoterma asumida por capa: Langmuir (Marín, 2017; Freire, 2018)
Balance de Energía	Suposición Balance de Energía: Isotérmico.

En las especificaciones de la cama, el diámetro interno del lecho, los coeficientes de transporte de masa y los parámetros de la Isoterma se mantuvieron constante durante todo el estudio. Estos parámetros fueron obtenidos de datos experimentales. Los estudios de Freire (Freire, 2018) y Marín (Marín, 2017) demostraron que la isoterma de Langmuir describe de mejor el equilibrio de adsorción de PC e IB en mazorca de maíz. La Ec. (1) y Ec. (2) son la forma general y la forma en la Aspen Adsorption representa la Isoterma de Langmuir, respectivamente.

$$q_e = \frac{q_{max} \cdot k_L \cdot C_i}{1 + k_L \cdot C_i} \quad (1)$$

$$w_i = \frac{IP_{1i} \cdot IP_{2i} \cdot C_i}{1 + IP_{2i} \cdot C} \quad (2)$$

Donde, C_i es la concentración molar del componente i en kmol/m^3 , IP_{1i} y q_{max} capacidad máxima de adsorción de la fase sólida en monocapa en kmol/kg y mg/g . IP_{2i} y k_L es la constante de energía relacionada con el calor de adsorción en m^3/kmol y L/mg , respectivamente, w_i y q_e es la carga de contaminante removido por unidad de masa de adsorbente en kmol/kg y mg/g , respectivamente. Los parámetros k_L y q_{max} para ambos sistemas se

detallan en la Tabla 3. Los coeficientes de transferencia de masa (K_i) se obtuvieron de la ecuación cinética pseudo primer orden obtenido por Freire (Freire, 2018) y Marín (Marín, 2017), íntimamente relacionado con la velocidad de adsorción del adsorbato.

Tabla 3 Parámetros Experimentales usados para la simulación.

Finalmente, el caudal, temperatura y presión en la corriente de producto se mantuvieron constantes e iguales a las especificadas en la corriente de entrada.

Parámetro	PC-MM	IB-MM	Unidad
k_L	0.047	0.051	L/mg
q_{max}	0.353	0.414	mg/g
K_i	0.061	0.076	min ⁻¹

Parámetros de operación del proceso de biosorción

El caudal de alimentación y la altura de lecho se variaron para el sistema simple de Adsorción. Los parámetros variables en la columna y la corriente de entrada son los detallados en la Tabla 4. En el estudio se varió únicamente un parámetro mientras el otro permanecía constante.

Tabla 4 Parámetros variables en la remoción de PC e IB usando mazorca de maíz.

Caudal (mL/min)	Altura del lecho (cm)
1,5	20
2	25
2.5	30
3	35
3.5	40

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia del flujo de alimentación

Las curvas de adsorción de avance de Paracetamol (PC) e Ibuprofeno (IB) en un lecho de mazorca de maíz (MM) a diferentes caudales de alimentación se muestran en las Fig. 2a y 2b.

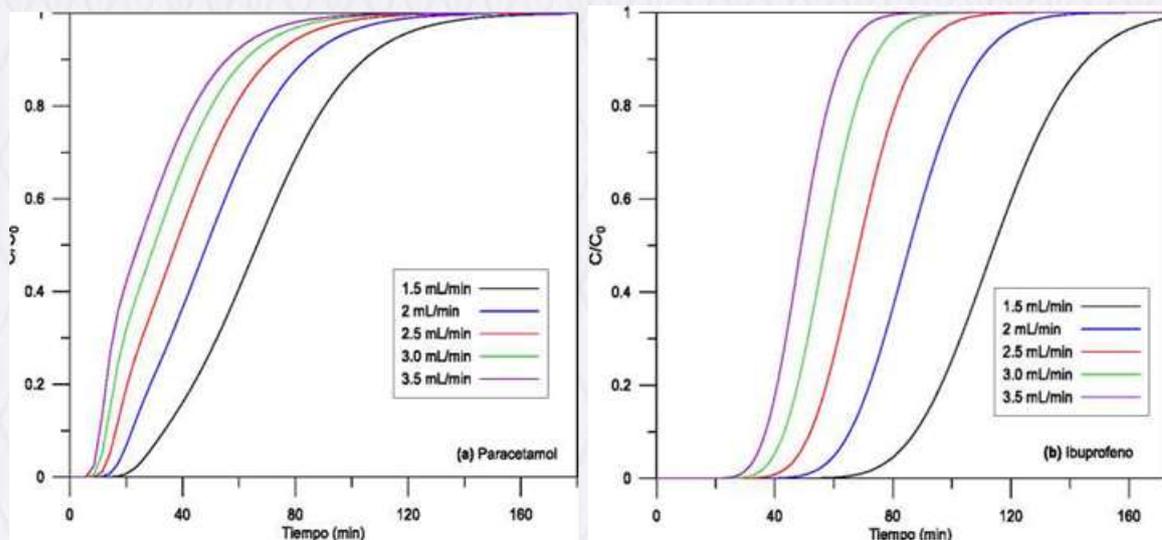


Figura 2: Curva de ruptura para PC (2a) e IB (2b) variando el caudal de alimentación con 25 cm de altura de lecho, y concentración inicial de 40 mg/L

Las Fig. 2a y 2b revela las curvas de ruptura para la adsorción de ambos fármacos al variar el caudal de alimentación de 1.5, a 3.5 mL/min, una profundidad de lecho de 25 cm, y concentración inicial de 40 mg/L tanto para PC e IB. Los tiempos de saturación ($C/C_0=1$) para el PC fueron 145, 123, 109, 97 y 91 minutos para flujos de 1.5, 2, 2.5, 3 y 3.5 mL/min, respectivamente. Mientras que para el IB fueron 171, 128, 103, 87, y 75 minutos para los mismos caudales. Los resultados ilustran que el tiempo de ruptura y saturación aumentan a medida que disminuye el caudal de alimentación, tal como sucede en la práctica. Esto sucede debido a que un menor caudal conlleva a un tiempo de contacto mayor entre el fármaco y el biosorbente, puesto que aumenta la velocidad de flujo en el lecho. En cambio, cuando el caudal es alto la solución junto con el fármaco sale casi inmediatamente de la columna, lo que conlleva que haya una menor adsorción del fármaco. Así pues, a flujos de alimentación altos el tiempo de residencia del adsorbato en la columna del lecho no es lo suficientemente largo como para que se alcance el equilibrio de adsorción, y la solución junto con el adsorbato abandonan la columna antes de que este se produzca, dando lugar a un tiempo más corto para la saturación del lecho (Simate and Ndlovu, 2015). Además, flujos de alimentación altos significa que ingresa una mayor carga de contaminante por unidad de tiempo, de ahí no es de extrañar que el lecho sature en menos tiempo. Similar comportamiento se observa en otras las simulaciones realizadas por otros autores para otros contaminantes (Soriano et al., 2016).

En cuanto a la selectividad de la mazorca de maíz por la adsorción de PC e IB se observa que a caudales de 1.5 y 2 mL/min el lecho se satura en un tiempo menor cuando se trata al PC, pero para caudales de 2.5, 3 y 3.5 mL/min, el IB produce tiempos de saturación menores a los obtenidos con PC. Sin embargo, con todos los caudales, el tiempo de ruptura siempre es mayor con IB. Esto ocurre principalmente debido a que las curvas de ruptura de IB poseen mayor pendiente (Fig. 3), lo que podría establecer que la tasa de transferencia de masa en la adsorción de IB es más rápida comparada a la adsorción de PC, lo que resulta lógico puesto que el coeficiente de transferencia de masa es mayor en el sistema IB-MM. Adicionalmente las pendientes altas podrían significar que la transferencia de masa no está controlada por la difusión, siendo el equilibrio instantáneo el mecanismo de adsorción predominante (Li et al., 2020). En cualquier caso, el área sobre la curva de ruptura siempre es mayor en la adsorción de IB, en consecuencia, la capacidad de adsorción de la mazorca de maíz es superior cuando se en el efluente está presente el ibuprofeno.

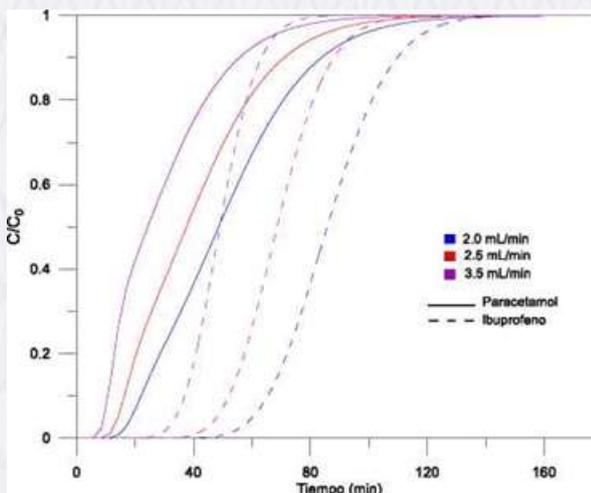


Figura 3. Curvas de ruptura para PC e IB a 2,0; 2,5 y 3,5 mL/min

Influencia de la altura del lecho

En las Fig. 4a y 4b se visualiza la curva de ruptura para PC e IB al variar la altura de lecho del adsorbente MM.

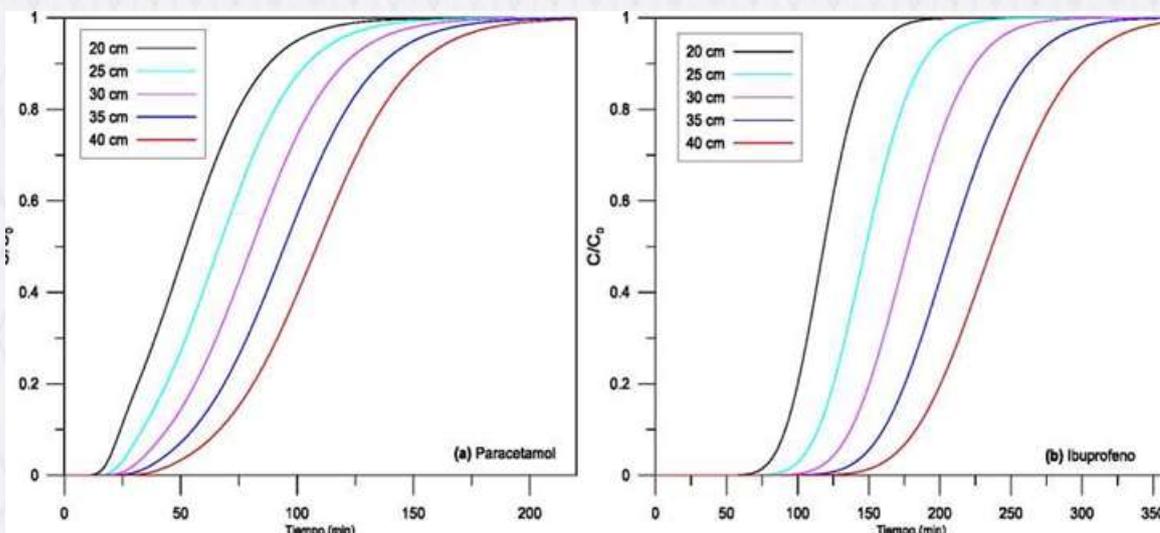


Figura 4. Curva de ruptura para PC (4a) e IB (4b) variando la altura de lecho con caudal de alimentación de 1.5 mL/min, y concentración inicial de 40 mg/L.

La influencia que tiene la altura de lecho del biosorbente sobre la adsorción de PC e IB, se estudió con cuatro alturas de lecho: 20, 25, 30, 35 y 40 cm, mientras se mantenía constante el caudal de alimentación a 1.5 mL/min y una concentración inicial de 40 mg/L para el PC e IB. Tal como muestra las gráficas 4a y 4b, un aumento en la altura del lecho prolonga significativamente el tiempo de retención y el tiempo de saturación de la columna. Por ejemplo, para el PC para una altura de lecho de 40 cm se tiene un tiempo de saturación de 210 minutos, mientras para una altura de 20 cm de lecho el tiempo de

saturación disminuye a 135 minutos, siendo la reducción casi lineal. Similar comportamiento se observa con el fármaco IB. El aumento de la altura de lecho provoca que exista una mayor cantidad de material adsorbente disponible para la remoción, así como un aumento del área superficial del adsorbente y por ende una mayor cantidad de sitios activos disponibles para que sean ocupados por el PC o IB (Plaza, 2012). Para ambos fármacos, la curva de ruptura presenta una mejor tendencia sigmoidea a 40 cm de altura de lecho. Esta forma sigmoidea en la teoría representa una adsorción favorable del contaminante.

Al igual que sucedió cuando se varió el caudal de entrada, el tiempo de ruptura y saturación del lecho se extienden en la adsorción de IB, comparado a la adsorción de PC. Con esto se confirma que la mazorca de maíz tiene una mayor afinidad con el ibuprofeno que con el paracetamol. El hecho puede ser atribuido a las interacciones electrostáticas entre la forma iónica del IB (presente cuando el pH de la solución es superior a la constante pK_a del ibuprofeno) y la superficie de MM cargada positivamente (cuando el pH de la solución es inferior al pH_{pzc} de MM) que ocurren a pH igual a 6 (Oh, Shin and Kim, 2016). Mientras que, en la adsorción de PC con MM, a este pH no existen interacciones electrostáticas que favorezcan la adsorción.

Sistema Compuesto por PC e IB

Se estudió el comportamiento del lecho de adsorción y la curva de ruptura cuando los dos fármacos se encuentran en la corriente de alimentación en concentraciones iguales. Los resultados obtenidos bajo las condiciones de flujo de alimentación de 1,5 mL/min, 50 mg/L de concentración inicial de IB y PC, y 25 cm de altura de lecho de MM se visualizan en la Fig. 5.

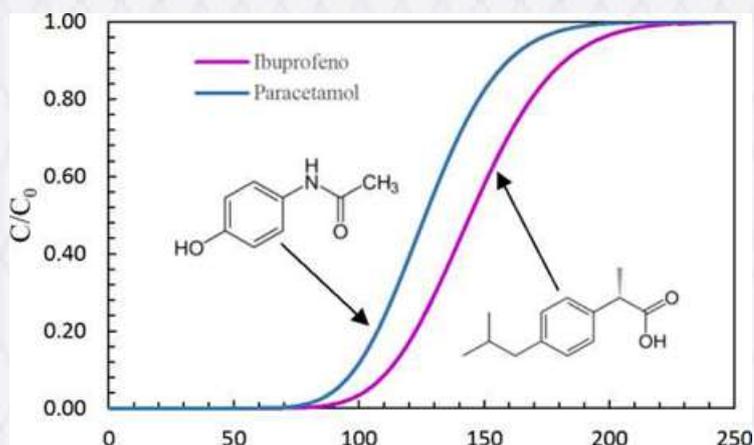


Figura 5 Curva de ruptura para PC e IB con un caudal de alimentación de 1.5 mL/min,

La forma de la curva de ruptura en sistemas binarios o compuestos no dista mucho de los obtenidos en sistemas mono-componentes. Tal como se aprecia en dicha Fig. 5 el tiempo de saturación que alcanza el PC es aproximadamente a los 190 minutos, mientras que el IB se satura a los 225 minutos, deduciendo que el MM tiene mayor afinidad con el IB, ya que los sitios activos del biosorbente son ocupados mayoritariamente por el IB que por el PC llegando a la saturación en un tiempo mucho mayor. Además, el sobre bajo la curva desaturación es mayor para el IB que para el PC, con lo que se puede inferir que cuando existe interacción de ambos fármacos, MM tiene mayor preferencia por el IB. Esto corrobora que IB posee una mejor afinidad con MM y es capaz de ser adsorbido en mayor cantidad que el PC antes de que el lecho adsorbente alcance la saturación.

Esta afinidad puede deberse a los grupos funcionales carboxilo (-COOH) e hidroxilo (OH) (Fig. 5) del IB son muy afines con el grupo funcional (-OH) de la celulosa presente en MM, tendiendo a la formación de puentes

de hidrogeno entre el adsorbato y el adsorbente, lo que conlleva que la retención o secuestro del IB en diferentes partes del adsorbente. Por otro lado, el grupo funcional (-NH) del PC además del grupo Hidroxi (OH) (Fig. 5) son menos afines a los grupos funcionales de la celulosa (Coronel, 2017; Ryabenkova et al., 2017). La afinidad del IB con el biosorbente también puede estar relacionada con el constante k_L de la isoterma de Langmuir. Soriano et al. (2016) afirman que un valor alto del parámetro k_L indica una mejor afinidad del adsorbente con el adsorbato, tal como se observa en este estudio.

El estudio de sistemas compuestos o bi-componentes es más de interés para aplicaciones en plantas piloto y plantas industriales, ya que en las aguas residuales un fármaco estará en interacción con otros fármacos, así como con otros contaminantes compitiendo por los sitios activos del adsorbente. Adicionalmente, obtener tiempos de saturación elevados implica que la columna requiera menos ciclos de regeneración y lavado

CONCLUSIONES

- ✓ A partir de la base de los resultados obtenidos de la simulación dinámica de la adsorción de fármacos (paracetamol e Ibuprofeno) dentro de la columna de lecho rellena con mazorca de maíz se concluye que el adsorbente posee buenas propiedades de adsorción tanto para eliminar el paracetamol como el ibuprofeno. Sin embargo, el análisis de las curvas de ruptura demostró que el biosorbente tiene mayor afinidad por el ibuprofeno, tanto en sistemas mono y bi-componentes, principalmente debido a las interacciones electrostáticas y la posibilidad de formación de puentes de hidrogeno entre los grupos funcionales del ibuprofeno y la mazorca de maíz. Adicionalmente, la altura del lecho y el flujo de alimentación tienen un efecto significativo en el rendimiento de la columna de adsorción. El incremento en el flujo de alimentación produce tiempos de ruptura y saturación cortos debido al insuficiente tiempo de contacto entre el fármaco y el biosorbente, por lo tanto, los caudales más bajos son los deseados para una mejor remoción del fármaco. El incremento en la altura del lecho incrementa el tiempo de ruptura y saturación debido a la mayor disponibilidad de sitios activos del biosorbente. De este análisis se determinó que las condiciones óptimas para obtener el máximo rendimiento de la columna es trabajar a un caudal de 1.5 mL/min y 40 cm de altura del lecho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bouillot B,a. An evaluation of thermodynamic models for the prediction of drug and drug-like molecule solubility in organic solvents: *FluidPhase Equilibria*; 2011.
2. Boxall ABAA. 'Peer Reviewed: When Synthetic Chemicals Degrade in the Environment: *Environmental Science & Technology*; 2004.
3. Coronel V. Biosorción de ciprofloxacina con bagazco de caña y mazorca de maíz en tanque agitado. [Online].; 2017. Available from: [dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28825/1/Trabajo de Titulación.pdf](https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28825/1/Trabajo%20de%20Titulaci3n.pdf).
4. Diener HC,a. Per-capita consumption of analgesics: a nine-country survey over 20 years: *The Journal of Headache and Pain*; 2008.
5. Freire PS. Remoción de paracetamol por Biosorción en tanque agitado usando cáscara de cacao y bagazo de caña de azúcar. [Online].; 2018 [cited 2020 Marzo 15. Available from: [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29294/1/Trabajo de Titulación.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29294/1/Trabajo%20de%20Titulaci3n.pdf).

6. Gaworecki KMaKSJ. Behavioral and biochemical responses of hybrid striped bass during and after fluoxetine exposure: *Aquatic Toxicology*; 2008.
7. Gracia-Lor Eea. 'Occurrence and removal of pharmaceuticals in wastewater treatment plants at the Spanish Mediterranean area of Valencia: *Chemosphere*; 2012.
8. Heberer T. Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data: *Toxicology Letters*; 2002.
9. Jobling Sea. Comparative responses of molluscs and fish to environmental estrogens and an estrogenic effluent: *Aquatic Toxicology*; 2004.
10. Khazri Hea. Presence of carbamazepine, naproxen, and ibuprofen in wastewater from northern Tunisia: *Environmental Forensics*; 2019.
11. Kristiansson Eea. Pyrosequencing of Antibiotic-Contaminated River Sediments Reveals High Levels of Resistance and Gene Transfer Elements: *PLoS*; 2011.
12. ONE. : Edited by F. Rodriguez-Valera.
13. Li Hea. Dynamic Adsorption of Sulfamethoxazole from Aqueous Solution by Lignite Activated Coke: *Materials*; 2020.
14. Lin AYC, Tsai YT. Occurrence of pharmaceuticals in Taiwan's surface waters: Impact of waste streams from hospitals and pharmaceutical production facilities: *Science of The Total Environment*; 2009.
15. Marín DG. Evaluación de la remoción del ibuprofeno mediante biosorción en tallos de rosas y posos de café. [Online].; 2017 [cited 2020. Available from: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28648>.
16. Oh S,ea. Effects of pH, dissolved organic matter, and salinity on ibuprofen sorption on sediment: *Environmental Science and Pollution Research*; 2016.
17. Patel H. Fixed-bed column adsorption study: a comprehensive review: *Applied Water Science*; 2019.
18. Patel Mea. Pharmaceuticals of Emerging Concern in Aquatic Systems: Chemistry, Occurrence, Effects, and Removal Methods: *Chemical Reviews*; 2019.
19. Plaza J. Remoción de metales pesados empleando algas marinas. [Online].; 2012. Available from: sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2770/Documento_completo_.pdf?sequence=17%0D.
20. Ryabenkova Yea. Mechanism of Hydrogen-Bonded Complex Formation between Ibuprofen and Nanocrystalline Hydroxyapatite: *Langmuir*; 2017.
21. Shafeeyan MS,ea. A review of mathematical modeling of fixed-bed columns for carbon dioxide adsorption', *Chemical Engineering Research and Design: Institution of Chemical Engineers*; 2014.
22. Simate GS, Ndlovu S. The removal of heavy metals in a packed bed column using immobilized cassava peel waste biomass: *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*; 2015.
23. Soriano ANea. Simulated biosorption of Cd(II) and Cu(II) in single and binary metal systems by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) using aspen Adsorption®: *ASEAN Journal of Chemical Engineering*; 2016.

24. Villaescusa I.ea. Mechanism of paracetamol removal by vegetable wastes: The contribution of n-n interactions, hydrogen bonding and hydrophobic effect: *Desalination*; 2011.
25. Zhou Y.ea. Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review: *Journal of Molecular Liquids*; 2015.

12
Recibido: 2020/07/27
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

RECUPERACIÓN POR MEDIO DEL MÉTODO DE REDUCCIÓN DE HIERRO DE LODOS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE LA ACERÍA

RECOVERY BY IRON REDUCTION METHOD OF RESIDUAL SLUDGE FROM THE STEEL INDUSTRY

Morales Erick¹, Alvear Jhoseline¹, Londoño Pablo¹, De La Rosa Andrés¹, Carolina Montero^{1*}

¹Investigador, Facultad de Ingeniería Química, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito, Ecuador

*Corresponding: cdmontero@uce.edu.ec

RESUMEN

Este estudio se centra en la recuperación del hierro presente en lodos de la acería por medio de una técnica de reducción. El hierro en forma de óxidos se reduce a hierro metálico, por medio de la acción del carbón, a través de una serie de reacciones, que siguen una secuencia: $Fe_2O_3 > Fe_3O_4 > FeO > Fe$. En el proceso se mezcla el lodo seco y el carbón vegetal en una relación estequiométrica a diferentes temperaturas y tiempos. Al final del proceso de reducción se obtiene una esponja que contiene el hierro metálico, que se separa magnéticamente y se caracteriza mediante absorción atómica, dispersión de rayos X, y transmisión de infrarrojo transformada de Fourier.

Los resultados permiten analizar profundamente el proceso de reducción, donde se evidencia que existe una mayor presencia de partículas de hierro metálico conforme aumenta la temperatura y el tiempo, así como, altos porcentajes de recuperación de este metal. Se concluye que el carbón vegetal puede utilizarse como un agente reductor para obtener hierro metálico de forma efectiva siendo las condiciones óptimas para este proceso 950°C y 120 min, con lo que se obtuvo un porcentaje final de recuperación alrededor del 96%; favoreciendo de este modo a la recuperación de productos de valor añadido a partir de lodos residuales.

Palabras claves: Lodo residual, acería, hierro, reducción_con_carbón

ABSTRACT

This study focuses on the recovery of iron present in steel sludge through a reduction technique. Iron in the form of oxides is reduced to metallic iron, by the action of coal, through a series of reactions, which follow a sequence: $Fe_2O_3 > Fe_3O_4 > FeO > Fe$. In the process, dry sludge and charcoal are mixed in a stoichiometric ratio at different temperatures and times. At the end of the reduction process, a sponge containing the metallic iron is obtained, which is magnetically separated and characterized by atomic absorption, X-ray dispersion, and Fourier's transformed infrared transmission.

The results allow analyzing deeply the reduction process, where it is evidenced that there is a more significant presence of metallic iron particles as the temperature and time increase, as well as high percentages of recovery of this metal. It is concluded that charcoal can be used as a reducing agent to obtain metallic iron effectively being the optimal conditions for this process 950°C and 120 min, thus obtaining a final recovery percentage around 96%; thus favoring the recovery of value-added products from sewage sludge.

Keywords: Residual sludge, steel, iron, reduction_by_carbon

INTRODUCCIÓN

La industria de la acería o siderúrgica es aquella que se encarga de la producción del acero, a través de varios procesos integrados y consecutivos. En Ecuador, para obtener el acero se utiliza como única materia prima la chatarra de hierro en hornos de arco eléctrico a temperaturas superiores a 1600°C (Donoso, 2017).

Los procesos en horno de arco eléctrico resultan más favorables desde un punto de vista ecológico ya que usan un 85% de chatarra metálica, pero al mismo tiempo, se genera una considerable cantidad de residuos gaseosos, líquidos y sólidos, que representan alrededor del 15 al 20% de la producción total del acero (Medina, 2006). Según los aspectos ambientales identificados en los procesos de fundición, los residuos de esta industria, se relacionan principalmente con las emisiones gaseosas (material particulado, polvo y otros contaminantes), y con residuos sólidos, fundamentalmente arenas de descarte, escorias y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales (Sosa, Banda-Noriega, & Guerrero, 2013).

En el acuerdo ministerial N°142 del Ministerio del Ambiente del Ecuador, se indica que los polvos de acería que contengan material peligroso, las escorias de fundición, los lodos residuales, entre otros residuos, se encuentran registrados en el listado nacional de desechos peligrosos.

Conforme a los parámetros técnicos internacionales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) se manifiesta que cuando los elementos metálicos, tales como: arsénico, hierro, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo, están presentes en sistemas ambientales a concentraciones superiores a ciertos niveles, debido a desequilibrios naturales o por introducción antropogénica, pueden ser tóxicos para los seres vivos (Ecológica, 2007). La remoción y recuperación de dichos metales de los lodos debe llevarse a cabo para el cumplimiento de las normas ambientales y su reutilización en otros procesos, existen reportes acerca de la remoción de hierro específicamente para los residuos de la industria de fundición (Heredía, 1999).

La presente propuesta presenta una opción que permita recuperar la concentración de hierro en los lodos residuales a través de procesos de: extracción, reducción y/o separación magnética. Además, se cuantifica el contenido inicial de este metal en los lodos y se determinan las mejores condiciones para obtener un mayor rendimiento de recuperación del mismo a partir de este residuo sólido.

METODOLOGÍA

Caracterización de lodos

Determinación de la temperatura de secado: La muestra de lodo proveniente de la industria de la acería fue secada a 120°C mediante el procedimiento descrito en la norma ASTM D-2216. Para determinar si esta temperatura era óptima se usó los criterios de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN-ISO 11461, donde se señala que la masa es constante después del procedimiento de prueba, cuando no excede el porcentaje medio tolerable del 0,1 % (fracción másica).

Caracterización química y mineralógica: La muestra de lodo seco denominada LS, para futuras referencias, se caracterizó químicamente mediante las técnicas de espectrofotometría de absorción atómica (A.A) en un equipo Pelkin Elmer AAnalyst 300 y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en un espectrómetro Pelkin Elmer Spectrum Two, con la finalidad de cuantificar el contenido de hierro y determinar las estructuras moleculares presentes en la muestra.

La caracterización mineralógica se llevó a cabo mediante la técnica de difracción de rayos X (DRX) el Centro de Nanociencia y Nanotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas CENCINT-ESPE, para determinar los minerales del hierro y otros metales que conforman los lodos de acería.

Recuperación de hierro de los lodos de acería

Reducción con carbón vegetal: El proceso de reducción del hierro se realizó por medio de acción directa del carbón vegetal. Se mezcló 5 g de la muestra LS (lodo seco) con una cantidad estequiométrica de carbón vegetal, que se calculó a partir del porcentaje inicial de hierro en la muestra (7,533 %p/p) y cálculos estequiométricos aplicados en (1). La mezcla se colocó en un crisol de 30 mL con tapa, se introdujo en otro crisol de 100 mL y luego se cubrió con una capa de carbón vegetal con la finalidad de asegurar una atmósfera reductora. Todo el sistema de crisoles cerrados, se introdujeron en una mufla a temperaturas de 850, 900 y 950 °C y tiempos de 60, 90 y 120 min. Una vez que se cumplió con los tiempos establecidos, se retiró los crisoles y se pesó únicamente el contenido del crisol de 30 mL sin tapa. Se obtuvo luego de este proceso una estructura sólida conocida como esponja de hierro que presenta en su superficie y al interior contenido de hierro metálico como se muestra en la Figura 1. La pérdida de peso de la mezcla, corresponderá a la formación de monóxido de carbono (CO) experimental. Los porcentajes de reducción de los óxidos de hierro para cada caso se determinaron mediante (2). A cada ensayo se le denominó como MR.



$$\%Red = \frac{m_{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{red exp}}}{m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} \quad (2)$$

Donde %Red, es el porcentaje de reducción, $m_{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{red exp}}$, es la masa de óxido férrico reducido experimentalmente y $m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$, es la masa de óxido férrico en la muestra.



Figura 1 Esponja de hierro

Trituración de esponjas de hierro: La trituración de las esponjas se realizó en un con la finalidad de facilitar la posterior extracción de las partículas de hierro que se encuentran en la estructura sólida.

Separación magnética: El hierro tiene propiedades paramagnéticas, que le brindan una alta susceptibilidad a las fuerzas magnéticas (Carrera & Estrella, 2018), por lo que el contenido de hierro metálico fue separado de la esponja triturada por medio de un imán permanente de tierras raras, que consiste en una aleación de neodimio, hierro y boro. Las masas recuperadas con alto contenido de material ferroso junto con pequeñas cantidades de otros metales, se denominaron con la letra M y se les asignó un número de acuerdo al orden de temperaturas y tiempos.

Caracterización de masas recuperadas de hierro

Las masas recuperadas de hierro también se caracterizaron química y mineralógicamente, mediante las técnicas de A.A, FTIR y XRD, con la finalidad de identificar los compuestos presentes y contrarrestar los resultados una vez terminado el proceso de reducción. Usando (3) se calculó el porcentaje de recuperación respecto a cada una de las masas.

$$\%R = \frac{Mn * \% \frac{P}{P_{FeMn}}}{MLS * \% \frac{P}{P_{FeLS}}} * 100 \quad (3)$$

Donde %R es el porcentaje de recuperación, Mn, la cantidad de masa recuperada, MLS, masa de la muestra de lodo seco, %P/P_{FeLS}, porcentaje en peso de la concentración de hierro medido en LS y % P/P_{FeMn}, porcentaje en peso de la concentración de hierro medido en Mn. Es importante mencionar que, para cada ensayo, se realizó dos réplicas de tal forma que se obtenga un porcentaje de recuperación promedio, los cuales se muestran más adelante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura óptima de secado empleada en este trabajo correspondiente a 120°C resultó las más adecuada para este tipo de residuos sólidos debido a que se obtuvo un porcentaje medio tolerable de variación de masa luego del proceso de secado del 0,01% siendo inferior al límite permisible por la NTE INEN-ISO 11461 de 0,1%.

Reducción con carbón vegetal

Puede observarse en la Figura 2 que el tiempo tiene aproximadamente el mismo efecto en el comportamiento de reducción en la mayoría de los casos de estudio. Las muestras sometidas a 850°C, y diferentes tiempos: 60 y 90 minutos, presentaron un incremento muy pequeño en los porcentajes de reducción entre sí, obteniendo valores de 154,5% para MR1 y 164,3% para MR2. Así mismo, en las masas MR7 (60 minutos) y MR8 (90 Minutos), correspondientes a 950°C, se consiguieron porcentajes muy cercanos de 240,5 y 249,6%, respectivamente. Un caso especial ocurre para las masas MR5 y MR4, donde se exhibe una disminución del porcentaje de reducción en la masa MR5, en comparación con la masa MR4, donde los valores fueron de 197 y 202,1%, respectivamente.

La reducción de los minerales de hierro con un agente reductor sólido comienza en el punto de contacto en la superficie del granulado que produce gas CO / CO₂. El CO₂ producido se combina con carbono sólido y se convierte en gas CO. El gas CO se difunde en el gránulo y participa en la reducción. Una rápida tasa de reducción en las condiciones iniciales puede atribuirse al efecto combinado de una menor resistencia ofrecida al

flujo de gas en el gránulo y a la contribución significativa de la liberación de materia volátil por parte del carbón que se reforman casi por completo en H_2 , H_2O y CO durante la etapa inicial de reducción (Nath, 2009).

Por otra parte, los porcentajes de reducción a 120 minutos, para cada temperatura, presentaron aumentos considerables, tales como: 203,9% para MR3, 235,5% para MR6 y 278,9% para MR9; lo que indica que con un tiempo más prologando se logra obtener una mejor tasa de reducción. Todos los valores se encuentran por encima del 100%, debido a que, en la pérdida de peso de las muestras se está considerando la reducción de óxidos de metales no ferrosos, como, por ejemplo, el SiO_2 , ZnO , MgO , entre otros, los cuales se detectaron mediante los análisis FTIR y XRD.

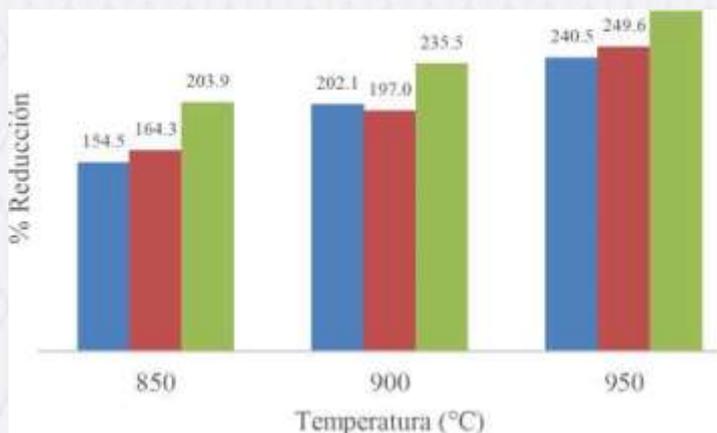


Figura 2 Porcentajes de reducción en función del tiempo

Analizando el caso de la temperatura, se tiene que, los mayores porcentajes de reducción tomando en cuenta todos los ensayos son para las masas: MR7, MR8 y MR9, que se ensayaron a 950°C, lo cual se puede observar en la Figura 2. La primera reducción de Fe_2O_3 a Fe_3O_4 inicia a 530°C y el último paso de FeO a Fe metálico empieza a 870°C, por lo que la reducción para obtener el hierro metálico se mejora con el incremento de la temperatura (Liu, Strezov, Lucas, & Wibberley, 2001).

Recuperación de hierro

En la Figura 3, se muestra un elevado porcentaje de recuperación para todas las masas, el cual varía aproximadamente del 70 al 96%. La tasa de recuperación para el caso de las masas a una temperatura de 850 °C, va aumentando con el tiempo; esto se observa en dicha figura, donde se consiguió valores de, 70,11% para M1, 75,29% para M2 y finalmente, 85,81% para M3.

A 900 °C, se obtuvo de M4 a M5 una pequeña disminución desde un 77,86 a un 74,43%, para volver a crecer en M6 con una recuperación del 80,83%. Por otra parte, a una temperatura de 950°C, la recuperación crece con el tiempo con valores de 79,74, 83,43, y 95,96%, para M7, M8 y M9 respectivamente.

De acuerdo con esto, se observó un rápido crecimiento en los porcentajes de recuperación en los primeros 60 min., mientras que con tiempos prolongados se presentó aumentos e inclusive disminuciones en las tasas de recuperación.

En las etapas iniciales de reducción, el grano de polvo mineral y el grano de polvo de carbón entran en contacto adecuadamente creando una alta densidad de CO, lo que provoca que la reducción directa sea más violenta. Mientras que, con la extensión del tiempo, el mineral de hierro y el carbón pueden separarse gradualmente, disminuyendo la densidad del CO, provocando que las reacciones tiendan a ser más lentas y lleguen a equilibrarse (Li, Sun, Han, Shi, & Gao, 2011). A la final, el aumento de tiempo resultó favorable ya que permitió mayor formación y crecimiento de granos de hierro metálico, lo que se reflejó en los altos porcentajes de recuperación obtenidos a 120 min.

Como en el caso de la reducción, la temperatura tiene su mayor influencia en el rango entre 90 y 120 min. Se observó que a 950°C se tiene las más altas tasas de recuperación para cada tiempo. Sin embargo, solo para un tiempo constante de 60 min. la recuperación aumentó con la temperatura; para los otros tiempos, el grado de recuperación presentó una disminución a 900°C para volver a crecer en los 950°C, afirmando que también fue ventajoso una prolongación de la temperatura.

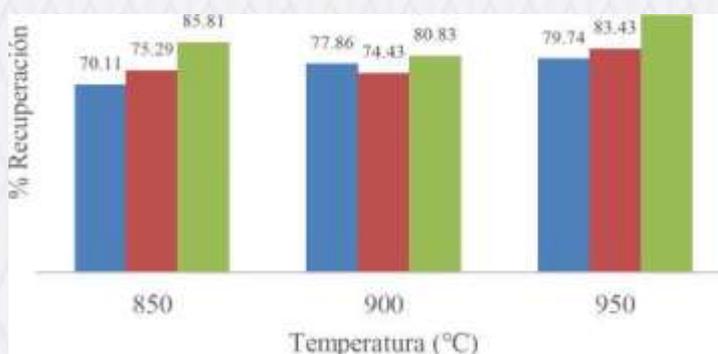


Figura 3 Porcentajes de recuperación en función de la temperatura

Análisis Estadístico

Se realizó el análisis estadístico para los resultados de los porcentajes de reducción y los porcentajes de recuperación de hierro. Se usó el programa STATGRAPHICS® para obtener el análisis de varianza ANOVA en cada caso. El diseño experimental considera dos factores, temperatura y tiempo, denominados A y B, respectivamente, con una réplica; siendo la variable de respuesta el porcentaje de reducción. De esta forma, se logró determinar si la hipótesis nula se rechaza o no.

ANOVA para el porcentaje de reducción de hierro

Se consideró el efecto de forma individual para cada factor y la interacción entre los dos. De esta manera, las hipótesis que se desean rechazar o no rechazar son:

Hipótesis Nula; $H_0=0$

H_{01} = La variación significativa en el porcentaje de reducción de hierro, debido al efecto de la temperatura no existe (A).

H_{02} = La variación significativa en el porcentaje de reducción de hierro, debido al efecto del tiempo no existe (B).

H_{03} = La variación significativa en el porcentaje de reducción de hierro, debido al efecto de interacción entre temperatura y tiempo no existe (AB).

Mientras que las hipótesis alternativas quedan de la siguiente manera:

Hipótesis Alternativa; H_a^0

H_{a1} = La variación significativa en el porcentaje de reducción de hierro, debido al efecto de la temperatura si existe (A).

H_{a2} = La variación significativa en el porcentaje de reducción de hierro, debido al efecto del tiempo si existe (B).

H_{a3} = La variación significativa en el porcentaje de reducción de hierro, debido al efecto de interacción entre temperatura y tiempo si existe (AB).

Los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) para la determinación de la influencia de los efectos temperatura y tiempo en la variable de respuesta porcentaje de reducción de hierro se muestran en la Tabla I.

Tabla 1 Resultados del análisis de varianza para el porcentaje de reducción de hierro

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl (Grados de libertad)	Cuadrado Medio F	Valor p
<i>Efectos principales</i>				
A: Temperatura				
B: Tiempo	20241,1	2	10120,6	93,13 0,000
Interacciones	5828,58	2	2194,29	26,82 0,000
AB	232,04	4	58,0099	0,53 0,7147
Residuos	978,073	9	108,675	
TOTAL (CORREGIDO)	27279,8	17		

• Puesto que los valores-P para la temperatura (A) y tiempo (B) son menores que 0,05, se puede determinar que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de recuperación de hierro con un 95% de nivel de confianza, decir, se rechazan las hipótesis nulas **H_{o1}** y **H_{o2}** .

• Para la interacción de ambos efectos AB, el valor P es mayor a 0,05 por lo cual se acepta la hipótesis nula **H_{o3}** , es decir que, no influye la interacción entre ambos efectos en el porcentaje de reducción de hierro.

Análisis FTIR

En la Figura 4, se presenta los espectros de la muestra LS y las masas M1 (850 °C y 60 min), M4 (900 °C y 60 min) y M7 (950 °C y 60 min). Para el caso de la muestra LS se identificó bandas a 3464 cm^{-1} , 894 cm^{-1} , 570 cm^{-1} , 470 cm^{-1} , y 468 cm^{-1} . Una banda espectral a 3464 cm^{-1} está asociada con vibraciones de estiramiento de enlaces O-H (Longa, Pereyra, Casal, & Delvasto, 2017). Esto se relaciona justamente con la banda identificada a 894 cm^{-1} , que corresponde a un mineral de óxido de hierro denominado goetita (α -FeOOH) a causa de vibraciones de flexión de los enlaces OH (Senthil & Rajkumar, 2014).

Por otra parte, se identificó una banda a 570 cm^{-1} , la cual indica vibraciones del mineral magnetita (Fe_3O_4) y otra a 470 cm^{-1} , que muestra la presencia de otro mineral conocido como hematita (Fe_2O_3) (Namduri & Nasrazadani, 2008). Finalmente, bandas poco intensas en la región entre 400 y 800 cm^{-1} , pueden estar asociadas a movimientos de flexión de minerales de silicato conocidos como Quartz (SiO_2) (Senthil & Rajkumar, 2014), para este estudio se identificaron bandas a 800 cm^{-1} y 468 cm^{-1} , donde puede haber una superposición por parte de la banda de Fe_2O_3 en esta última región.

La banda a 3464 cm^{-1} es muy sensible a la temperatura de deshidroxilación, y es una de las bandas más importantes a considerar para la caracterización del proceso de transformación térmica de la goetita (α -FeOOH) (Longa et al., 2017).

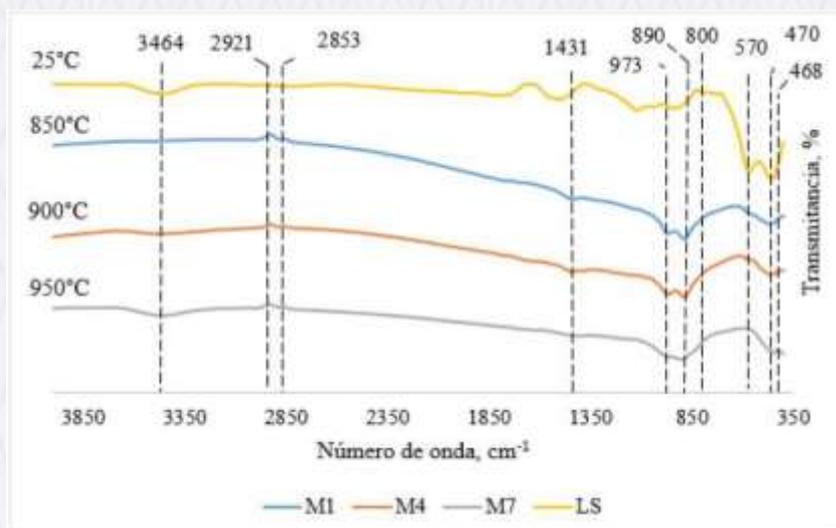


Figura 4 Curva FTIR para LS, M1, M4 y M7

Como se muestra en la Figura 4, para M1 la banda a 3464 cm^{-1} ha desaparecido por completo y para M4 es casi imperceptible, mientras que en M7 ha ganado amplitud, lo que puede atribuirse a que las moléculas de agua no fueron eliminadas por completo o que la muestra ganó humedad del ambiente.

En los tres casos M1, M4 y M7, se presentaron picos pequeños a 2921 cm^{-1} y 2853 cm^{-1} , los cuales se identifican como carbón orgánico (Senthil & Rajkumar, 2014). El carbón orgánico es la cantidad de carbono unido en un compuesto orgánico. Estos contienen compuestos orgánicos cuyas moléculas están formadas por carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno (Pluske, Murphy, & Sheppard, 2015). Conforme aumenta la temperatura desde 850 a 950 °C , estos picos disminuyen su intensidad, debido a que el carbón y el oxígeno se eliminan en forma de monóxido de carbono y dióxido de carbono. Además, existe una banda débil a 1431 cm^{-1} en los espectros de las masas M1 y M4, la cual casi ha desaparecido en M7. Esta frecuencia consistente a carbonato de calcio (CaCO_3), se debe a la vibración de estiramiento del $(\text{CO}_3)^{2-}$ (Senthil & Rajkumar, 2014).

Los espectros de FTIR para las mismas masas, muestran una banda a 890 cm^{-1} que es consistente con la goetita $\alpha\text{-FeOOH}$ (Namduri & Nasrazadani, 2008). Mientras que, una banda a 970 cm^{-1} correspondiente a 5-FeOOH , se forma debido a vibraciones de flexión por parte de los enlaces OH y de tensión debido al FeO (Cornell & Schwertmann, 2006). Esta última banda puede atribuirse además a deformaciones de grupos hidroxilos (Longa et al., 2017). Las dos bandas a 890 y 970 cm^{-1} van perdiendo su intensidad desde M1 hasta casi desaparecer en M7. Lo que supondría únicamente la presencia de los grupos OH y una reducción por parte del FeO.

La banda de Fe_3O_4 en las tres masas ha desaparecido lo que indica que este compuesto se está reduciendo, mientras que, para el Fe_2O_3 , su banda es ancha en las masas M1 y M4, hasta desaparecer en M7, es decir que, también se ha reducido. Por último, ya no hay presencia de las bandas correspondientes a SiO_2 , esto puede significar que este compuesto entra en contacto con los óxidos de hierro para formar nuevos compuestos que no pueden ser identificados por este método (Gao, Li, Han, & Sun, 2016).

En la Figura 5 se detalla los espectros correspondientes a la muestra LS y las masas M2 (850 °C y 90 min), M5 (900 °C y 90 min) y M8 (950 °C y 90 min). El comportamiento para estos espectros es similar ya que se presenta aún la banda a 3464 cm^{-1} correspondiente a enlaces OH, lo que significa que no ocurre una eliminación completa de las moléculas de agua y que se requiere de una mayor temperatura y tiempo de reducción. Únicamente el espectro para la masa M5, muestra la presencia de carbón orgánico con picos muy pequeños a 2921 cm^{-1} y 2853 cm^{-1} , de modo que, para este caso el carbón no es aprovechado de gran forma en las reacciones

de reducción. Así mismo, para la misma masa se observa una banda muy débil a 1383 cm^{-1} consistente con ZnO (Shokry Hassan, Elkady, El-Shazly, & Bamufleh, 2014).

En cuanto a las bandas a 1431 cm^{-1} , referentes al CaCO_3 , todavía se pueden observar en los espectros de las tres masas, teniendo mayor intensidad en M5 y menor en M2; esta presencia se puede atribuir a una reacción secundaria entre el óxido de calcio (CaO) y el dióxido de carbono (CO_2) que se ha formado. La presencia de estas fases en residuos del acero, como el CaO , CaCO_3 , ZnO , ZnFe_2O_4 , CrFe_2O_4 , MgFe_2O_4 y SiO_2 son propias de los procesos de fusión y afino del acero en arco eléctrico (Delvasto, Aldao, & Ravotti, 2011).

En relación con la goetita ($\alpha\text{-FeOOH}$) y 5-FeOOH , en los espectros de las masas recuperadas M2 y M5, las bandas a 890 y 973 cm^{-1} son similares, pero se observa una disminución de intensidad en ambos casos para el espectro de M8, lo que se relaciona inherentemente con la presencia de grupos OH, evidenciada en la banda a 3464 cm^{-1} . Por otra parte, la banda a 570 cm^{-1} asignada a las vibraciones de Fe_3O_4 aparece menos intensa en M2, en tanto que, para M5 y M8 están a punto de desaparecer. Para Fe_2O_3 , su banda a 470 cm^{-1} se presenta únicamente en M8, lo que se atribuye al proceso de reducción de estos óxidos; comportamiento semejante al ocurrido en las masas M1, M4 y M7.

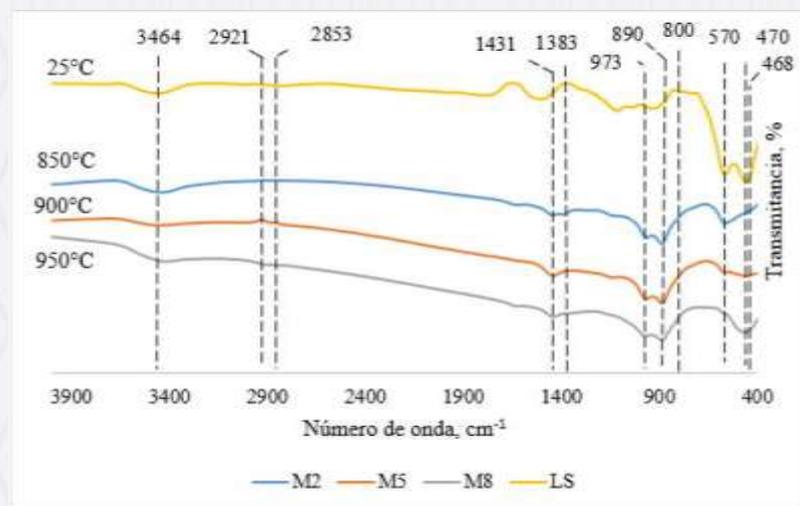


Figura 5 Curva FTIR para LS, M2, M5 y M8

En la Figura 6, se muestran los espectros para la muestra LS y las masas M3 ($850\text{ }^\circ\text{C}$ y 120 min), M6 ($900\text{ }^\circ\text{C}$ y 120 min) y M9 ($950\text{ }^\circ\text{C}$ y 120 min). Los espectros de las masas M3 y M6 indican bandas correspondientes a las vibraciones del grupo OH muy débiles, pero con gran amplitud en M9. Estos grupos OH pueden corresponder a aquellos que son adsorbidos por algún grupo higroscópico como por ejemplo el CaO (Delvasto et al., 2011). Por consiguiente, se puede requerir de un tiempo y temperatura mayor para que se provoque la eliminación de estos grupos y a su vez se completen las reacciones de reducción.

Por otro lado, la banda correspondiente a CaCO_3 , sigue presente en todos los espectros, pero con mayor intensidad en M6. Además, solo para M3 se evidencia la presencia de ZnO con su banda respectiva a 1383 cm^{-1} . La banda a 890 cm^{-1} perteneciente a $\alpha\text{-FeOOH}$ se vuelve más intensa conforme aumenta la temperatura, lo que indicaría aún la presencia de grupos hidroxilos.

Para terminar, para Fe_3O_4 , los espectros de todas las masas M3, M6 y M9, muestran una banda muy débil, mientras que en el caso del Fe_2O_3 , su banda a 470 cm^{-1} para M6 y M9 ha desaparecido por completo. A partir de esto se infiere que, existe una reducción completa de la hematita, en tanto que la magnetita no ha terminado de reducirse. Cabe mencionar que las bandas correspondientes al carbón orgánico y SiO_2 ya no están presentes.

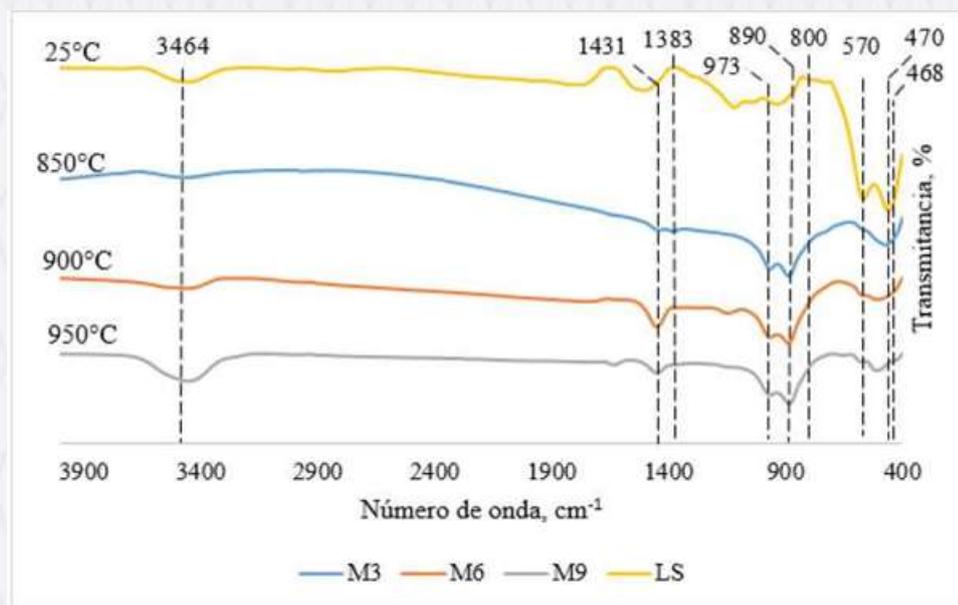


Figura 6. Curva FTIR para LS, M3, M6 y M9

En la Tabla II se resume las asignaciones IR para los compuestos reconocidos en la muestra de lodo seco y las masas recuperadas.

Tabla 2 Asignaciones Ir para elementos identificados

Muestra	Número de onda, cm ⁻¹	Asignación IR
LS	3464	Grupos OH
	570	Fe ₃ O ₄
	470	Fe ₂ O ₃
	468 y 800	SiO ₂
M1, M4 y M7	2921 y 2853	Carbón orgánico
	1431	CaCO ₃
	973	S-FeOOH
	890	α-FeOOH
	570	Fe ₃ O ₄
	1383	ZnO
M2, M5 y M8		

* Para las masas M3, M6 y M9 se han identificado los mismos elementos que ya se hace referencia.

Análisis XRD

En la Figura 7, respecto a la muestra LS se puede observar picos aproximadamente en 28,3°, 30° y 36,3° que corresponden a Fe₂O₃ (Yunos, Aziz, Ismail, & Idris, 2015). Un pico prominente a 35,3°, y tres picos menos

pronunciados a $34,4^\circ$, $40,5^\circ$ y $53,3^\circ$, indican la presencia del mismo óxido (Fe_2O_3); mientras que otro pico a $31,8^\circ$ corresponde al óxido conocido como magnetita (Fe_3O_4) (Gao et al., 2016). Además, se visualiza un pico de Fe_2O_3 a $62,3^\circ$ (Parikh & Chorover, 2006).

Un pico a $26,5^\circ$ responde a la presencia de SiO_2 y que puede existir una superposición de señales a ciertos ángulos (30° , $35,3^\circ$ y $53,3^\circ$) del Fe_2O_3 que corresponderían a la presencia de magnetita (Fe_3O_4), franklinita (ZnFe_2O_4), magnesioferrita (MgFe_2O_4), cromita (FeCr_2O_4) y óxido de manganeso (Mn_3O_4). Estos compuestos también se identifican en los ángulos a $18,2^\circ$ y $56,7^\circ$ pero esta vez con la ausencia del Fe_2O_3 ; y con la presencia adicional del mineral periclasa (MgO) a los ángulos de $36,5^\circ$, 43° y $73,8^\circ$, respectivamente (Machado et al., 2006). Los difractogramas de XRD para M1 y M7 que se detallan en la misma figura, correspondientes a un tiempo de 60 min y temperaturas de 850° y 950° , respectivamente, muestran que han desaparecido los picos a 18° , $26,5^\circ$, $35,3^\circ$, 43° , $53,3^\circ$, $62,3^\circ$ y $73,8^\circ$. Todavía se puede apreciar la presencia de picos a $31,8^\circ$ y $56,7^\circ$ pertenecientes a la magnetita (Fe_3O_4); estos pierden intensidad debido a que otros compuestos en la muestra, pueden ir desplazando los óxidos de hierro para que se reduzcan (Liu et al., 2004). Además, se observa un pico a $34,4^\circ$ que representa el óxido férrico o hematita (Fe_2O_3) y un pico pequeño a 45° en M1 y que gana intensidad en M7, consistente con hierro metálico Fe (Gao et al., 2016). De igual manera, se observa un pico ligeramente mayor aproximadamente a 63° correspondiente a Fe (Yunos et al., 2015).

Por otro lado, señales a 42° , 61° y 73° corresponderán a la formación de FeO en M1 (Nath, 2009). En M8, el pico a 61° se mueve hacia la izquierda y gana linealidad e intensidad. Este nuevo pico, aproximadamente a 60° , da lugar a un nuevo compuesto conocido como fayalita (FeSiO_4) (Gao et al., 2016), debido al contacto entre el óxido de silicio (SiO_2) y el óxido ferroso (FeO), tal como se mencionó en el análisis FTIR, lo que provoca una reacción en la fase sólida. Inmediatamente puede ocurrir una segunda reacción, en la cual el óxido de magnesio (MgO) desplaza el FeO aún presente, dando lugar a un mineral conocido como fosterita (MgSiO_4) y consigo, la reducción del FeO por el carbón a hierro metálico. Esto concuerda con la desaparición de la señal a 18° , 43° y $73,8^\circ$ que mostraba la presencia del óxido silicio y óxido de magnesio, respectivamente.

La reducción de Fe_2O_3 a Fe_3O_4 ocurre en el rango entre 530 y 670°C , y puede haber una superposición de este último, por lo tanto, el pico a $36,3^\circ$ en M1 corresponderá a Fe_3O_4 (Liu et al., 2004). Finalmente, un pico de hierro metálico podrá identificarse a $36,3^\circ$ (Yunos et al., 2015), lo que indicaría que existe una nueva superposición de esta fase en M7, ya que el último paso de la reducción inicia a una temperatura de 870°C .

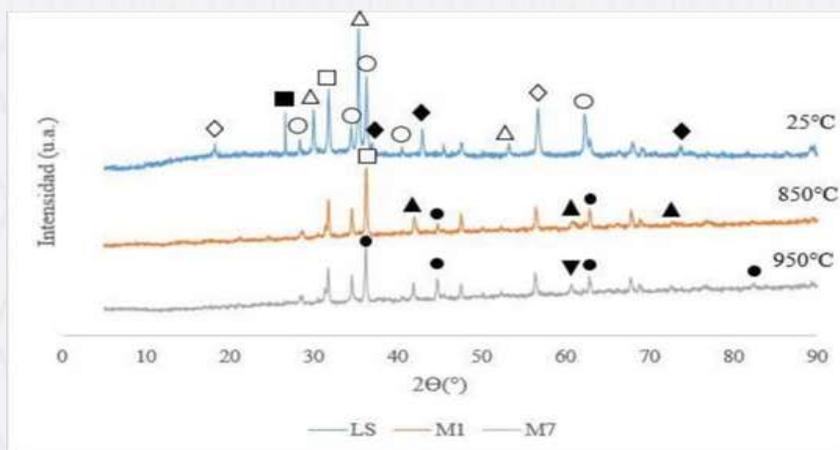


Figura 7 Difractogramas XRD para LS, M1 y M7.

En la Figura 8, donde se indica los difractogramas de M5 y M8, correspondientes a un tiempo de 90 min y temperaturas de 900° y 950° , respectivamente, se observa que los picos a $31,8^\circ$ y $56,7^\circ$ de Fe_3O_4 y el pico a $34,4^\circ$ del Fe_2O_3 han disminuido en su intensidad. También, el pico a 73° de FeO es muy ancho y casi imperceptible, mientras que no se evidencia la formación del pico a 60° consistente con MgSiO_4 , pudiéndose atribuir a que el óxido ferroso no es desplazado, es por ello que, en M8 se exhiben las señales a 42° y 61° de esta

fase. Hay que mencionar, que el pico a 45° comienza a presentar una forma lineal en M5 y gana intensidad en M8, lo que muestra la formación del hierro metálico en la muestra, observándose un comportamiento similar a $82,5^\circ$ (Li et al., 2011). Además, para estas masas, se repite la superposición de los picos a $36,3^\circ$, es decir que, en M8 este pico corresponde al hierro metálico.

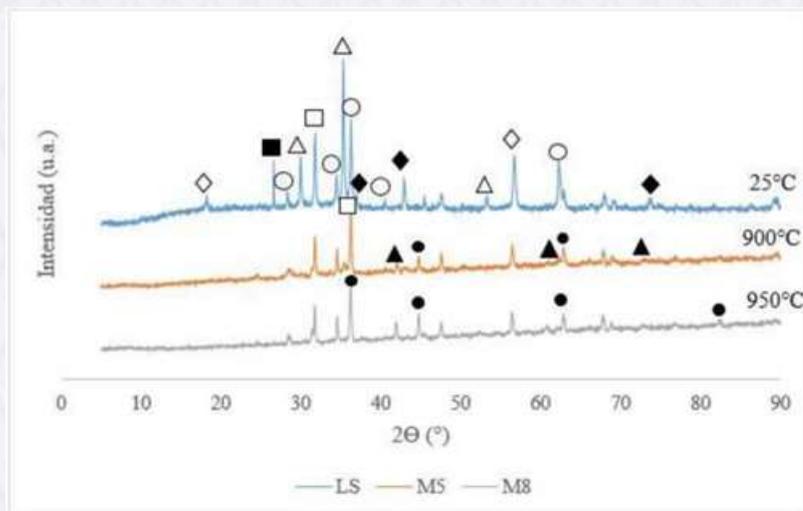


Figura 8 Difractogramas XRD para LS, M5 y M8

Los difractogramas de las masas M6 y M9, correspondientes a un tiempo de 120 min y temperaturas de 900° y 950° , respectivamente se muestran en la Figura 9, donde los picos de las fases: Fe_2O_3 , Fe_3O_4 y FeO que se identificaron en M5 y M8 se mantienen a excepción de la posición a 73° correspondiente a FeO . En M9, el pico consistente al hierro metálico es muy fuerte a 45° , mientras que a $82,5^\circ$ la forma está más definida. A partir de esto se puede inferir que, las reacciones de reducción se llevan a cabo de forma incompleta, pero con mayor presencia de hierro metálico en M9, con lo que se puede requerir una mayor temperatura y tiempo de reducción.

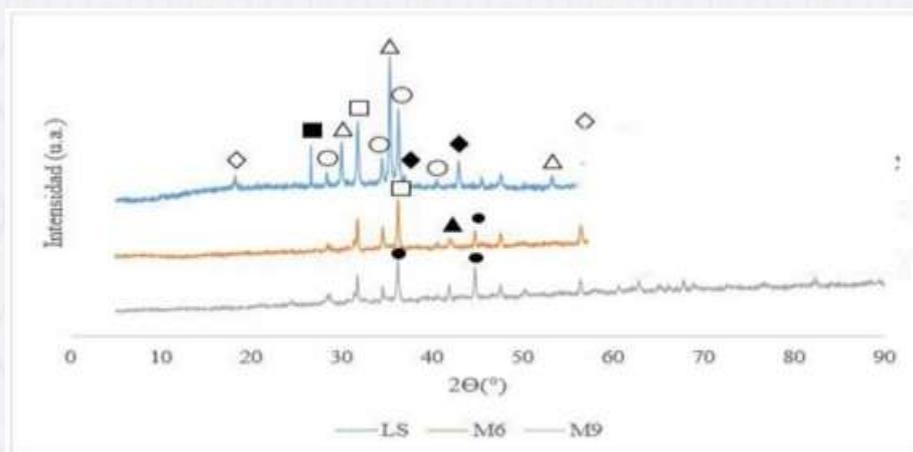


Figura 9 Difractogramas XRD para LS, M1 y M7

Los elementos y compuestos fueron identificados de acuerdo a la posición que se ha reportado en bibliografía, un resumen de estos con sus respectivos ángulos se presenta en la Tabla III mostrada a continuación:

Tabla 3 Asignaciones de ángulos para elementos identificados

Muestra	$2\theta(^{\circ})$	Pico	Elemento
LS	18,2 ; 56,7	◇	ZnFe ₂ O ₄ , Fe ₃ O ₄ , MgFe ₂ O ₄ , FeCrO ₄ , M11 ₃ O ₄
	26,5	■	SiO ₂
	28,3; 34,4; 36,3; 40,5; 62,3	O	Fe ₂ O ₃
	30; 35,3; 53,3	A	ZiFe ₂ O ₄ , Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , MgFe ₂ O ₄ , FeCrO ₄ , Mi ₃ O ₄
	31,8	□	Fe ₃ O ₄
	36,5; 43; 73,8	◆	ZnFe ₂ O ₄ , Fe ₃ O ₄ , MgFe ₂ O ₄ , FeCrO ₄ , M11 ₃ O ₄ , MgO
M1 y M7	31,8; 36,3	□	Fe ₃ O ₄
	34,4	O	Fe ₂ O ₃
	45; 36,3; 63; 82,5	•	Fe
	42; 61; 73	▲	FeO
	60	▼	MgSiO ₄
M5 y M8	31,8 ; 56,7	□	Fe ₃ O ₄
	34,4	O	Fe ₂ O ₃
	45; 36,3; 63; 82,5	•	Fe
	42; 61; 73	▲	FeO
M6 y M9	31,8 ; 56,7	□	Fe ₃ O ₄
	34,4	O	Fe ₂ O ₃
	45; 63; 36,3; 82,5	•	Fe
	42; 61	▲	FeO

* En el caso de todas las masas desaparecieron los picos a 18,2°, 26,5°, 35,3°, 36,5°, 40° 43°, 53,3°, 62,3° y 73,8°.

CONCLUSIONES

- ✓ El carbón vegetal puede utilizarse como un agente reductor para obtener hierro metálico de forma efectiva, a través del cual se produce una serie de reacciones directas con la formación principalmente de monóxido de carbono. De acuerdo con los porcentajes de reducción, las condiciones óptimas para este proceso son 950°C y 120 minutos, con lo que se obtuvo un porcentaje final de recuperación alrededor del 96%.
- ✓ Los análisis FTIR y XRD indican que en la muestra de lodo seco existe principalmente presencia de hierro en forma de óxidos como el Fe₂O₃ y Fe₃O₄, aunque también puede encontrarse en forma de minerales como, por ejemplo: la franklinita (ZnFe₂O₄), la magnesioferrita (MgFe₂O₄) y cromita (FeCr₂O₄). Los análisis FTIR y XRD muestran pequeñas cantidades de óxidos de hierro, lo que indica que no se reducen por completo luego del proceso, ya que la presencia de otros compuestos puede generar reacciones secundarias para la formación de nuevas sustancias.
- ✓ La tasa de reducción mejora con el incremento de la temperatura, puesto que la capa de hierro formada inicialmente crece a través de una reducción adicional que conduce a un mayor grado de reducción a temperaturas más altas, además, la mayor influencia de la temperatura se observa entre los tiempos de reducción de 90 y 120 minutos. Con base en el análisis ANOVA para la reducción de hierro, el tiempo y la temperatura de manera separada tienen un efecto estadísticamente significativo en este proceso, mientras que no influye la interacción entre ambos efectos.
- ✓ La etapa de reducción es la fase crítica en la recuperación de hierro a partir de los lodos residuales de la acería, ya que una temperatura y tiempo adecuados permiten una propicia formación y posterior crecimiento de las partículas de hierro metálico, es por ello que estas variables tienen una marcada influencia en el proceso.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue realizado con el financiamiento de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) y la Universidad Central del Ecuador (UCE) por medio del proyecto

INEDITA No. 20180150 CI. Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador por las facilidades técnicas y a todo el equipo del proyecto SludgeCat por el apoyo en el desarrollo del trabajo. E. Morales agradece a V. Ballagán por su apoyo en la realización de A.A.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acción Ecológica. *Impactos de la fundición de chatarra en el medio ambiente por parte de la fábrica ADELCA*. [Online].; 2007. Available from: <http://www.accionecologica.org/salud-y-ambiente/plaguicidas/778-impactos-de-la-fundicion-de-chatarra-en-el-medio-ambiente-por-parte-de-la-fabrica-adelca>.
2. Carrera E, Estrella A. *Diseño y construcción de un separador magnético para minerales*. [Online].; 2018. Available from: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7672>.
3. Cornell R, Schwertmann U. *The Iron Oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses*. (Vol. 113).. [Online].; 2006. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3172-5.00007-4>.
4. Delvasto P, al e. *Caracterización de polvos de acería eléctrica producidos en Venezuela y evaluación preliminar de su lixiviabilidad con ácidos orgánicos diluidos*. DYNA (Colombia). [Online].; 2011. Available from: <https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496/49622390026>.
5. Donoso J. *El impacto de la industrialización en el proceso de fabricación de productos intermedios de hierro o acero sin alear como mecanismo de sustitución de importaciones en el contexto de cambio de la matriz productiva de la industria siderúrgica del Ecuador*. [Online].; 2017.
6. Gao P, al e. *Reaction behavior of phosphorus in coal-based reduction of an oolitic hematite ore and predephosphorization of reduced iron*. [Online].; 2016. Available from: <https://doi.org/10.3390/met6040082>.
7. Heredia S. *Recuperación de hierro de lodos residuales de la industria de galvanizado por inmersión*. ; 1999.
8. Liu G, al e. *Thermal investigations of direct iron ore reduction with coal*. *Thermochimica Acta*. ; 2004.
9. Li S, al e. *Fundamental research in utilization of an oolitic hematite by deep reduction*. *Advanced Materials Research*, 158, 106-112. [Online].; 2011. Available from: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.158.106>.
10. Longa L, al e. *Estudio del proceso de calcinación de dos minerales de hierro limoníticos entre 250 °C y 950 °C*. *Revista Facultad de Ingeniería*. 2017.; p. 26(45), 33-45.
11. Machado J, al e. *Chemical, physical, structural and morphological characterization of the electric arc furnace dust*. *Journal of Hazardous Materials*. [Online].; 2006. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.01.044>.
12. Medina L. *Análisis de la viabilidad económica y ambiental del uso de armaduras corrugadas de acero inoxidable en elementos de hormigón armado sometidos a clases de exposición agresivas (Universidad Politécnica de Cataluña)*. [Online].; 2006. Available from: <https://upcommons.upc.edu/>.
13. Namduri H, Nasrazadani. *Quantitative analysis of iron oxides using Fourier transform infrared spectrophotometry*. *Corrosion Science*. [Online].; 2008. Available from: 50(9), 2493-2497.
14. Nath S. *Study of Reduction kinetics of Iron ore Pellets by Noncoking coal*. *Metallurgical and Materials Engineering*. [Online].; 2009.
15. Parikh S, Chorover J. *ATR-FTIR spectroscopy reveals bond formation during bacterial adhesion to iron oxide*. . [Online].; 2006. Available from: <https://doi.org/10.1021/la061359p>.
16. Pluske W, al e. *Total Organic Carbon. Fact Sheet*. [Online].; 2015. Available from: <http://www.soilquality.org.au/factsheets/organic-carbon>.
17. Senthil R, Raikumar P. *Characterization of minerals in air dust particles in the state of Tamilnadu, India through FTIR, XRD and SEM analyses*. *Infrared Physics and Technology*, 67(x), 30-41.. [Online].; 2014. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2014.06.002>.

18. Shokry hassan , Elkady M, al e. Formulation of synthesized zinc oxide nanopowder into hybrid beads for dye separation. *Journal of Nanomaterials*, 2014. [Online].; 2014. Available from: <https://doi.org/10.1155/2014/967492>.
19. Sosa B, al e. Industrias de fundición: Aspectos ambientales e indicadores de condición ambiental. *Revista de Metalurgia*, 49(1), 5-19.. [Online].; 2014. Available from: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1171>.
20. Yunos N, Aziz N, al e. Reduction behaviour of iron ores by agricultural waste chars. *Materials Science Forum*, 819(x), 31-36.. [Online].; 2015. Available from: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.819.31>.

13
Recibido: 2020/08/02
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

FACTIBILIDAD DE INYECCIÓN DE AGUA MEDIANTE BOMBA ELECTROSUMERGIBLE EN UN CAMPO PETROLERO

WATER FLOODING FEASIBILITY THROUGH ELECTROSUMERGIBLE PUMP IN OIL FIELD

Salazar Bryan¹, Mantilla Atahualpa¹, Constante Byron¹

¹Investigador, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito, Ecuador

*Corresponding: _est@uce.edu.ec

RESUMEN

El presente estudio consiste en la propuesta de factibilidad para aplicar un sistema de inyección de agua en el campo Oso, mediante un sistema electrosumergible para producir agua de un yacimiento con alta energía (Hollín), y aprovechar esta energía para tener la suficiente presión e inyectar fluido a yacimientos de baja presión. Se analizaron 100 pozos (activos y cerrados. En la primera etapa se realizaron pruebas de compatibilidad de agua de formación para todos los reservorios, en la selección de pozos, los criterios fueron: posibles pozos productores con porcentaje de agua mayor a 95% y posibles pozos inyectoros con poco aporte de petróleo, los criterios fueron utilizados para todas las plataformas. Para proponer los pozos candidatos los parámetros fueron: estadística descriptiva, mapas estructurales y ubicación de pozos en superficie. Para seleccionar la bomba electrosumergible del pozo productor de agua, se usó la caracterización de los fluidos y diagramas mecánicos disponibles para cada pozo.

Para transferir el agua del pozo productor al inyector se diseñaron líneas de flujo y válvulas para lo cual se revisó la ubicación de contrapozos y distancia entre pozos. Se determinó que el agua de Hollín es compatible con el agua de las arenas U y T, obteniendo un bajo índice de saturación de carbonato de calcio, por lo cual se garantiza la no precipitación de carbonatos en cabeza ni en fondo. Se definió que plataforma H es el lugar óptimo para aplicar el sistema de inyección de agua de la formación Hollín, al disponer del pozo OSOH- 126HS, actualmente cerrado, este pozo se considera como productor de agua para lo cual se deberá realizar un reacondicionamiento y disparar un intervalo bajo el contacto agua - petróleo, los pozos OSOH-114S1U y OSOH-125T se pueden convertir de productores a inyectoros, ya que la producción de petróleo es marginal.

Palabras clave: *inyección de agua; campo Oso; límite económico; pruebas de compatibilidad; bomba electrosumergible.*

ABSTRACT

The present study consists of the feasibility proposal to apply a water flooding system in the Oso field, using an electro-submersible system to produce water from a reservoir with high energy (Hollin), and use this energy to have sufficient pressure and inject fluid at low pressure reservoirs.

100 wells (actives and shuts) were analyzed. The first phase water compatibility tests were performed for all reservoirs in the selection of wells, the criteria were: possible producing wells with a percentage of water greater than 95% and possible injector wells with low oil production, the two criteria were analyzed in each PAD. To propose the candidate wells the parameters were: descriptive statistics, structural maps and location of surface wells. To select the electro-submersible pump of the water producing well, the characterization of the fluids and mechanical diagrams available for each well were used. To transfer the water from the producing well to the injector, flow lines and valves were designed, the location of cellars and distance between wells were reviewed.

It was determined that the Hollin water is compatible with the water U and T water reservoirs, obtaining a low index of calcium carbonate saturation which guarantees the non-precipitation of carbonates in the head or in the bottom. The PAD H is optimal for applying waterflooding of Hollin because the well OSOH-126HS is currently shut for which a workover will be done perforating under the contact oil water and the injectors wells OSOH-114S1U, OSOH-125T can be changed from producers to injectors due to the oil production is marginal

Keywords: waterflooding; Oso field; economic limit; compatibility test; electrosubmersible pump

INTRODUCCIÓN

El Bloque 7 se localiza en la parte centro-occidental de la cuenca Oriente en la provincia de Orellana. El campo Oso está ubicado en el Centro-Sur del bloque al Suroeste del campo Gacela, ver Figura 1.

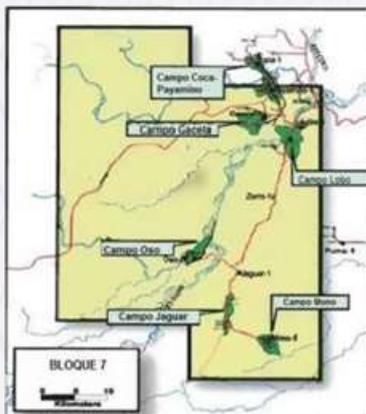


Figura 1 Ubicación del campo Oso Fuente: Petroamazonas, 2019

Ante el aumento exponencial de agua en ciertos pozos productores del campo Oso hasta la fecha, la producción de petróleo se ha visto afectada reduciéndose de 28.000 BOPD en marzo del 2014 a 11.500 BOPD en marzo del 2019.

El presente estudio consiste en proponer pozos candidatos para aplicar recuperación secundaria inyectando agua a un yacimiento de baja presión, aprovechando la energía de la formación Hollín con el uso del sistema de levantamiento electrosumergible para producir agua, esto evita el uso de tratamiento químico del agua a ser inyectada y reduce los costos de económicos en la inversión de facilidades de superficie.

Pozos del campo Oso

En campo Oso existen a junio 2019: 72 pozos productores de la arena Hollín, 9 de la arena U, 14 de la arena T y un pozo de la arena Basal Tena.

METODOLOGÍA

El tipo de estudio es analítico - descriptivo porque se analiza la información proporcionada por Petroamazonas sobre pruebas de compatibilidad realizadas a la arena Hollín y otras arenas productoras del campo Oso, a su vez, se propone pozos candidatos para producir agua y posibles pozos inyectoras basándose en el límite económico del campo. También se describe el diseño de un equipo electrosumergible para la producción de agua y el diseño de líneas de flujo, válvulas; para transferir agua desde el pozo productor al inyector.

Fases del estudio:

Etapa 1: Recopilación de información

- ✓ Producción (acumulada, diaria, declinación, límite económico)
- ✓ Reservorios (mapas estructurales, históricos de presiones)
- ✓ Fluidos (API, caracterización fisicoquímica, PVT)
- ✓ Pozo (diagramas mecánicos, trabajos realizados)
- ✓ Bombeo electrosumergible (información del pozo, características del fluido)
- ✓ Facilidades de superficie (cabezal, mapas de cellars, distancia entre pozos)

Etapa 2: Análisis de compatibilidad del agua de formación

- ✓ Producción diaria (petróleo, agua, fluido) y BSW
- ✓ Análisis por plataforma
- ✓ Pozos productores de agua Hollín (BSW > 95%)
- ✓ Pozos inyectoras de U, T (Baja producción de petróleo a la fecha)
- ✓ Análisis de compatibilidad a los pozos activos
- ✓ Se tomaron variaciones temperatura en el tiempo

Etapa 3: Selección de pozos candidatos

- ✓ Estadística descriptiva: media aritmética, límites superior e inferior.
- ✓ Clasificación de grupos: Desde el mayor al menor; pozos productores de agua y pozos productores de petróleo
- ✓ Pozos productores de agua de Hollín: Cerrado y/o con contenido de agua similar a 100%.
- ✓ Pozos inyectoras de U y T: Activos y cercanos al límite económico o baja producción de petróleo.

Etapa 4: Diseño equipo electrosumergible

- ✓ Parámetros de entrada para el software.
- ✓ Características de yacimiento (presiones de reservorio y fluyente, índice de productividad, corte de agua.
- ✓ Características de fluido (presión de burbuja, relación gas-petróleo, temperatura de burbuja, gravedades específicas de agua y gas.

Etapa 5: Diseño facilidades de superficie

- ✓ Distancia entre pozos

- ✓ Ubicación de contrapozos en superficie (productor - inyector)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de compatibilidad de agua de formación

Para realizar pruebas de compatibilidad se tomó en cuenta pozos productores a la fecha de estudio técnico, no se pudo realizar pruebas a pozos cerrados, abandonados, temporalmente abandonados, en caso de requerir pruebas de compatibilidad para este tipo de pozos, se puede tomar agua de un pozo cercano productivo.

Se consideraron los pozos que a junio 2019 tenían un corte de superior a 95%, siempre y cuando sean los representativos de cada plataforma y que pudieran ser productores de agua de Hollín; el criterio de bajo aporte de petróleo de cada plataforma fue considerado para seleccionar los posibles pozos inyectores en las arenas U, T, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Selección de pozos candidatos para realizar pruebas de compatibilidad

PLATAFORMA	POSIBLES PRODUCTORES HOLLÍN	POZOS AGUA	BSW (%)	POSIBLES INYECTORES EN U	POZOS INYECTORES EN T
A	OSOA-024HP		97	OSOA-071MS1U OSOA-073U	OSOA-077T OSOA-057HS2T
	OSOA-033HP		97		
	OSOA-049HHP		97		
	OSOA-075HHP		97		
	OSOA-092HHP		97		
	OSOA-093HHP		97		
B	OSOB-064HHP (*)		98,01	OSOB-052HS1U	OSOB-044T OSOB-066S1T
	OSOB-036HP		97		
	OSOB-074HP		96		
	OSOB-040HP		95		
	OSOB-072S1HP		95		
C	No existen pozos perforados			OSOC-008U	OSOC-006T
D	OSOD-020HP		96,5	No existen pozos perforados	OSOD-011T OSOD-010T
	OSOD-015HP		96		
	OSOD-019HP		95		
E	No existen pozos perforados			OSOE-001U	No existen pozos perforados
F	No existen pozos perforados			No existen pozos perforados	OSOF-002T (*)
G	OSOG-096HHP (*)		99,02	No existen pozos perforados	No existen pozos perforados
	OSOG-098HP		97		
	OSOG-089HHP		96,5		
	OSOG-100HP		96,5		
	OSOG-101HP		96,5		
H	OSOH-118HHP		98	OSOH-114HS1U OSOH-115U OSOH-121U	OSOH-125T
	OSOH-110HP		97		
	OSOH-117H HP		97		
	OSOH-113R1HP		96		
I	OSOI-142HP		95	No existen pozos perforados	OSOI-003T OSOI-144S1T
	OSOI-145HP		95		

Fuente: Petroamazonas, 2019

Tabla 2. Análisis de compatibilidad de OSOH-110HP con OSOH-114S1U

POZOS	% MEZCLA	CONCLUSIONES
-------	----------	--------------

	10 - 90	- Es compatible - Estable a la temperatura - Propiedades químicas no varían radicalmente conforme avanza el tiempo
OSOH-114U//OSOH-110HP	50 - 50	- Es compatible - Estable a la temperatura - Propiedades químicas no varían radicalmente conforme avanza el tiempo - No forma precipitados ni en cabeza ni en fondo
	90 - 10	- Es compatible - Estable a la temperatura - Propiedades químicas no varían radicalmente conforme avanza el tiempo

Fuente: Laboratorio Químico del Bloque 7

También se realizaron análisis de mezclas de agua en diferentes proporciones, con los parámetros tiempo y temperatura, en la Tabla 3 se muestra los ensayos de compatibilidad de la mezcla de agua de formación de los pozos OSOH-110HP con OSOH- 125T, lo que quiere decir que son compatibles.

Tabla 3 Análisis de compatibilidad de OSOH-110HP con OSOH-125T

POZOS	% MEZCLA	CONCLUSIONES
OSOH-125T//OSOH-110HP	10 - 90	- Es compatible - Estable a la temperatura - Propiedades químicas no varían radicalmente conforme avanza el tiempo - No forma precipitados ni en cabeza ni en fondo
	50 - 50	- Es compatible - Estable a la temperatura - Propiedades químicas no varían radicalmente conforme avanza el tiempo - No forma precipitados ni en cabeza ni en fondo
	90 - 10	- Es compatible - Estable a la temperatura - Propiedades químicas no varían radicalmente conforme avanza el tiempo - No forma precipitados ni en cabeza ni en fondo

Fuente: Laboratorio Químico del Bloque 7

De lo expuesto en la tabla anterior las plataformas A, B y H son óptimas para realizar el análisis de compatibilidad al agua de formación debido a que tienen pozos productores de las arenas Hollín, U y T. La plataforma H fue seleccionada para realizar pruebas de compatibilidad al agua de formación porque tiene el pozo OSOH-126 que está cerrado a la fecha, cañoneando bajo el contacto agua- petróleo se obtendrá 100% agua, sin embargo, para el análisis se escogió el pozo OSOH-110 que está cercano al pozo OSOH-126, para los pozos inyectoros se usaron mapas estructurales para determinar la ubicación estructural y la influencia de pozos, para lo cual se tiene los pozos OSOH-114U y OSOH-125T. En la Tabla 2 se muestra el resumen de los ensayos de compatibilidad de la mezcla de agua de formación de los pozos OSOH-110HP con OSOH- 114U, lo cual se puede deducir que los fluidos son compatibles.

Selección de pozos candidatos

Para seleccionar los pozos candidatos, 100 pozos entre activos y cerrados a junio 2019 fueron parte del estudio mediante estadística descriptiva (media aritmética, límite superior e inferior). De los parámetros estadísticos se obtuvo la clasificación de cuatro grupos de pozos productores de agua, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de grupos de pozos productores de agua

GRUPOS	DESCRIPCION	RANGO
--------	-------------	-------

I	- Pozos con excesiva producción de agua a la fecha. - Se debe analizar mediante curvas de declinación, el tiempo que alcanzará 99,99 % de agua.	9000 BAPD - 3316 BAPD
II	- Pozos con alta producción de agua a la fecha. - Se debe analizar mediante curvas de declinación, el tiempo que alcanzará 99,99 % de agua.	3316 BAPD - 1835 BAPD
III	- Pozos con moderada producción de agua a la fecha. - No se debe analizar, no genera suficiente agua del reservorio Hollín.	1835 BAPD - 800 BAPD
IV	- Pozos con pobre producción de agua a la fecha. - No se debe analizar, no genera suficiente agua del reservorio Hollín	800 BAPD - 0,97 BAPD

Los grupos I y II fueron analizados mediante curvas de declinación, en lo cual se determinó en que tiempo los pozos alcanzarán 99,99 % de agua. De los parámetros estadísticos se obtuvo la clasificación de cuatro grupos de pozos productores de petróleo, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5 Clasificación de grupos de pozos productores de petróleo

GRUPOS	DESCRIPCIÓN	RANGO
I	- Pozos con excelente producción de petróleo a la fecha. - No se debe analizar estos pozos, tienen gran aporte.	507 BPPD - 197 BPPD
II	- Pozos con buena producción de petróleo a la fecha. - No se debe analizar estos pozos, tienen gran aporte.	197 BPPD - 84 BPPD
III	- Pozos con regular producción de petróleo a la fecha. - Se debe analizar mediante curvas de declinación, el tiempo que estará por debajo del límite económico.	84 BPPD - 28 BPPD
IV	- Pozos con mala producción de petróleo a la fecha. - Se debe analizar mediante curvas de declinación, el tiempo que estará por debajo del límite económico.	28 BPPD - 0 BPPD

Los grupos III y IV fueron analizados mediante curvas de declinación, en lo cual se determinó en que tiempo la producción de petróleo estará por debajo del límite económico del campo. En este campo no se tiene un límite económico estándar, es decir, cada pozo tiene su propio límite económico, por ello se analizó cada plataforma y en las plataformas A, B, H se propuso pozos candidatos, ver Tabla 6. Sin embargo, mediante la declinación de producción se determina que la plataforma óptima para realizar inyección de agua mediante bomba electrosurgible en poco tiempo es la H.

Tabla 6 Propuesta de pozos en plataformas óptimas

SELECCIÓN DE POZOS CANDIDATOS PARA RECUPERACIÓN SECUNDARIA				
PLATAFORMA	POSIBLES PRODUCTORES AGUA	POZOS HOLLIN	POSIBLES POZOS INYECTORES EN U	POSIBLES POZOS INYECTORES EN T
	/	OSOA-029HP		

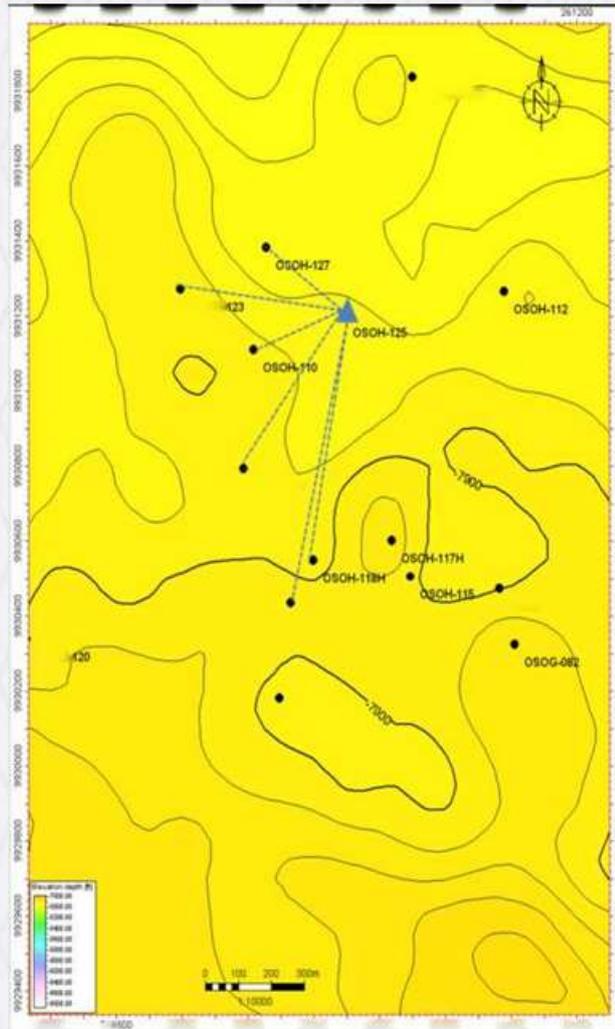


Figura 3 Mapa estructural Campo Oso influencia de inyección de agua arena T Fuente: Petroamazonas, 2019

Bomba Electrosumergible

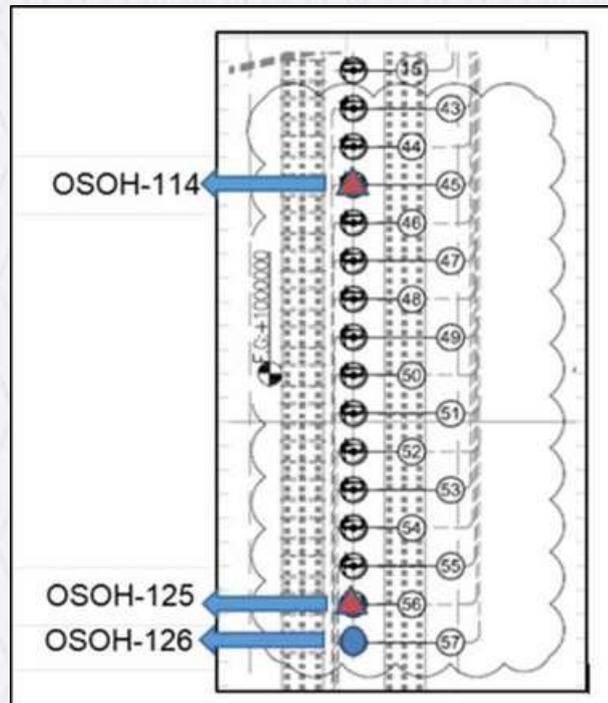
Tabla 7 Input para diseño de equipo

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA SELECCIONADO			
118 STG, 538 FLEX47 550 X H6 - 500 HP / 3485 V / 88 A - 562 XP			
		CONDICIÓN INICIAL	CONDICIÓN 1 AÑO
VARIABLES	GOR	30 scf/stb	30 scf/stb
	Índice de Productividad	4.52 STB / psig	4.52 STB / psig
	Corte de Agua	100%	100%
CONDICIONES DE OPERACIÓN	Tasa de Flujo Inyectado	4000 BFPD	4000 BFPD
	Profundidad de Intake	2500 FT MD	2500 FT MD
	Tasa de Flujo en Operación	4000 BFPD	4000 BFPD
	Tasa de Flujo total al Intake	4111 BFPD	4111 BFPD
	Tasa de Líquido al Intake	4111 BFPD	4111 BFPD
	Tasa de Gas dentro de la Bomba	0.00%	0.00%
	Fracción de Volumen de Gas a la entrada	0.00	0.00
	Gas dentro de la Bomba	0.00	0.00
	Eficiencia de Separación	98%	98%
	Cabeza Dinámica Total (TDH)	8112 FT	8112 FT
	Nivel de Fluido sobre la Bomba (FLWP)	875 FT	875 FT
	Presión a la Entrada (PIP)	348.8 PSI	348.8 PSI
	Presión de Descarga	2878 PSI	2878 PSI
Presión de Fondo Fluyente (Pwf)	3381 PSI	3381 PSI	
Frecuencia de operación	58.2 Hz	58.2 Hz	

Fuente: Petroamazonas, 2019

Facilidades de superficie

Se debe considerar pozos cercanos (contrapozos) para no usar demasiada línea de flujo y sea viable el proyecto.
Figura 4



Fuente: Petroamazonas, 2019

Figura 4 Distribución de contrapozos plataforma H

CONCLUSIONES

- ✓ No es factible realizar pruebas de compatibilidad a la arenisca Basal Tena debido a que existe un solo pozo productor en el campo, en la actualidad no será eficiente inyectar agua a la formación.
- ✓ Con el análisis de compatibilidad se demuestra que los fluidos son compatibles debido a que no se observa formación de precipitados, también las propiedades químicas no varían radicalmente ni con el tiempo ni con la temperatura.
- ✓ Las plataformas óptimas para realizar recuperación secundaria fueron A, B y H, sin embargo, la plataforma analizada a mayor detalle fue la H, por el corto tiempo para implementar el proyecto, donde se propusieron: pozo productor de agua de Hollín el OSOH-126, y como inyectores en U y T los pozos OSOH-114 y OSOH-125 respectivamente
- ✓ Es factible realizar recuperación secundaria por inyección de agua debido a que las arenas U y T han declinado su presión, el grado API es mediano lo que hace más viable desplazar el petróleo con el agua, y los pozos cercanos influenciados al aumentar su presión de reservorio aumentarán el caudal de fluido.
- ✓ El equipo electrosumergible seleccionado fue dos cuerpos de bombas de 59 etapas en total 118 etapas; esto puede levantar 4000 BAPD con un índice de productividad de 4,5, la presión en cabeza requerida fue de 2000 psi, la bomba fue ubicada en 2200 ft, la eficiencia de la bomba es 95% con una frecuencia de 58 Hz.
- ✓ Se deben diseñar facilidades mínimas: como líneas de flujo y válvulas de control para transferir el fluido desde el pozo productor hacia el inyector mediante bomba electrosumergible.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar un nuevo estudio cuando se hayan perforado más pozos con objetivo en la arenisca Basal Tena, además realizar las pruebas de compatibilidad a todas las plataformas.
- ✓ Implementar simulación dinámica en el software Water Drive en un futuro, para analizar el aumento del factor de recobro y como aumentaría la producción de pozos influenciados, también pruebas de inyectividad para monitorear el caudal y presión de inyección.
- ✓ Diseñar bombas electrosumergibles para pozos de la plataforma A, B para producir agua y diseñar facilidades de manera económicamente rentable.
- ✓ Realizar el análisis económico comparando la inyección de agua mediante bombeo electrosumergible y de manera convencional

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la empresa Petroamazonas EP, en especial al activo Coca - Payamino por la información proporcionada para el estudio, también se agradece al Ing. Camilo Torres - Gerente del Activo por todas las facilidades proporcionadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arias J, Chancusig M. Estudio para la implementación de un proyecto piloto de recuperación secundaria por inyección de agua en la arena U inferior del campo Sacha (Tesis de pregrado). [Online].; 2017. Available from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12992/1/T-UCE-0012-62-2017.pdf>.
2. Baker Hughes Centrilift. Electrical Sumersible Pumping System Handbook. Oklahoma, USA: Claremore. ; 2007.
3. Delgado A. Inyección de agua de baja salinidad en yacimientos areno arcillosos (Tesis de pregrado). [Online].; 2016. Available from: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10147/Inyecci%C3%B3n%20de%20Agua%20de%20Baja%20Salinidad%20en%20Yacimiento%20Areno%20Arcilloso.pdf?sequence=1>.
4. Guerrón J, Robalino, D. Estudio de los resultados del cambio de sistema de levantamiento hidráulico a electrosumergible en el campo Sacha y definición de criterios para selección de pozos, Enero 2013 (Tesis de pregrado). [Online].; 2013. Available from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/>
5. Naranjo C. Factibilidad de la inyección de agua en las arenas Mugrosa del campo Lisama (Tesis de pregrado). [Online].; 2010. Available from: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133463.pdf>.
6. Petroamazonas EP. Informe final de reservas y recursos. Quito. Ecuador.; 2018.
7. Petroamazonas EP. Límite Económico del campo Oso. Quito-Ecuador.; 2018.
8. Salazar B. Análisis técnico de factibilidad para inyección de agua proveniente de Hillín a un yacimiento de baja energía mediante bombeo electrosumergible en el campo Oso (Tesis de Pregrado). Quito-Ecuador.; 2019.
9. Sierra F, al e. Desarrollo y producción en la nueva era petrolera-Bloque 7. Quito-Ecuador.; 2015.

14

Recibido: 2020/08/02
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE LENTEJA (*Lens culinaris*)

OBTAINING LENTIL STARCH (*Lens culinaris*)

Guanga Ana¹, Ortiz Edison¹, Rojas Richard¹, Dalgo Violeta^{2*}

¹Investigador Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

² Docente Investigador Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

*Corresponding: viola18df@epoch.edu.ec

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo con el propósito de obtener almidón a partir de la lenteja (*Lens culinaris*), para ello fue necesario realizar el análisis organoléptico y físico de la materia prima en donde es imprescindible realizar la prueba de lugol de modo que se asevere que existe almidón en la muestra, después de esto se procedió al lavado y pesado de la materia prima para luego ir a la etapa de triturado, para lo cual se utilizó una licuadora con un volumen específico de agua, la mezcla obtenida se filtró con la ayuda de una malla y se la dejó decantar de manera que se separe el líquido en la parte superior y el almidón vaya al fondo, la cantidad de almidón obtenida necesitó ser secada al aire libre, logrando como producto de salida una especie de harina blanca con un tamaño de partícula sumamente pequeño, Finalmente fue necesario realizar análisis organolépticos y análisis proximales al almidón obtenido, el uso del análisis factorial 2^k, se realizó considerando distintos tiempos de licuado y rpm del equipo, es imperante mencionar que el almidón es un polisacárido de gran utilidad para distintas industrias jugando un papel clave en el desarrollo industrial.

Palabras clave: Lenteja, almidón, extracción, secado, filtración.

ABSTRACT

The present research has been conducted to obtain starch from lentils (*Lens culinaris*), for this purpose it was necessary to perform the organoleptic and physical analysis of the raw material where it is essential to perform the Lugol test so that it is stated that there is starch in the sample, After this, the raw material was washed and weighed and then went to the crushing stage, for which a blender with a specific volume of water was used, the mixture obtained was filtered with the help of a screen and left to decant so that the liquid separated at the top and the starch went to the bottom, the amount of starch obtained needed to be dried in the open air, achieving as output a kind of white flour with a very small particle size, finally it was necessary to perform organoleptic analysis and analysis proximate to the starch obtained, the use of factorial analysis 2^k, was made

considering different times of liquefaction and rpm of the equipment, it is imperative to mention that starch is a polysaccharide very useful for different industries playing a key role in industrial development.

Keywords: Lentil, starch, extraction, drying, filtration.

INTRODUCCIÓN

Actualmente según (Luengo, 2018), los problemas del mundo se basan en el consumo excesivo de polímeros sintéticos, que se utilizan ampliamente como materiales de embalaje y otros usos. Como mencionan (Ríos, López, Riaño, & Osorio, 2017), estos materiales sintéticos tienen la protección deseada, como evitar que las partículas exhiban higroscopicidad, inhibir la migración de oxígeno, dióxido de carbono, aroma, lípidos y otras propiedades que los hacen adecuados para su uso. Sin embargo (Domb, 2000) en su libro considera que el problema principal de estos productos es que no se pueden degradar rápidamente (Brito & Chuiza, Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza, 2020), además a esto no existe una cultura de reciclaje que permite que se genere una gran cantidad de desechos.

Los desarrollos tecnológicos según (Solana, 2010) y las fórmulas químicas complejas según (Kara, Karadirek, Muhammetoglu, & Muhammetoglu, 2016) han permitido la fabricación de sustituyentes de polímeros sintéticos para reducir los residuos de contaminación, ya que las materias primas son fáciles de manejar y su posterior preparación no es complicada, por lo que se debe tener paciencia al usarlas. Además (Forsell, 2002) describe que son importantes los beneficios para la salud por las características de las legumbres y las lentejas para las personas que consumen legumbres regularmente, su valor nutricional también es importante.

Las lentejas según (Manihot, Sorghum, & Moench, 2019) son una buena fuente de energía barata, fácil de almacenar y combinar con varios alimentos. Es rico en proteínas y aminoácidos, por lo que es un alimento muy completo. "En 100 gramos de lentejas secas, el 50% es almidón, el 23% es proteína y 1,7 g es lípido. Después de remojar y hervir, nos proporcionan 88 calorías y 8 gramos de proteína vegetal".

Para obtener almidón de las lentejas, según (Kara, Karadirek, Muhammetoglu, & Muhammetoglu, 2016) primero se debe recolectar las materias primas y luego analizar la fórmula para obtener el mejor almidón de lentejas sin desperdiciar las materias primas, lo cual se verifica por trituración. Después dice (Gómez O., 1989), se filtra en una licuadora las lentejas para permitir que el líquido resultante repose durante 24 horas para obtener un precipitado blanco del almidón, y para caracterizarlo por el siguiente método: se debe agregar Lugol como dice (Arrieta & Jaramillo, 2014) para determinar si la muestra estaba presente. El almidón se seca, lo que requiere 180 minutos a 65 grados centígrados.

La biopelícula dice (Vázquez-Briones, Raymundo, Ruiz, & Vigil, 2013) es un ecosistema microbiano compuesto por varios microorganismos, que se encuentran en superficies vivas o inertes, con características funcionales y estructuras complejas. Este proceso según (Plackett, 2014) ocurre cuando la conformación microbiana se adhiere a la superficie o sustrato para formar una matriz extracelular adhesiva y protectora. La biopelícula dice (Bertuzzi, Armada, Gottiferri, Aparicio, & Jimenez, 2015) puede contener aproximadamente el 15% de las células y el 85% de la matriz extracelular, que está compuesta de polisacáridos extracelulares y constituye un canal de circulación para el agua, las enzimas, los nutrientes y los desechos.

La meta principal de usar productos alternativos para (González, Castro, & Caro, 2015) es reducir el consumo excesivo de plásticos, que son los principales derivados del petróleo, y los plásticos que se degradan por mucho tiempo dice (González, Castro, & Caro, 2015) también son factores importantes que hacen que las personas carezcan de cultura ambiental. Después de reciclar estos materiales dice (Gorosquera, y otros, 2004) muchos de estos desechos finalmente se descargan en vertederos en el fondo del océano, que son fuentes dañinas para las especies locales en todos los entornos, porque en el océano, muchos animales acuáticos finalmente mueren debido al consumo de estos desechos (Brito H., Residuos sólidos generados en el Centro Comercial la Condamine y su disposición final, 2015).

Los carbohidratos dicen (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007) son importantes por el almidón debido a su relevancia nutricional y la presencia de fibra saludable, ya que tienen digestibilidad del almidón en varios alimentos. El almidón es el producto dominante en la dieta humana. Es el ingrediente principal para (García & Jymm, 2013) que cambia la textura y la consistencia de los alimentos. Es ampliamente utilizado debido a su capacidad espesante y gelificante. El almidón según (Ríos, López, Riaño, & Osorio, 2017) es un polisacárido semicristalino compuesto de D-glucopiranosas, que está conectado por enlaces glucosídicos. Los enlaces glucosídicos están formados por dos estructuras de amilosa diferentes unidas por enlaces α -(1-4). Este es un polímero lineal.

Las biopelículas dicen (Arrieta, Peltzer, Selva, & Jimenez, 2011) están hechas de diferentes polisacáridos, como celulosa, carbohidratos y derivados, que pueden producir una matriz continua con excelentes propiedades mecánicas y ópticas. La investigación actual intenta proporcionar un método alternativo para obtener biopelículas de lentejas a fin de reducir los contaminantes de los desechos plásticos existentes en el mundo.

METODOLOGÍA

La obtención del almidón a partir de la lenteja, la cual fue adquirida en los mercados locales de la ciudad de Riobamba, para la debida extracción del almidón que se lo realizó de manera artesanal o en plantas tecnificadas, teniendo en cuenta que en la lenteja existe un gran contenido de almidón dentro de su valor nutricional.

Una vez obtenido el producto se toma hincapié en las operaciones unitarias útiles para realizarlo lo mismo que comienza con un acondicionamiento de la materia prima, triturado, filtrado, decantado y secado, teniendo en cuenta que se realizaron dos veces ciertos procesos como trituración y filtrado, para la obtención de la mayor cantidad de almidón presente en la lenteja, logrando optimizar el proceso de extracción.

La metodología utilizada para la extracción del almidón de lenteja se basó en el procedimiento de (Guamán, 2019); con lo cual se tuvo que adaptar a nuestra materia prima, la cual no ha sido especificado un procedimiento específico, iniciando con un proceso de recepción de materia prima, lavado y pesado, obteniendo 4800 gramos de lenteja, después se realiza la desintegración mecánica de los sólidos, molienda hasta la obtención de una harina homogénea, teniendo en cuenta que este parámetro determinara la eficiencia en la operación de obtención de almidón, luego se procede al peso de la harina de lenteja en lotes de 200 gramos para proceder a la extracción de almidón mediante un agitador industrial, en este caso se usó una licuadora industrial con 1 litro de agua por cada 200 gramos de harina de lenteja, luego se realiza un proceso de filtrado, que nos sirve para poder separar los sólidos suspendido de diámetro grande, para eso se usaron tamices de 250 micrómetros de luz de malla, además se usó una media nylon para poder extraer o más las partículas para una posterior sedimentación, en este caso volvemos a repetir la extracción para aprovechar y optimizar el proceso de obtención de almidón, mediante una segunda trituración en la licuadora y un segundo filtrado. La trituración se realizó en tiempos de 1 minuto con velocidad 1RPM en la licuadora; luego se realiza el mismo procedimiento para los tiempos de 2 y 3 minutos velocidad 2RPM.

Por último, se realizó la operación de sedimentación y decantado donde se tiende a la separación del almidón de la lechada, se debe dejar en reposo por 3 horas, así como lo indica al eliminar el agua en el fondo del recipiente obteniendo la separación de la fase líquida del sólido que es el almidón húmedo, con lo cual mediante parámetros bioquímicos se realizó una identificación del mismo con una prueba de Lugol, la cual indica la presencia de almidón en el sólido para proceder al secado del mismo, el que se entiende por secado a la operación unitaria mediante la cual se puede separar total o parcialmente el líquido contenido en un sólido húmedo por evaporización a cierta temperatura, sin la afcción de sus propiedades en una corriente gaseosa, este proceso se lo hace realizó en un horno a 70° C durante 22 minutos. El acondicionamiento final comprende etapas de

molienda, tamizado y empaque en el cual se puede realizar el análisis de almidón, proximal y microbiológico, de nuestro producto final obtenido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1 Caracterización Organoléptica de la Lenteja

DESCRIPTORES		TRATAMIENTO																											
		1				2				3				4				5				6							
		REPETICIONES																											
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Color	Verdoso	x	x	x	x	x	x	x	x																	x	x	x	x
	Café									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
Olor	Inoloro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Desagradable																												
Textura	Duro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Suave																												
Sabor	Amargo																												
	Salado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fuente: Guanga A. /et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

La materia prima utilizada como se menciona es la lenteja por tal motivo realizar su respectivo análisis organoléptico es importante, el 50% de la lenteja utilizada presenta un color externo café y el 50% restante una coloración verdosa. No presenta un olor en especial, pero tiene un deguste salado, su textura es dura por lo que fue necesario una molienda hasta obtener un gránulo fino.

Tabla 2 Análisis Proximal de la Lenteja

Nº	Almidón (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)
1	53,65	12,14	2,88	25,26		5,33
2	48,6	10,4	2,1	22,9	1,63	-
3	-	13,26	2,05	20,88	1,16	5,48
4	40	12	2,06	25	-	9
5	20,7	11,84	3,01	-	3,01	4,03
PROMEDIO	40,74	11,93	2,42	23,51	1,933	5,96

Fuente: Guanga A. /et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

La materia para el almidón en este caso la lenteja contiene alrededor de un 40,74% de almidón lo cual es muy bueno ya que se acerca prácticamente a la mitad de su composición, el restante de su composición se distribuye en un 11,93% en humedad, 2,42% de cenizas, 23,51% proteína, 1,93% de lípidos y 5,96% de fibra.

Tabla 3 Caracterización Organoléptica del Almidón de Lenteja

DESCRIPTORES		TRATAMIENTOS					
		1	2	3	4	5	6
Color	Blanco	X	X				
	Crema			X	X	X	X
Olor	Inoloro						X
	Levadura	X	X	X	X	X	
Textura	Rugoso						
	Suave	X	X	X	X	X	X

Fuente: Guanga A. /et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Una vez han transcurrido de 41 a 63 horas del proceso de secado para las diferentes muestras de almidón se realiza una mezcla de las repeticiones de acuerdo a las variables de tiempo y revoluciones por minuto empleadas, de esta manera se obtienen 6 tratamientos, los mismos que fueron analizados de manera organoléptica, los dos primeros tratamientos presentan una coloración blanca, mientras que en los 4 restantes predomina el color crema. Se realiza una comparación de olores y la más cercana de los 4 primeros tratamientos es el olor a la levadura fresca, el sexto no caracteriza ningún olor. Finalmente, la textura de todos los tratamientos es suave.

Tabla 4 Análisis Proximal del Almidón de Lenteja

Parámetro	1	2	3	4	5	Promedio
Humedad (%)	11,02	9,2	10,54	11,2	16	11,59
Cenizas (%)	-	0,19	0,24	1,66	0,03	0,53
Proteínas (%)	0,24	0,69	0,72	0,29	0,5	0,49
Lípidos (%)	0,07	0,1	0,84	-	0,4	0,35
Fibra cruda (%)	0,21	-	2,37	6,28	0,9	2,44
Acidez	0,013	0,009	0,01	-	0,014	0,01
pH	6,3	6,18	-	6,27	6,39	6,29
Temperatura de gelatinización (°C)	67,5	68,7	67,9	66,4	67	67,50

Fuente: García G. /et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Los resultados obtenidos con el almidón de lenteja extraído mediante un análisis proximal nos muestran que tiene la temperatura de gelatinización del almidón junto con la humedad, proteínas, pH y su acidez no varía por mucho en los estudios investigados mientras que su porcentaje de cenizas, lípidos y fibra varía considerablemente en algunos casos.

Tabla 5 Amilosa y Amilopectina en el Almidón de Lenteja

Nº	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
1	31,2	68,8
2	-	67,5
3	33,9	66,1
4	32,52	65,48
5	35,27	-
PROMEDIO	33,22	66,97

Fuente: García G. /et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Los resultados de amilosa y amilopectina del almidón de lenteja se observan que el almidón de lenteja contiene un 66,97% de amilopectina siendo mayor al porcentaje de amilosa que es de un 33,22%.

Tabla 6 Rendimiento de la Extracción en Base Seca del Almidón de Lenteja

TRATAMIENTOS	REPETICIONES	PESO (g)		Rendimiento Individual %	Promedio del Rendimiento%
		LENTEJA	ALMIDÓN		
TA1	R1	200	31	15,50	24,63
	R2		59	29,50	
	R3		51	25,50	
	R4		56	28,00	
TA2	R1		49	24,50	23,63
	R2		48	24,00	
	R3		43	21,50	
	R4		49	24,50	
TA3	R1		22	11,00	17,38
	R2		34	17,00	
	R3		38	19,00	
	R4		45	22,50	
TA4	R1		53	26,50	23,50
	R2		41	20,50	
	R3		41	20,50	
	R4		53	26,50	
TA5	R1		43	21,50	26,63
	R2		53	26,50	
	R3		76	38,00	
	R4		41	20,50	
TA6	R1		64	32,00	27,13
	R2		51	25,50	
	R3		58	29,00	
	R4		44	22,00	

Fuente: García G. /et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020

Para la extracción del almidón en base seca se consideran variables como son el tiempo de licuado y las revoluciones por minuto, para cada repetición se utilizan 200 gramos de lenteja molida, una vez culminado el proceso de secado sus diferentes pesos son registrados, por tal motivo se halla que los

pesos más inferiores y por ende con bajo rendimiento es el tratamiento 3 cuyas variables son el tiempo empleado de 3 minutos y a una revolución por minuto.

De acuerdo al análisis se determina que existen numerosos estudios donde se indica el rendimiento de tubérculos conocidos como la papa y la yuca, en este estudio se hace referencia a un grano importante en la alimentación como es la lenteja, según (García, Pinzón, & Sánchez, 2012), la yuca variedad ICA se caracteriza por su alto contenido de almidón, ya que sus raíces son de tamaño considerable con relación a otras variedades, expresando en su estudio que el rendimiento en la extracción del almidón fue de 56,84% mostrando ser eficiente, mientras que el rendimiento más alto de los 6 tratamientos utilizando diferentes variables en la extracción del almidón de lenteja fue el tratamiento número 6 con un rendimiento del 27,13%, lo cual nos indica que comparado con el almidón de yuca su rendimiento es bajo.

CONCLUSIONES

Mediante la aplicación de la metodología para la obtención de almidón a partir de lenteja se usaron diversas operaciones unitarias, como trituración de sólidos, filtrado, sedimentación y secado, las cuales fueron útiles el proceso de obtención de almidón, buscando la optimización del proceso se realizó una doble trituración y filtración, logrando extraer el máximo almidón presente en la harina de lenteja, teniendo la menor cantidad de residuos posibles y mayor producto, se realizaron diversos tratamientos, variando la velocidad de la trituración, obteniendo mayor resultado a una mayor potencia de velocidad 2 a menor tiempo 1 minuto, además del secado óptimo a 70° C durante 22 minutos.

Respecto a los resultados que se obtuvieron en la práctica, se consideró que en el tratamiento número 6, se obtuvo un rendimiento total de producción del 27,13%, respecto a los otros tratamientos y un porcentaje de 17,38% de rendimiento en el tratamiento 3 siendo el menor de los mismos, se recalca que en comparación entre los 6 tratamientos todos tienen un rendimiento próximo a diferencia del último tratamiento. Mediante un análisis proximal de almidón de lenteja, se obtuvieron los siguientes parámetros como humedad del 11,59%, cenizas 0,53%, proteínas 0,49%, lípidos 0,35%, fibra cruda 2,44%, acidez 0,01%, pH 6,29 y una temperatura de gelatinización de 67,50 (°C). Además de que el contenido de amilosa fue de 33,22% y de amilopectina de 66,97%, respecto a la norma técnica de la FAO se encuentra dentro de los parámetros ya establecidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Luengo JM. Bioplásticos de origen bacteriano: los poli-hidroxicanoatos. *Ambiociencias*. 2018:: p. 5-24.
2. Ríos Á, López C, Riaño L, Osorio A. Silk fibroin and their potential applications on biodegradable food packaging. *Prospectiva*. 2017:: p. 7-15.
3. Domb J. *Handbook of Biodegradable Polymers*. Dallas: Synechion, Inc; 2000.
4. Brito H, Chuiza M. Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza. *Dominio de las Ciencias*. 2020 junio; 6(2).
5. Solana V. *Elaboracion y caracterizacion de biopelículas a partir del almidon de yuca*. Mexico DF: Instituto Politécnica Nacional; 2010.
6. Kara S, Karadirek I, Muhammetoglu A, Muhammetoglu H. Hydraulic Modeling of a Water Distribution Network in a Tourism Area with Highly Varying Characteristics. *Procedia Engineering*. 2016:: p. 521-529.
7. Forsell P. Permeabilidad de la amilosa y amilopectina de los bioplásticos. *Polimeros Carbohidratos*. 2002:: p. 125-129.

8. Manihot S, Sorghum B, Moench L. *Formulación Y Caracterización De Una Biopelícula Comestible Elaborada A Partir De Almidón De Sorgo*. Ri.Ues.Edu.Sv. 2019;; p. 201-202.
9. Gómez O. *Posibilidades de la utilización de los subproductos del beneficio del cacao*. En: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) Memoria Seminario Regional Sobre Tecnología Poscosecha Y Calidad Mejorada del Cacao. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 1989;; p. 141-146.
10. Arrieta Á, Jaramillo A. *Bioplásticos eléctricamente conductores de almidón de yuca*. Revista Colombiana de Materiales. 2014;; p. 42-49.
11. Vázquez-Briones MC, GBJA, JRARMM, Raymundo V, Ruiz J, Vigil A. *Recubrimientos de frutas con biopelículas*. Selectos de Ingeniería de Alimentos. 2013;; p. 5-14.
12. Plackett D. *New Materials for Sustainable Films and Coating*. [Online].; 2014. Available from: <https://books.google.com.ec/books?isbn>.
13. Bertuzzi A, Armada M, Gottiferri J, Aparicio A, Jimenez P. *Estudio de la permeabilidad al vapor de agua de films comestibles para recubrir alimentos*. [Online].; 2015. Available from: <https://books.google.com.ec/books?isbn>.
14. González R, Castro J, Caro Y. *Obtención de biopelículas binarias activas y su efecto en la vida útil microbiológica del camarón blanco*. Información tecnológica. 2015;; p. 03-10.
15. Gorosquera E, Suárez F, Huicochea E, Núñez M, González R, Bello-Pérez L. *Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (Musa paradisiaca)*. Acta Científica Venezolana. 2004;; p. 86-90.
16. Brito H. *Residuos sólidos generados en el Centro Comercial la Condamine y su disposición final Santa Cruz de la Sierra*: SE; 2015.
17. Meneses J, Corrales C, Valencia M. *Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. EIA. 2007;; p. 57-67.
18. García M, Jymm A. *Estudio comparativo en la elaboración de biofilm a partir de almidón de maíz (Zea Mays) y proteína de leche con adición de glicerina como agente plastificante, obtenida durante el proceso de biodiesel en la estación de EEA*. El porvenir. 2013;; p. 12-17.
19. Arrieta M, Peltzer M, Selva G, Jimenez A. *Envases alimentarios sostenibles. Biopelículas activas obtenidas a partir de proteínas lácteas*. Seguridad y medio ambiente. 2011;; p. 46-56.
20. García O, Pinzón M, Sánchez L. *Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, Manihot esculenta, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles*. @LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA. 2012;; p. 1-7.
21. Angeles P. *Diseño de un proceso industrial para obtener plástico biodegradable (TPS) a partir de almidón de yuca manihot esculenta*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Luis Gallo; 2015.
22. Hernández M, et al.. *Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México*. Scielo. 2008.
23. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias I Riobamba*: Docucentro ESPOCH; 2000.
24. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias II Riobamba*: Docucentro ESPOCH; 2001.
25. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias III Riobamba*: SE; 2001.

15
Recibido: 2020/08/02
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN A PARTIR DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)

OBTAINING STARCH FROM RICE (*Oryza sativa* L.)

Fray Ximena¹, Iza Yólida¹, Vaca Brayan¹, Esparza Cristian²

¹ Investigador Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

² Docente Investigador Facultad de Ciencias Pecuarias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

*Corresponding: cesparza@epoch.edu.ec

RESUMEN

Para la obtención del almidón a partir del arroz blanco (*Oryza sativa* L.), primero se realizó la caracterización y análisis sensorial del tipo de arroz sometido a la investigación, determinando que este cereal contiene en su composición almidón y minerales como el calcio y el hierro, también es rico en vitaminas, como la niacina, la vitamina D, la tiamina y la riboflavina, por lo que se ha visto la oportunidad de aprovechar este almidón dando un plus al arroz para su comercialización. Para extraer el almidón de este cereal se realizó 6 tipos de tratamiento al arroz procesado en una piladora Industrial; por cada tratamiento se tomó 4 muestras las cuales pesaron 200 g de arroz cada una y estas fueron lavadas con 1L de agua destilada.

Para el tratamiento TA1 y TA2 se pesó y lavó la muestra de arroz comercial con agua destilada a distintos tiempos, mientras que para el tratamiento TA3 y TA4 se pesó el arroz comercial y fue triturado a velocidad baja por lapsos distintos de tiempo respectivamente y luego este fue lavado. Finalmente, los tratamientos TA5 y TA6 se ocupó el arrocillo que se obtiene en las piladoras como trozos de arroz pequeños, producto del proceso de secado, este arrocillo no es sometido a la operación de refinado, en estos tratamientos son pesados y lavados a distintos tiempos en cada tratamiento.

Después del proceso del lavado, cada muestra del tratamiento respectivo es filtrado para separar el agua con almidón del arroz y arrocillo, luego se dejó reposar por 12 horas el resultado del proceso anterior para lograr que el almidón sedimente y se lo separa del agua con impurezas, este proceso de pesado, lavado, filtrado y sedimentado de cada muestra se lo realizó dos veces para asegurarnos que el almidón que se precipita sea más limpio. Al repetir este proceso se deja secar para que el almidón a temperatura ambiente para dejar sin excedente de agua y así obtener el almidón en partículas muy pequeñas o polvo.

Palabras clave: Almidón, arroz, lavado, triturado, sedimentar, secado.

ABSTRACT

To obtain starch from white rice (*Oryza sativa* L.), the characterization and sensory analysis of the type of rice under investigation was first performed, determining that this cereal contains in its composition starch and minerals such as calcium and iron, is also rich in vitamins, such as niacin, vitamin D, thiamine and riboflavin,

so we have seen the opportunity to take advantage of this starch by giving a plus to the rice for marketing. To extract starch from this cereal, 6 types of treatment were performed on processed rice in an Industrial Pilator; for each treatment 4 samples were taken which weighed 200 g of rice and these were washed with 1L of distilled water.

For treatment TA1 and TA2 The commercial rice sample with distilled water was sucked and washed at different times, while for treatment TA3 and TA4 commercial rice was sucked and crushed at low speed for different time lapses respectively and then it was washed. Finally, treatments TA5 and TA6 occupied the arrochillo obtained in the pilars as small pieces of rice, product of the drying process, this rice is not subjected to the refining operation, in these treatments are heavy and washed at different times in each treatment.

After the washing process, each sample of the respective treatment is filtered to separate the starched water from the rice or rice, then the result of the previous process was left to rest for 12 hours to make the starch sediment and separated from the water with impurities, this process of weighing, washing, filtering and sedimenting each sample was performed twice to ensure that the starch that is precipitated is cleaner.

By repeating this process it is allowed to dry so that the starch at room temperature to leave without excess water and thus obtain the starch in very small particles or dust.

Key words: Starch, rice, washed, crushed, settled, dried.

INTRODUCCIÓN

La investigación de la extracción de almidón a partir de arroz (*Oryza sativa* L.) inicia con el análisis sensorial del arroz obteniéndose tamaños aproximados de 5 milímetros de longitud, aparentemente sin emanación de olor, de textura ligera y color blanquizco (Viteri, 2003), debido a que es una planta de la familia del trigo o de la avena que puede llegar a alcanzar hasta 1,8 metros de altura, a través de la limpieza y el descascarillado se obtiene el arroz, el mismo que actualmente es una de las principales fuentes de almidón, conteniendo el 80% de almidón en su composición (Barrios, 2013), considerando que este es un polisacárido sintetizado a partir del dióxido de carbono que toman las plantas de la atmósfera y del agua que toman del suelo, formando por una mezcla de dos sustancias; amilasa y amilopeptina (Andrés, 2005), debido a la diversidad de propiedades funcionales específicas que posee, logra una alta productividad y buena calidad para la extracción del almidón (Brito & et al, Obtaining Yacon Flour (*Smallanthus sonchifolius*), 2019) natural a partir de arroz (*Oryza sativa* L.) (Viteri, 2003).

Para la extracción del almidón, se inicia con la obtención de arroz (*Oryza sativa* L.), el mismo que se obtiene de las piladoras del cantón Quevedo, provincia Los Ríos (María Fernanda Alava Vera, 2018), en esta planta se separa dos tipos de arroz, el arroz apto para comercializarlo y el arroz dañado o conocido como arroz de rechazo (Tropical, 1989), con lo cual se logra el aprovechamiento de desechos agrícolas en la elaboración de nuevos productos (Guillermo, 1994), este rechazo se genera por la aplicación de un reproceso en la zona de pelado y pulmiento (Patricio, 2010).

Seguidamente, se selecciona el arroz apto para comercializarlo, el proceso a seguir para los primeros dos tratamientos (TA1 y TA2) será el siguiente: para cada muestra se pesa 200 gr para luego ser lavadas con 1L de agua destilada (Narcisa, 2015), posteriormente ser filtrado (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias II, 2001) con una luz de malla más pequeña para separar el arroz del agua con almidón (Méndez, 2008), la calidad del almidón, respecto a su contenido de fibras e impurezas, depende de la malla que se utilice; se puede obtener almidón de mejor calidad empleando malla 120 o más fina (Fernando, 2016) . Estos dos métodos se van a diferenciar uno del otro por sus tiempos en el proceso de lavado (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias I, 2000), ya que se realizarán en 1 minuto para el TA1 y 2 minutos para el TA2. En

cuanto a los tratamientos faltantes (TA3 y TA4), se adicionará el proceso de trituración de 5 y 10 segundos respectivamente antes de ser lavados con agua destilada y su posterior filtración (Ospina, 2002).

Adicionalmente se realizaron dos tratamientos más (TA5 y TA6), para ello se pesa 200 gr de arrozillo o arroz de rechazo y se sigue con el mismo proceso por el cual pasaron el TA1 y TA2 (Tropical, 1989). Todos estos tratamientos se repiten 4 veces cada uno. La lechada de almidón que sale de la coladora contiene almidón (Brito & Chuiza, Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza, 2020), fibra fina y material proteico en suspensión (Gómez G. S., 2003), una vez sedimentado el almidón se considera que tiene una humedad entre 45-47 (Brito H., Texto Básico de Operaciones Unitarias III, 2001) por ciento (Ortiz, 2005), el proceso de lavado y sedimentación se lo realizó dos veces para todos los tratamientos, lográndose obtener el almidón lo más limpio posible (Ana, 1983), se recomienda que en una industria el canal ideal para crear un flujo laminar y lograr una sedimentación homogénea debería ser rectilíneo y de más de 180 m de largo (Ángela, 2010).

Para finalizar, se procede a la evaporación del agua a temperatura ambiente (22°C) (Orlando, 2004), eliminándose del almidón un 100% de agua (Camila, 2005), lográndose obtener un almidón con un color característico y en partículas muy pequeñas, cabe recalcar que dentro de sus propiedades encontramos características como: no son dulces sino neutros, por su viscosidad se emplea para espesar alimentos, aumentan la capacidad para unir agua en condiciones frías y en condiciones calientes y reducen costos, etc. Una vez secado (Brito H., Texto Básico de Operaciones Unitarias III, 2001) y enfriado el almidón es tamizado para remover las partículas grandes y luego es transportado por alimentadores helicoidales (Viteri, 2003).

METODOLOGÍA

Para adquirir el producto principal y extraer de este el almidón, se realiza un sin número de actividades, empezando por la obtención de arroz el cual se lo realiza directamente de las piladoras, en esta planta se separa el arroz apto para comercializarlo del arroz pequeño o conocido como arrozillo; para esto se implementa 4 tipos de tratamiento de arroz.

En los tratamientos (TA1 y TA2), para cada muestra se pesa 200g. de arroz y se lava con 1L de agua destilada, en este tratamiento el tiempo de lavado es de 1 y 2 minutos respectivamente en cada muestra, posteriormente pasa a un proceso de filtrado donde se separa el arroz del agua con almidón. Se debe realizar 4 repeticiones por cada proceso.

Para el tratamiento (TA3 y TA4), para cada muestra se pesa 200g., estas son trituradas a una velocidad baja (licuadora) durante 5 y 10 segundos respectivamente, a continuación, estas muestras son lavadas con 1L. de agua destilada, pasando al proceso de filtración y separación del arroz triturado del agua con almidón. Se debe realizar 4 repeticiones por cada proceso.

Finalmente, para los tratamientos (TA5 y TA6), se pesan muestras de 200g. de arroz de rechazo (arrozillo), el cual es sometida al proceso de lavado con 1L de agua destilada por un tiempo de 3 y 5 minutos respectivamente, luego pasa al proceso de filtrado para separar el arrozillo del agua que contiene al almidón. Se debe realizar 4 repeticiones por cada proceso.

Una vez obtenida el agua con almidón se deja en reposo por aproximadamente 12 horas para que sedimente el almidón, este proceso de lavado y sedimentado se lo realiza dos veces con las condiciones respectivas de cada tratamiento, continuamos con el proceso de evaporación del agua presente en el almidón sedimentado a una temperatura ambiente (22°C). Una vez que el almidón se encuentra seco, se somete a una operación de trituración, obteniéndose el almidón en polvo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo el producto obtenido corresponde a almidón de arroz (*Oryza sativa*) mediante 6 tratamientos TA1, TA2, TA3, TA4, TA5 y TA6, en los dos primeros la variable a estudio es el tiempo de lavado del arroz entero, en TA3 y TA4 para mejor resultado se tritura la materia prima, en donde se varia el tiempo de trituración (1 y 2 minutos) y se mantiene constante la velocidad del equipo de trituración (intensidad baja, velocidad 1) y para las últimas dos repeticiones se utilizó arroz de rechazo (arrocillo) variando el tiempo de lavado (3 y 5 minutos respectivamente), realizando 4 repeticiones de cada tratamiento para que los datos obtenidos tengan mayor precisión.

La caracterización de la forma y tamaño de los gránulos del almidón de arroz se determinaron en estudios previos (18) mediante observación microscópica electrónica de barrido presentan formas poliédricas e irregulares, donde se reportaron valores de 1,4 – 7,49 μm para el diámetro de los gránulos (18). La forma que presentaron los gránulos del almidón fueron esféricas y su color característico es blanco en TA5 y TA6, mientras que para los cuatro primeros tratamientos fue de color beige. Según la norma técnica FAO del análisis físico químico del almidón el color es un indicativo del grado de calidad, contaminación o infestación del almidón, dicho esto el almidón debería tener un color blanco.

Tabla 1 Propiedades físico-químicas del almidón de Arroz

Parámetros	Almidón de Arroz	Norma INEN Harina de Arroz			Norma Técnica FAO
		Mín	Max	Método de ensayo	
Amilosa (%)	21.53	----	----		17-24
Amilopectina (%)	78.47	----	----		76-83
Humedad (%)	9.19	-----	12.0	NTE INEN ISO 712	10-13
Proteína (%)	0.48	6.0	----	NTE INEN ISO 20483	-----
Fibra (%)	0,978	----	0.8	NTE INEN 522	-----
Cenizas (%)	2.19	-----	1.0	NTE INEN ISO 2171	<0.12
Temperatura de gelatinización (°C)	67.39	----	----	-----	58.5 – 70
pH	6.5	----	-----	----	6.0 – 6-5

Fuente: FRAY, X., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

La tabla 1 muestra los resultados de algunas propiedades fisicoquímicas del almidón y el método utilizado, y la comparación con la norma INEN de harina de arroz y la Norma Técnica FAO del almidón nativos; entre estos datos está el porcentaje de amilosa y amilopectina los cuales reflejan un valor de 21.53 y 78.47% respectivamente encontrándose dentro del rango que especifica la norma técnica, la cual dice que el porcentaje de amilosa para el almidón de yuca está entre los rangos de 17 a 24% y el porcentaje de amilopectina oscila entre 76 a 83%. (19)

Al analizar los resultados del análisis proximal destacando entre estos los parámetros de humedad, proteína, fibra y cenizas, donde el porcentaje de humedad revela un valor de 9.19% cantidad se encuentra bajo el rango que establece tanto la Norma INEN como la FAO el cual va en un rango de 10 a 13% según (19) mientras que la proteína no alcanza el valor mínimo que registra la norma INEN por ello se comparó con los resultados obtenidos en un estudio similar de igual obtención (19) es de 0,15±0.03%, esta cantidad varía dependiendo la cantidad y calidad del arroz que se toma como muestra.

De igual manera para fibra cruda es 0.978; el porcentaje de ceniza que es de 2.19% que está en un rango adecuado según lo que establece la norma técnica de la FAO de <12%, así como de cenizas.

Finalmente se midieron los parámetros de pH y temperatura de gelatinización con resultados de 6,5 y 67.39 °C respectivamente (20), estando dentro de los valores establecidos por la norma técnica INEN y FAO (19).

Tabla 2. Rendimiento del almidón de arroz

No.	TRATAMIENTOS	PESO (g)		RENDIMIENTO (%)
		ARROZ	ALMIDÓN	
1	TA1	800	7	0.875
2	TA2		8.5	1.06
3	TA3		9.2	1.15
4	TA4		12.7	1.59
5	TA5		265	33.12
6	TA6		297	37.13

Fuente: FRAY, X., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Los resultados de la tabla 2 reflejan los pesos promedios de almidón que se obtiene de cada uno de los tratamientos que se realizó al arroz, de igual manera presenta los datos de rendimiento promedio del almidón que se tiene al mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{rendimiento} = \left(\frac{\text{peso de almidón promedio}}{\text{peso de la arroz}} \right) * 100\%$$

El mayor rendimiento se obtiene con el tratamiento TA6 y el menor en el tratamiento TA1, esto se debe a las variables planteadas en el proceso donde el tiempo de lavado es prolongado y se realizó con residuo de arroz, es decir, se obtiene mayor cantidad de almidón a comparación entre los tratamientos restantes, los cuales tienen un rendimiento muy bajo, estableciendo así que preferentemente se debe trabajar con un tiempo de lavado de 5 minutos y la utilización de rechazo de arroz.

Tabla 3. Análisis microbiológico del almidón de arroz

Análisis	Resultado	Especificación
Conteo total de colonia s/g	10 UFC/g	<10 ³ UFC/g
Conteo de escherichia Coli UFC/g	Ausente	Ausencia
Conteo de hongos y levaduras UFC/g	15 UFC/g	<10 ² UFC/g

Fuente: FRAY, X., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

En la tabla 3, se realizó un análisis microbiológico (21) al producto obtenido, los cuales según las normas técnica FAO para almidones nativos, indica que los valores conseguidos mediante el análisis están dentro de los rangos permitidos con ausencia de Escherichia Coli.

CONCLUSIONES

- ✓ Para obtener un almidón con un color característico y en partículas muy pequeñas, fue necesario la aplicación de 6 tratamientos, esto debido a que en los 4 primeros tratamientos no se obtuvo un rendimiento significativo con respecto a la cantidad, adicionalmente se realizó un lavado del mismo para obtener un almidón más limpio y de mejor calidad.
- ✓ Se obtuvo una mayor cantidad de almidón con los tratamientos 5 y 6 con respecto a los demás tratamientos, el rendimiento más alto obtenido es de 37.13% del tratamiento 6, el tiempo de lavado ayudó de manera favorable para este resultado, llegando a la conclusión que el arrozillo al no ser un arroz refinado contiene mayor cantidad de almidón que el arroz común comercial.
- ✓ Se comparó los parámetros físico químicos y microbiológicos del almidón de arroz obtenido con la norma Técnica FAO y la norma INEN para almidón, indicando que todos estos parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos por las normas establecidas.

AGRADECIMIENTO

Faltarían páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, se merecen el más grato y sincero reconocimiento a nuestras familias por el apoyo incondicional en el desarrollo del mismo y de igual forma al Ing. Hannibal Brito Ph.D., Docente de la Cátedra de Gestión y Auditoría Ambiental de la Carrera de Ingeniería Química, por los conocimientos impartidos, que han sido vitales para la realización del presente trabajo, así como las directrices que han servido de guía para llevar a cabo nuestra idea, los cuales se verán reflejados en cada uno de los puntos tratados de este artículo.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Debido a que en la actualidad existe mucha contaminación ambiental por los diferentes productos químicos surge la necesidad de aprovechar todo aquello que aparentemente no sirve, siendo nuestro caso el almidón obtenido a partir del arroz (*Oryza sativa* L.) el cual es un desperdicio que puede ser utilizado en la elaboración de nuevos productos siendo uno de ellos la obtención de bioplástico, viscosante en la elaboración de cosméticos, etc., como una solución viable y un producto de calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Viteri GIV. Sostenibilidad y competitividad del cultivo de arroz y su impacto en la economía campesina en las provincias de Guayas y Los Ríos Guayaquil, Ecuador: EC. INIAP; 2003.
2. Barrios SCAL. Extracción de almidón a partir de arroz de rechazo molido como viscosante en la elaboración de cinco cosméticos. Guatemala: CIAT; CLAYUCA; Ministerio de Agricultura y Desarrollo; 2013.
3. Andrés S. Manual de farmacognosia, análisis microscópicos y fitoquímico, y usos de plantas meidicinales S.A. R, editor. Bogotá, Colombia; 2005.
4. Brito H, et al. Obtaining Yacon Flour (*Smallanthus sonchifolius*). International Journal of Current Research and Academic Review. 2019.
5. Maria Fernanda Alava Vera JTPCGHCL. La producción arroceras del Ecuador Ecuador: ISSN 07981015; 2018.
6. Tropical CIdA. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. Cali, Colombia; 1989.
7. Guillermo C. La liberalización y privatización del mercado de arroz. Revista Espacios. 1994 Julio.
8. Patricio M. Extracción de Almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad Cavendish) producto de desecho de las industrias bananeras y evaluación de su función como excipiente en la formulación de

- comprimidos (tesis de licenciatura). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala. ; 2010.*
9. Narcisa ALC. *Controles Administrativos para la piladora contreras. Guayaquil; 2015.*
 10. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias II Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2001.*
 11. Méndez P. *Análisis del mercado mundial de arroz. España: Reverte S.A.; 2008.*
 12. Fernando H. *Manifiesto para la gricultura familia campesina e indígena en Ecuador. Quito, Ecuador: IAEN; 2016.*
 13. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias I Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2000.*
 14. Ospina B,GMyAC. *Sistemas mecanizados de siembra y cosecha para el cultivo de arroz. Cali, Colombia; 2002.*
 15. Brito H, Chuiza M. *Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza. Dominio de las Ciencias. 2020 junio; 6(2).*
 16. Gómez G,SJyVM. *Situación actual y perspectivas del cultivo de arroz en Perú. Puerto Maldonado, Perú: Estadísticas arroceras de Perú; 2003.*
 17. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias III Riobamba: SE; 2001.*
 18. Ortiz F. *El arroz en Bolivia. Bolivia: Universidad del Valle; 2005.*
 19. Ana A. *Obtaining yacon Flour (Smallanthus sonchifolius). Usos e industrialización de la batata. Boletín Informativo No. 5. pp. 8. 1983 República Dominicana.*
 20. Ángela M. *Extracción de Almidón de banano verde (Musa sapientum variedad Cavendish) producto de desecho de las industrias bananeras y evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos. Guatemala: Universidad de Guatemala; 2010.*
 21. Orlando V. *Cassava starch production process in Brasil, Thailand and China. Brasil: NGO Raizes and Cargill Foundation. pp. 147-185; 2004.*
 22. Camila F. *Enología: Fundamentos Científicos y Tecnológicos. Madrid, España.; 2005.*
 23. Brito H, et al. *Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado Mayorista del cantón Riobamba. 2016.*
 24. Brito H. *Residuos sólidos generados en el Centro Comercial la Condamine y su disposición final Santa Cruz de la Sierra: SE; 2015.*
 25. Brito H. *Texto Básico de Ingeniería de Plantas Riobamba; 2000.*

16
Recibido: 2020/08/02
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca* L.)

OBTAINING GREEN BANANA STARCH (*Musa paradisiaca* L.)

Hidalgo Jéssica¹, Macas Jimena¹, Pazmiño Katherine¹, Chuiza Marco^{2*}

¹Colaborador, Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

²Investigador, Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

*Corresponding: mchuiza@epoch.edu.ec

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló con la finalidad de obtener almidón a partir del plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) para lo cual, se realizó un análisis factorial 2k, en donde se realizó un total de 6 tratamientos en cada uno de estos tratamientos se efectuó 4 repeticiones a 2 velocidades del equipo considerando 3 tiempos de licuado para cada velocidad que va en un rango de 1-3 min; la parte experimental inició con la respectiva limpieza de la materia prima para cada repetición se empleó 200 gramos de verde al cual se lo mezcló con 1000 ml de agua, después del proceso de licuado se filtró con una malla, la parte filtrada se dejó en reposo durante un tiempo determinado para que el almidón pueda sedimentar y separar el líquido sobrenadante y el almidón, la parte sólida se secó a temperatura ambiente, obteniéndose almidón con características físicas similares al de las harinas, para la determinación otros parámetros se consideró varios artículos científicos, concluida la fase de obtención de almidón se registró datos obteniéndose un mayor promedio de rendimiento de 45,36 % en el tratamiento 5 a velocidad media durante 2 minutos.

Palabras clave: plátano, almidón, sedimentación, secado, filtración.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in order to obtain starch from green plantain (*Musa paradisiaca* L.) for which, a 2k factorial analysis was carried out, in which a total of 6 treatments were carried out in each of these treatments. 4 repetitions at 2 gear speeds 3 blending times for each speed ranging from 1-3 min; the experimental part automatically with the respective cleaning of the raw material for each repetition, 200 grams of green was used, which was mixed with 1000 ml of water, after the liquefying process it was filtered with a mesh, the filtered part was left to stand for a certain time so that the starch can settle and separate the supernatant liquid and the starch, the part was specifically dried at room temperature, obtaining starch with physical characteristics similar to that of flours, for the determination of other parameters several scientific articles were considered At the end of the starch obtaining phase, data were obtained obtaining a higher average yield of 45.36% in treatment 5 at medium speed for 2 minutes.

Keywords: plantain, starch, sedimentation, drying, filtration.

INTRODUCCIÓN

El almidón es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables (1). Debido a que el almidón (Brito & et al, Obtaining Yacon Flour (*Smallanthus sonchifolius*), 2019) es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) en la industria alimentaria, es necesario buscar nuevas fuentes de extracción, ya que con una producción mundial de 48,5 millones de ton/año (2), existe una demanda insatisfecha del mismo.

De las calorías consumidas por los humanos, cerca del 70 al 80% provienen del almidón. Es la principal fuente de almacenamiento de energía en los vegetales, ya que se encuentra en grandes cantidades en las diversas variedades de plantas, como, por ejemplo, en los granos de cereales, los cuales contienen entre 60 y 75% de su peso seco (Brito H. , TEXTO BASICO DE OPERACIONES UNITARIAS III, 2001) de almidón, así como también, puede encontrarse en tubérculos, semillas de leguminosas y en algunas frutas, y su concentración varía con el estado de madurez de los mismos (3).

El almidón es uno de los carbohidratos que encontramos en muchos alimentos, al ser digerido en nuestro organismo se transforma en glucosa la cual se utiliza como la principal fuente de energía de los seres vivos. Desde el punto de vista químico, el almidón es un polisacárido, el resultado de unir moléculas de glucosa formando cadenas largas, aunque pueden aparecer otros constituyentes en cantidades mínimas. El almidón se diferencia de los demás hidratos de carbono presentes en la naturaleza en que se presenta como un conjunto de gránulos o partículas (4).

El almidón (Brito & Chuiza , Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza, 2020) es la sustancia con la que las plantas almacena su alimento en raíces, tubérculos, frutas y semillas (cereales). Pero, no solo es una importante reserva para las plantas, también para los seres humanos tiene una alta importancia energética. Se encuentra en las patatas, el arroz, los cereales, las frutas. Etc. En una dieta sana, la mayor parte de la energía la conseguimos a partir de almidón y las unidades de glucosa en que se hidroliza (5).

METODOLOGÍA

El material de partida fue plátano verde (*Musa paradisiaca L.*) que fue adquirido en los mercados de la ciudad de Riobamba, teniendo en cuenta que los verdes seleccionados tengan una coloración externa uniforme y que no presenten daños físicos.

Para la obtención del almidón a partir del plátano verde se empleó la metodología descrita por (6), quien señala que el mejor método para obtener un mayor rendimiento de almidón es mediante vía húmeda (Brito H. , TEXTO BASICO DE OPERACIONES UNITARIAS III, 2001), para lo cual primero se lavó los plátanos con agua potable para eliminar las suciedades adheridas en la superficie, luego con el cuchillo se procedió a quitar manualmente la cascara del plátano verde, se saca el fruto y se lo corta en pedazos, luego se pesa 200 g del fruto y se lo coloca en la licuadora con un litro de agua, para licuar se considera las variables de tiempo y RPM (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias I, 2000), siendo así que la muestra se licua en la primera velocidad durante 1 minuto, la segunda muestra se licua en la primera velocidad durante 2 minutos y la tercera muestra se licua en la primera velocidad durante 3 minutos; para cada muestra se efectuaron cuatro repeticiones. Luego el mismo procedimiento se realiza, pero con la segunda velocidad y con los tiempos de 1, 2 y 3 minutos, teniendo así 6 muestras con diferentes tratamientos.

Luego a cada muestra licuada se le realiza una filtración, operación unitaria que separa los sólidos suspendidos en un líquido (7) , esto se realiza con el cedazo y el líquido obtenido se lo coloca en un recipiente transparente en donde se a dejar sedimentar los sólidos presentes en la solución por un lapso de 7 horas, una vez sedimentado se separa el líquido clarificado y el sedimento, el sedimento obtenido es el almidón húmedo de plátano verde,

este se lo coloca de forma homogénea en hojas de papel aluminio para que se seque al ambiente por un lapso de 70 horas, el almidón ya seco se lo tritura (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias I, 2000) con el bolillo de madera con el fin de reducir el tamaño de partícula (7) , en el trabajo de (8) se recomienda proseguir con el tamizado (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias I, 2000) para obtener una granulometría uniforme, el polvo obtenido se pesa y se lo coloca en fundas ziploc, las mismas que se mantienen a temperatura ambiente. Finalmente se calculó el porcentaje de rendimiento del almidón seco con respecto a la cantidad de materia prima utilizada en cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) obtenido en el presente trabajo se realizó mediante un análisis factorial 2k, a partir del cual se realizó 6 tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 en los que varía la velocidad del equipo de trituración con 2 velocidades y se consideró 3 tiempos de trituración (1, 2 y 3 minutos) esto se aplicó a las 4 repeticiones para cada tratamiento con la finalidad de obtener mayor precisión en los datos.

La caracterización de la forma y tamaño de los gránulos del almidón de plátano verde se determinaron mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido ambiental (MEBA) en la cual se basa en el estudio de superficies de distintos materiales gracias a la combinación de elevada resolución y gran profundidad del campo. Los gránulos presentaron un diámetro promedio de 27,26 μm . Además, la forma que presentaron los gránulos del almidón fueron ovaladas alargadas. (4)

Tabla 1 Características organolépticas de materia prima

Características Organolépticas	Materia Prima (Plátano Verde)
<i>Color</i>	Color crema (blanco)
<i>Olor</i>	Olor agradable
<i>Textura</i>	Pulpa firme, se rompe al doblarse y al tacto se siente húmedo, suave y es brillante.
<i>Forma</i>	Redonda

Fuente: HIDALGO, J., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

En la tabla 1 se muestran la caracterización de las propiedades organolépticas de la materia prima (plátano verde) como color, olor, textura, y la forma las cuales corresponden a los criterios de calidad y seguridad.

Tabla 2 Características organolépticas del almidón del plátano verde

Características Organolépticas	Almidón del plátano verde
<i>Color</i>	Color café claro
<i>Olor</i>	Agradable
<i>Textura</i>	Almidón firme, no se observa humedad mantiene su flexibilidad. Al tacto no es lisa no suave y es opaca.
<i>Forma</i>	Sin forma

Fuente: HIDALGO, J., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

En la tabla 2 a su vez se realizó la caracterización de algunas propiedades físicas del almidón del plátano verde obtenido de los 6 tratamientos con una similitud entre los mismos respecto al color, olor, textura y forma los cuales se encuentra dentro de los estándares requeridos previa a la obtención del bioplástico.

Tabla 3 Análisis proximal del almidón extraído

PARÁMETROS	ALMIDÓN DE VERDE	MÉTODO	NORMA TÉCNICA SEGÚN LA FAO
Amilosa (%)	19,09	Colorimétrico de Morrison y Leignelet (1983)	17-24%
Amilopectina (%)	80,90	Colorimétrico de Morrison y Leignelet (1983)	76-83%
Humedad (%)	8,15	AOAC 925.10	10-13%
Proteína factor 6.25 (%)	2,88	MAL-04/ AOAC 981.10	-
Fibra (%)	7,73	MAL-50/ PEARSON	-
Cenizas (%)	1,86	AOAC 923,03	<0.12
Carbohidratos totales (%)	86,98	Cálculo	-
Temperatura de gelatinización (°C)	66	Calorimetría diferencial de barrido (CDB)	58,5-70°C
pH	5	AOAC 943.02	4,5-5,5

Fuente: HIDALGO, J., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

En la tabla 3 muestra los resultados de algunas de las propiedades físicoquímicas del almidón de plátano verde y el método usado, en comparación con la norma técnica según la FAO; dentro de los parámetros se encuentra el porcentaje de amilosa y amilopectina con un valor de 19,09 y 80,90% respectivamente encontrándose dentro del rango que especifica la norma técnica, la cual nos indica que el porcentaje de amilosa para el almidón del plátano verde esta entre los límites de 17-24% y el porcentaje de amilopectina está entre 76-83% (5).

Al analizar los resultados del análisis proximal destacando entre estos los parámetros de humedad, proteína, fibra, cenizas y carbohidratos totales, para el porcentaje de humedad se obtiene un 8,15% este valor no se encuentra dentro del rango de 10-13% que establece la FAO, en lo que respecta al rango de la proteína y fibra no se encontró en la norma técnica se comparó con los resultados obtenidos en un estudio similar elaborado por (6), obtenido un valor de 2,88 y 7,76% respectivamente, en el porcentaje de ceniza se tiene 1,86% está sobre los valores que establece la norma técnica de la FAO que dice que debe ser 12% pero concuerda con los valores de (6) 1,89% para cenizas, para el valor de carbohidratos totales es de 86,98%.

Finalmente se analizó los parámetros de pH y temperatura de gelatinización con resultados de 5 y 66 °C respectivamente, estando dentro de los valores establecidos por la norma técnica de la FAO que van de 4,5 – 5,5 para pH y 58,5 – 70 °C para la temperatura de gelatinización. (5)

Tabla 4 Rendimiento del almidón de plátano verde

No.	TRATAMIENTOS	PESO (g)		RENDIMIENTO (%)
		PLÁTANO VERDE	ALMIDÓN	
1	T1	200	84,5	10,56
2	T2		95	11,88
3	T3		113	14,13
4	T4		174,5	22,81
5	T5		362,88	45,36
6	T6		185,7	23,21

Fuente: HIDALGO, J., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Los datos obtenidos en la tabla 4 reflejan los pesos promedios del almidón que se obtiene de cada uno de los tratamientos que se realizó del plátano verde, de igual manera presenta los datos de rendimiento promedio del almidón del plátano de verde que se tiene mediante la siguiente expresión:

$$\%rendimiento = \left(\frac{\text{peso de almidón promedio}}{\text{peso de la yuca}} \right) * 100\%$$

El mayor rendimiento se obtiene con el tratamiento 5 (T5) y el menor se obtiene en el tratamiento 1 (T1), esto se debe al contenido de materia seca del almidón es un factor que depende tanto de la materia prima como del método de obtención y de las condiciones del proceso de deshidratación cabe mencionar que son los tratamientos en los que se obtiene mayor cantidad de almidón y menor cantidad respectivamente, estableciendo así que preferentemente se debe trabajar con un tiempo de trituración de 2 min y con una velocidad media del equipo de trituración para obtener un buen rendimiento.

Tabla 5 Análisis Microbiológico del almidón de plátano verde

ANÁLISIS	MOHOS Y LEVADURAS	AEROBIOS MESOFILOS	ESCHERICHIA COLI
Media aritmética	150,09	104,54	0,00
Desviación estándar	4,55	4,55	0,00
Coficiente de variación	2,86	4,35	0,00

Fuente: HIDALGO, J., et al, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

En la tabla 5, se realizó un análisis microbiológico (7) del almidón obtenido, los cuales según la norma técnica FAO para almidones nativos, nos menciona que los datos obtenidos mediante el análisis están dentro de los rangos permitidos con ausencia de Escherichia Coli.

CONCLUSIONES

- ✓ A través del análisis factorial 2k para la obtención del almidón a partir de la plátano verde, al registrar los resultados obtenidos se alcanzó un mayor promedio del rendimiento de 45,36% en el tratamiento 5 con velocidad media durante un tiempo de 2 minutos, mientras que un menor promedio de rendimiento con un valor de 10,5625 % en el tratamiento 1 con velocidad menor durante un 1 minuto, es decir el promedio de rendimiento a velocidad menor incrementa a media que aumenta el tiempo de licuado, mientras que a una velocidad media no existe una variación proporcional con el tiempo.
- ✓ Las características organolépticas del almidón que fueron determinadas son color café claro, olor agradable, además también presenta una textura semejante al de una harina.
- ✓ En base a los resultados obtenidos el análisis proximal se obtuvieron las siguientes propiedades físicas amilosa 19,09%; amilopectina 80,90%; humedad 10%; proteína 0,06%; fibra 1,01%; cenizas 0,20 ,125%; carbohidratos totales 93,05%; temperatura de gelatinización 65°C y un pH 4,5.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brito H, et al. Obtaining Yacon Flour (*Smallanthus sonchifolius*). *International Journal of Current Research and Academic Review*. 2019.
2. Brito H. *TEXTO BASICO DE OPERACIONES UNITARIAS III* Riobamba, Ecuador: Docucentro, ESPOCH; 2001.
3. Brito H, Chuíza M. Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza. *Dominio de las Ciencias*. 2020 junio; 6(2).
4. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias I* Riobamba, Ecuador: Docucentro ESPOCH; 2000.
5. Hinojosa F, Cárdenas F, Álvarez H, Cobeña Ge(. *Manual de la yuca*. Manabí, Ecuador: EC. INIAP; 1995.
6. Ceballos H, de la Cruz G. *Taxonomía y morfología de la yuca*. En: *La yuca en el tercer Milenio. Sistemas Modernos de Producción , Procesamiento, Utilización y Comercialización* Cali: CIAT; CLAYUCA; Ministerio de Agricultura y Desarrollo; FENAVI; 2004.
7. Waliszweski K, García Alvarado M, De la Cruz Medina J. Kinetics of enzymic hydrolysis of cassava flour starch - optimization modelling: *International journal of Food Science & Technology*; 2007.
8. Eggleston G, Omoaka P, Arowshegbe A. Flour, starch and composite breadmaking quality of various cassava clones: *Journal of the Science of Food and Agriculture*; 1993.
9. Pérez E, Lares M, Gonzáles Z, Tovar J. Production and Characterization of Cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) Flour using different thermal treatments: *interciencia*; 2007.
10. Cobana M, Antezana R. PROCESO DE EXTRACCION DE ALMIDON DE YUCA POR VIA SECA. *Revista Boliviana de Quimica*. 2007.
11. Peroni FG. *Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de deferentes fontes botânicas* Sao José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista "Julio de MesquitaFilho"; 2003.
12. Huang J. *Function-Structure Relationships of Acetylated Pea Starches*. Netherlands: Wageningen Univerity; 2006.
13. Fritz HG. *Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological material*. Stuttgart: European Comission; 1994.
14. Surco F. *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: Mashua (*tropaeolum tuberosum*), Oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus Tuberosus*) para su aplicación tecnológica* Lima; 2004.
15. Trujillo C. *OBTENCION DE PELICULAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDON DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) DOBLEMENTE MODIFICADO PARA USO EN EMPAQUE DE ALIMENTOS* Puerto Maldonado, Perú: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios; 2014.

16. Montoya H. *Industrialización de la Yuca: Obtención de Almidón Nativo y sus Aplicaciones Cauca, Colombia: Universidad del Valle; 2007.*
17. Brito H, Borja D, Chango G. *Obtaining yacon Flour (Smallanthus sonchifolius). 2019.*
18. Angeles P. *Diseño de un proceso industrial para obtener plástico biodegradable (TPS) a partir de almidón de yuca manihot sculenta Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Luis Gallo; 2015.*
19. Aristizábal J, Sánchez T. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN; 2007.*
20. Hernández M, et al.. *Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Scielo. 2008.*
21. Correa D, Castaño MF, Montoya J. *Influencia del método de extracción en las propiedades. UGCiencia. 2017;: p. 88-91.*
22. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias II Riobamba, Ecuador: Docucentro ESPOCH; 2001.*
23. Medina C, Paredes A, Rodríguez M, Moreno M, Camacho D, García D, et al. *Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango. Bioagro. 2010;: p. 67-74.*

17
Recibido: 2020/08/02
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

OBTENCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DEL PLÁTANO DE SEDA (*Musa paradisiaca*)

OBTAINING STARCH FROM SILK BANANA (*Musa paradisiaca*)

López Ana¹, Maliza Verónica¹, Ramírez Cinthya¹, Coba Raquel^{2*}

¹Colaborador, Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

² Investigador, Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

*Corresponding: lettyrc6@yahoo.com.mx

RESUMEN

*Esta investigación desarrollada para obtener almidón a partir del plátano seda (*Musa paradisiaca*) por el método húmedo que consta de licuar la pulpa del plátano seda con agua purificada en una licuadora para lograr una especie de licuado denso.*

La obtención de almidón consta de una serie de pasos dinámicos simples en donde inicia por la selección de los plátanos seda, estos deben estar verdes, sin empezar la maduración y en buen estado para asegurar el éxito de la investigación. Para evitar la contaminación es indispensable desinfectar los plátanos seda en una solución de hipoclorito de sodio al 1% por 10 minutos, otro punto que se toma en cuenta es el pardeamiento enzimático, para evitar este inconveniente se deja reposar por 10 min la pulpa del plátano seda (sin cáscara) en una solución de ácido cítrico al 3%, después de estas dos consideraciones se procede a la obtención de almidón de acuerdo a los diferentes tratamientos planteados con la finalidad de establecer el tratamiento más óptimo. Los tratamientos se diferencian uno del otro debido a la velocidad de licuado y el tiempo, realizando así 5 tratamientos diferentes con 4 repeticiones el que consiste en usar 500 mililitros de agua con 100 gramos de pulpa de plátano seda, colar en un colador fino para posteriormente sedimentar y retirar el exceso de agua antes de secar.

Palabras clave: *Plátano, almidón, secado, filtración, extracción, sedimentación.*

ABSTRACT

*This research developed to obtain starch from the silk banana (*Musa paradisiaca*) by the wet method which consists of liquefying the silk banana pulp with purified water in a blender to achieve a kind of dense liquefaction.*

Obtaining starch consists of a series of simple dynamic steps where it starts with the selection of the silk bananas, these must be green, without starting the ripening and in good condition to ensure the success of the research. To avoid contamination, it is essential to disinfect the silk bananas in a solution of sodium hypochlorite 1% for 10 minutes, another point that is taken into account is the enzymatic browning, to avoid this inconvenience is left to rest for 10 minutes the pulp of the silk banana (without shell) in a solution of citric acid 3%, after these two considerations proceed to the obtaining of starch according to the different treatments proposed in order to establish the most optimal treatment. The treatments differ from each other due to the speed of liquefaction and time, making 5 different treatments with 4 repetitions which is to use 500 milliliters of water with 100 grams of silk banana pulp, straining in a fine strainer and then sediment and remove excess water before drying.

Keywords: banana, starch, drying, filtration, extraction, sedimentation.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador se encuentra situado entre uno de los primeros países productores y exportadores del plátano a nivel mundial. La exportación del plátano comprende el 32% del comercio mundial de esta fruta y el 3.48% del PIB total del país (Banco Central del Ecuador, 2017). La gran producción bananera del Ecuador a dado trabajo a cientos de familias, de ahí viene la trascendencia social de esta fruta en el país, se estima que existen 2,5 millones de personas ubicadas en 9 provincias que dependen de esta.

El plátano es un fruto de la familia de las Musáceas (Musaceae), especie *Musa paradisiaca*, más grande y dulce que otras variedades de su misma familia. (Chen & Ramaswamy, 2002) La composición fisicoquímica del plátano es 66,2 % de agua; 0,3% grasas; 1,3% proteínas; 1,1 % fibra; 0,8% vitamina y cenizas y 30,7% carbohidratos (Wang, Peterson, & Zhang, 2015) (Reducción de las temperaturas de gelatinización de las suspensiones de mezclas de almidón con tratamiento supercrítico de CO₂, 2014). El almidón (Brito & Chuiza, Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza, 2020) es el carbohidrato predominante en el plátano, siendo este mayor cuando se encuentra verde, mientras que en estado maduro presenta mayor contenido de azúcares invertidos. Se puede utilizar el plátano para la fabricación de diferentes productos entre los que se encuentra la extracción de almidón (Brito & et al, Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), 2019) para su posterior aplicabilidad en la obtención de bioclásticos. (Almeida, J, López, & Pettinari, 2004)

El almidón es un biopolímero de gran importancia compuesto por amilosa y amilopectina (Moore, Y, F, & JL, 2015) es la mayor fuente de nutrición para animales, humanos y es una trascendental materia prima para la industria (Huang, y otros, 2015), siendo un material abundante, renovable, biodegradable y de bajo precio, que se puede extraer de diversas fuentes naturales como tubérculos, cereales, legumbres y frutos inmaduros (Q, H, & Gao, 2015) que al hidrolizarse puede generar productos de mayor valor comercial.

En vista del porcentaje considerable de almidón que contiene esta fruta, la presente investigación está enfocada a la obtención del almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) en base húmeda. El objetivo es determinar el rendimiento del almidón obtenido para su posterior caracterización

METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se ha realizado con la finalidad de obtener almidón a partir del plátano seda (*Musa paradisiaca*). En materiales se tiene en cuenta el plátano seda (*Musa paradisiaca*) como materia prima debido a su característica principal que posee gran cantidad de almidón, la materia prima es lavada y desinfectada en una solución de hipoclorito de sodio al 1% y para el tratamiento químico se usa ácido cítrico al

3% (Mazzeo M, Alzate G, & Marín M, 2008). Para los pesos se utiliza una balanza digital, a través de una licuadora se disminuye el tamaño del plátano, con un colador se realiza el filtrado, para las muestras a experimentar se usaron vasos desechables de 1000ml, para tomar la temperatura se lo hace con la ayuda de un termómetro, se utiliza el molino y los tamices para reducir el tamaño del almidón y fundas de polietileno para su almacenamiento. También se realizan las respectivas pruebas usando el Iodo para medir la cantidad de almidón presente en el plátano.

Para el proceso de obtención del almidón, inicialmente se selecciona los plátanos de mejor calidad los cuales van a ser lavados en una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante 10 minutos por medio del cual se eliminara la tierra y toda clase de impurezas que pudiesen adherirse, seguido de esto se realiza el pelado y pesado de los plátanos, mismos que serán sumergidos inmediatamente se sumerge en una solución de ácido cítrico al 3% durante 10 minutos para evitar el pardeamiento enzimático, una vez terminado el tratamiento químico, luego se procede a ubicar en la licuadora una 100 gramos de plátano y 500 ml de agua purificada así facilitando la liberación de los granulos de almidón y separarlo de aquellos componentes de la pulpa que son relativamente más grandes como la fibra y proteína, presionando el botón de la primera velocidad se lo licúa por el tiempo de 1 minuto, este mismo procedimiento se realiza para los tiempos de 1,3 y 5 minutos, de igual manera se cambia a la velocidad 2 y se procede de igual forma, luego se procede a filtrar (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias II, 2001) con una malla nylon, dejando sedimentar por un lapso de 12 horas, (Brito & et al, Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), 2019) luego se someterá a un proceso de filtración o colado por medio del cual se separara la lechada contiene el almidón del afrecho constituido por restos de la pulpa, posteriormente se somete la lechada obtenida a un proceso de sedimentación con la finalidad de separar el almidón por efecto de la gravedad, después se facilita la eliminación de agua por decantación y el almidón es sometido al proceso de secado (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias III, 2001) con el fin de eliminar la humedad presente en el sólido húmedo con una temperatura al ambiente de 21°C aproximadamente 72 horas, una vez seco se realiza el proceso de molienda, tamizado, finalmente se pesa el almidón para obtener el rendimiento del almidón (Brito & et al, Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), 2019), luego se empaqueta y almacena. Por último, se realizan su respectivo análisis de almidón, proximal.



Figura1 Obtención del almidón

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para este estudio se analizaron diez muestras de plátano seda verde, de las cuales se tomó su peso, longitud y diámetro de manera individual, para obtener un valor promedio de referencia de cada dato para posteriores cálculos.

Tabla 3 Caracterización Organoléptica del plátano seda

No.	NOMBRE MATERIA PRIMA	
	Característica	
1	Olor	Característico
2	Sabor	Insípido
3	Color	Beige
4	Textura interna	Rugosa
5	Textura externa	Dura

Fuente: Ramírez C./et al, ESPOCH, 2020

Tabla 4 Caracterización Organoléptica del almidón

No.	ALMIDÓN	
	Característica	
1	Olor	Dulce característico
2	Sabor	Insípido
3	Color	Beige
4	Textura	Granular

Fuente: Ramírez C./et al, ESPOCH, 2020

Tabla 5 Datos de medida del platano seda

No.	PRODUCTO		
	PESO (g)	LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (cm)
1	126	18,50	5,85
2	128	17,50	6,20
3	124	18,40	5,85
4	112	17,90	6,20
5	122	17,00	5,85
6	126	16,30	6,20
7	127	18,5	5,85
8	124	18	6,20
9	142	15,5	5,85
10	139	18	6,20
PROMEDIO	127	18	6

Fuente: Ramírez C./et al, ESPOCH, 2020

Como se observa en la Tabla 3, se evidencia las medidas que posee cada muestra a analizar obteniendo como resultado un promedio en peso de 127g, longitud de 18cm y 6cm de diámetro.

Se realizaron seis tratamientos diferentes a las muestras de plátano seda verde, cada uno con cuatro repeticiones, a las que se sometió a un proceso de licuado a dos velocidades diferentes (baja y media), en tres tiempos diferentes que varían de 1, 3 y 5 min respectivamente, cada tratamiento desarrollado se representa en la siguiente tabla con el resultado de rendimiento correspondiente:

Tabla 6 Rendimiento del almidón de plátano

No.	TRATAMIENTOS	VARIABLES	REPETICIONES	PESO (g)		RENDIMIENTO (%)	
				PLÁTANO	ALMIDÓN		
1	T1	RPM 1:1	R1	100	18	18	18,25
2			R2		18	18	
3			R3		18	18	
4			R4		19	19	
5	T2	RPM 1:3	R1		25	25	22,5
6			R2		21	21	
7			R3		23	23	
8			R4		21	21	
9	T3	RPM 1:5	R1		17	17	18,75
10			R2		20	20	
11			R3		18	18	
12			R4		20	20	
13	T4	RPM 2:1	R1		25	25	22,75
14			R2		21	21	
15			R3		25	25	
16			R4		20	20	
17	T5	RPM 2:3	R1		19	19	18,75
18			R2		20	20	
19			R3		17	17	
20			R4		19	19	
21	T6	RPM 2:5	R1		16	16	18
22			R2		17	17	
23			R3		19	19	
24			R4		20	20	

Fuente: Ramirez C./et al, ESPOCH, 2020

En la Tabla 4, se observa el rendimiento del almidón obtenido para cada uno de los tratamientos realizados, en el tratamiento 1 el rendimiento es mínimo debido a la baja cantidad de almidón obtenido pues es de 28g, mientras que en el tratamiento 4 se obtiene 91g por lo tanto tiene un mayor rendimiento.

CONCLUSIONES

- ✓ Se caracterizó organelepticamente el plátano de seda (*Musa paradisiaca*) teniendo en consideración su olor, color, sabor; teniendo en cuenta estos parámetros también para almidón.
- ✓ Al realizar los diferentes tratamientos en base húmeda se logró obtener el almidón a partir del plátano de seda (*Musa paradisiaca*), el tratamiento con un mayor rendimiento fue el 4 con un de valor 22,75%, considerando que la variable que influye es la velocidad de licuado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Banco Central del Ecuador. Ficha sectorial: Banano y Plátanos. [Online].; 2017 [cited 2020 julio 27. Available from: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2017/09/Ficha-Sectorial-Banano.pdf>.
2. Chen C, Ramaswamy H. El color y la textura cambian la cinética en la maduración de los plátanos. *LWT-Food Science and Technology*. 2002; 35(5).
3. Wang K, Peterson W, Zhang B. La biosíntesis, la estructura y las propiedades de gelatinización de los almidones de especies silvestres y cultivadas de arroz africano (*Oryza barthii* y *Oryza glaberrima*). *PubMed*. 2015 Septiembre; 34(129): p. 92-100.
4. Reducción de las temperaturas de gelatinización de las suspensiones de mezclas de almidón con tratamiento supercrítico de CO₂. *Journal of Supercritical Fluids*. 2014 Enero; 95(7): p. 499-505.
5. Brito H, Chuiza M. Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza. *Dominio de las Ciencias*. 2020 junio; 6(2).
6. Brito H, et al. Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). *La Ciencia al Servicio de la Salud y la Nutrición*. 2019;; p. 202-209.
7. Almeida A, J R, López A, Pettinari M. Bioplásticos: una alternativa ecológica. 2004..
8. Moore S, Y A, F C, J L J. Effects of alpha-amylase reaction mechanisms on analysis of resistant-starch contents. *Carbohydr Polym*. *PubMed*. 2015 Enero;(115).
9. Huang J, Zhao L, Hombre J, Wang J, Zhou W, Huai H. Comparación de las propiedades fisicoquímicas de los almidones no tradicionales de tipo B de diferentes fuentes. *Europe PMC*. 2015 Abril; 78: p. 165-172.
10. Q L, H L, Gao Q. La influencia de los azúcares diferentes en el proceso de gelatinización del almidón de maíz con el método de análisis de imagen digital. *Food Hydro-colloids*. 2015; 43: p. 803-811.
11. Mazzeo M M, Alzate G A, Marín M M. OBTENCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DE RESIDUOS POSCOSECHA DEL PLÁTANO DOMINICO HARTÓN (MUSA AAB SIMMONDS). *Vector*. 2008;; p. 61-62.
12. Brito H. Texto Básico de Operaciones Unitarias II Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2001.
13. Brito H. Texto Básico de Operaciones Unitarias III Riobamba: SE; 2001.
14. Yusufu PA, Mosiko TB. Effect of Firm Ripe Plantain Fruit Flour Addition on the Chemical, Sensory and Microbial Quality of Fura Powder. *Nigerian Food Journal*. 2014; 32(1): p. 38-44.
15. Brito H. Texto Básico de Operaciones Unitarias I Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2000.
16. Tasgacho D, Brito H. Diseño de un proceso industrial para la obtención de almidón a partir de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) Riobamba: se; 2018.

18
Recibido: 2020/08/05
Aceptado: 2020/09/30
ARTÍCULO ORIGINAL

INCIDENCIA DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN EN LA FABRICACIÓN DEL ALMIDÓN DE LA PAPA SUPERCHOLA (*Solanum tuberosum* L)

IMPACT OF PRODUCTION PROCEDURES IN THE MANUFACTURE OF SUPERCHOLA POTATO STARCH (*Solanum tuberosum* L)

Palacios Teresa¹, Lascano Rebeca², Álvarez Jéssica², Brito Hannibal^{3*}

¹ Investigador, FIGEMPA, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito, Ecuador.

² Colaborador, Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

³ Investigador, CIADE, Riobamba, Ecuador.

*Corresponding: hbrito@epoch.edu.ec

RESUMEN

El estudio analiza el rendimiento de los procedimientos en la obtención de almidón de papa súper chola (*Solanum tuberosum* L), mediante el lavado, pelado, troceado, triturado de la misma. Se colocó en una trituradora doméstica (licuadora) a diferentes revoluciones, con volúmenes de agua y tiempos diferentes. Posteriormente, se dejó reposar cada una de las muestras durante 24 horas para que el almidón sedimente. El diseño experimental de la investigación se basó en un análisis factorial múltiple de 4 tratamiento con 4 repeticiones cada uno. El resultado indicó que se obtuvo un rendimiento promedio de 12,42 % en los tratamientos.

Palabras clave: Almidón de papa, sedimentación, análisis factorial múltiple, tratamientos, rendimiento.

ABSTRACT

The study analyzes the redemption of procedures in obtaining starch from super chola potato (*Solanum Tuberosum* L) by washing, peeling, chopping, crushing it. After that, it was placed in the blender at different revolutions, with different water volumes and times. Subsequently, each sample was left to rest for 24 hours so that the starch settles. The experimental design of the research was based on a multiple factor analysis, consisting of 4 treatments with 4 repetitions each. The result indicated that an average yield of 12,42% was obtained in the treatments.

Keywords: Potato starch, sedimentation, multiple factor analysis, treatments, yield.

INTRODUCCIÓN

La papa súper chola (*Solanum Tuberosum* L), es considerada como un cultivo de gran importancia dentro del país debido a su alto consumo en la dieta de los ecuatorianos, así como en el sector económico del mismo (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2019). La papa, es un taxón dicotiledóneo perteneciente a la familia de las solanáceas de hábito rastrero o erecto que alcanza una altura entre 0,60 y 1,50 m, con tallos gruesos y entrenudos cortos de los cuales se desprenden hojas compuestas y pinnadas, posee tubérculos carnosos en las cuales sobresalen yemas u ojos, éstos se originan en el extremo del estolón (Huamán, 1988).

El cultivo de papas está presente en 12 provincias del Ecuador, en 2019 fueron sembradas aproximadamente 32.000 hectáreas siendo la variedad Súper Chola la más buscada por los agricultores, según su estimación la preferencia suele ser de un 60% por encima de otras variedades como la Gabriela, Bolona y la Fri papa (El Productor, 2020).

El resultado de los análisis proximales de la papa, varía dependiendo de las condiciones del campo donde fue labrada, así como de su variedad; cada 100 g de tubérculo fresco contiene: 75 % de agua, 18,5g de almidón, 0,7 a 4,6% de proteína, 0,02 a 0,96 de grasas, 0,44% de cenizas, además poseen potasio (560 mg) y vitamina C (20 mg) (Pumisacho & Sherwood, 2002). Debido a la composición presente en la papa, este estudio tiene como objetivo el diseño de un proceso para la obtención del almidón (Brito & et al, Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), 2019) de papa. El almidón es una molécula de polisacárido renovable, económica, y el segundo polímero orgánico más abundante. Es producido por plantas verdes para el almacenamiento de energía durante largos períodos, también llamado un almacenamiento polisacárido. El almidón se encuentra en las semillas y raíces de las plantas en forma de gránulos. Los gránulos de almidón tienen una variedad de formas, como ovales, angulares, redondos, esféricos o irregulares y de tamaño variable (Ding, y otros, 2020).

Para la elaboración experimental de almidón, se empleó como base fundamental los procedimientos de (Guamán, 2019) y (Meza, 2016); la primera etapa del proceso es la recepción e inspección de materia prima, después se procede a lavar, pelar, trocear y pesar. Posteriormente, se realiza una trituration mecánica (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias I, 2000) de la materia prima, fue establecida en cuatro diferentes tratamientos modificando variables como volumen de agua, tiempo y rpm.

Las características físico-químicas, químicas, físicas, mecánicas y microbiológicas (Brito & Chuiza , Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza, 2020), se basaron en métodos estandarizados para la humedad, proteína, grasa, ceniza, azúcares reductores, carbohidratos, amilosa, amilopectina, tracción, elongación y biodegradabilidad.

METODOLOGÍA

Extracción del Almidón

Se realizó una inspección previa a las papas, en función de su calidad y tamaño, con el fin de obtener una muestra uniforme. Posteriormente, se lavó, peló, troceó y pesó la papa en una balanza la cantidad de 226 g. Después, se colocó la papa en un agitador doméstico (licuadora) y se añadió para el primer tratamiento 75 mL de agua destilada, se trituró con la segunda velocidad de la licuadora durante 1,5 minutos, se filtró el extracto con la ayuda de un tamiz fino de 210 micrones (Brito H. , TEXTO BASICO DE OPERACIONES UNITARIAS III, 2001). Se dejó reposar el líquido remanente del filtrado por 24 horas para separar el líquido restante del sedimento (almidón). Se procedió a secar la muestra durante 24 horas a 18°C (Brito, Borja, & Chango, Obtaining yacón Flour (*Smallanthus sonchifolius*), 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación, correspondieron a la extracción del almidón de papa súper chola (*Solanum Tuberosum* L), mediante 4 tratamientos y 4 repeticiones.

Ensayos y Métodos

**Tabla 1 Ensayos y Métodos Generales
Análisis Primarios**

Ensayo	Método
Humedad	INEN 1462
Proteína	AOAC 781.10
Grasa	AOAC 991.36
Cenizas	AOAC 923.03
Azúcares Reductores	Método Pearson
Carbohidratos	Por diferencia
Ensayos del Almidón	
Ensayo	Método
Humedad	AOAC 925.10
Amilosa	Morrison y Laignelet
Tracción	ASTM D882
Elongación	ASTM D882
Ensayos de Biodegradabilidad	ASTM D-5488-94D
Permeabilidad al vapor de agua	ASTM E-96
Espesor	INEN 891 1982-11

Fuente: Quimbíta M, Lascano R. Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Tabla 2 Composición promedio de 100 g de porción comestible de papa

No.	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDADES
1	Agua	77,24	g
2	Proteína	2,08	g
3	Grasa	0,19	g
4	Carbohidratos	21,46	g
5	Fibra	0,58	g
6	Cenizas	1,08	g
7	Calcio	6,9	g
8	Fosforo	48,67	mg
9	Hierro	0,6	mg
10	Tiamina	0,08	mg
11	Riboflavina	0,08	mg
12	Niacina	1,73	mg
13	Ácido ascórbico	12,33	mg
14	Amilosa	23,44	
15	Amilopeptina	75,56	
16	Temperatura de Gelatinización	65,604	
17	pH	3-3.5	

Fuente: Quimbíta M, Lascano R. Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Los parámetros obtenidos en las características fisicoquímicas del almidón, se basó en métodos detallados en (Guamán, 2019) y (Meza, 2016), donde se muestran las condiciones óptimas del almidón para formar el bioplástico, la tabla 2 muestra los valores en g de agua, proteína, grasa, fibra,

ceniza y calcio, los valores en mg son fosforo, hierro, tiamina, rivo flavina, niacina y ácido ascórbico, los valores porcentuales, están representados en la amilosa y amilopectina, la temperatura de gelatinización está dada en grados centígrados y los rangos óptimos de pH son 3-3,5 (Charro , 2015).

Tabla 3 Rendimiento, Color y Textura del almidón
Peso

No	Tratamiento	Repeticiones	Papa (g)	Almidón (g)	Rendimiento		Color	Textura
1	2 lb papas + 100 mL agua	1 min rev 2da	226	20	8,85	11,50	Café	Firme
2		1,5 min rev 2da	226	24	10,62		Blanco	Firme
3		2 min rev 2da	226	32	14,16		Blanco	Firme
4		2 min rev 4ta	226	28	12,39		Beige	Firme
5	2 lb papas + 75 mL agua	1 min rev 2da	226	30	13,27	14,05	Beige	Firme
6		1,5 min rev 2da	226	34	15,04		Beige	Firme
7		2 min rev 2da	226	27	11,95		Blanco	Firme
8		2 min rev 4ta	226	36	15,93		Blanco	Firme
9	2 lb papas + 50 ml agua	1 min rev 2da	226	28	12,39	13,50	Blanco	Viscosa
10		1,5 min rev 2da	226	26	11,50		Blanco	Viscosa
11		2 min rev 2da	226	31	13,72		Blanco	Viscosa
12		2 min rev 4ta	226	37	16,37		Blanco	Viscosa
13	2 lb papas + 25 ml agua	1 min rev 2da	226	19	8,41	10,62	Beige	Viscosa
14		1,5 min rev 2da	226	22	9,73		Beige	Viscosa
15		2 min rev 2da	226	26	11,50		Blanco	Viscosa
16		2 min rev 4ta	226	29	12,83		Blanco	Viscosa

Fuente: Quimbíta M y Lascano R. Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

Los resultados de la tabla 3 muestran los pesos del almidón, que se obtiene de cada uno de los tratamientos que se realizó al tubérculo papa, de igual manera presenta los datos de rendimiento del almidón de papa, que lo obtuvo mediante la siguiente expresión matemática:

$$\%rendimiento = \left(\frac{\text{peso de almidón promedio}}{\text{peso de la papa}} \right) * 100\%$$

El mayor rendimiento, se obtuvo en el tratamiento 2 con un promedio de 14,05%, en la cuarta repetición del tratamiento 3, se consiguió un rendimiento de 16,37 % y el menor rendimiento se lo observó en el tratamiento 4 con un promedio de 10,62 %, siendo la primera repetición con menor rendimiento de todas las muestras con 8,41%.

Tabla 4 Análisis microbiológico del almidón de papa

No.	DETERMINACIÓN	PARÁMETRO
1	Aerobios mesofilos viables (ufc g-1)	69000
2	hongos y levaduras (ufc g-1)	260
3	bacterias acido lácticas (ufc g-1)	17500

4	Lactobacillus brevis acidophilus (ufc g-1)	Lactobacillus	186
---	---	---------------	-----

Fuente: Quimbíta M y Lascano R, Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias, ESPOCH, 2020.

La tabla 4 muestra los aerobios mesófilos viables, hongos y levaduras, bacterias de ácido láctico y los lactobacilos brevis presente en algunos almidones de papa y los rangos en los que deben aparecer si exceden estos parámetros se debe descartar el almidón.

CONCLUSIONES

- ✓ Para la obtención del almidón de papa, se revisó bibliográficamente las metodologías óptimas en las que se establecía los parámetros y factores a tomar en cuenta para la elaboración del mismo, empleando un diseño factorial de 4 tratamientos con 4 repeticiones, donde se varió el volumen de agua, tiempo y rpm.
- ✓ El tratamiento 2 obtuvo el mayor rendimiento promedio con 14,05 %, siendo la repetición cuarta del tercer tratamiento con mayor rendimiento individual de 16,37% de color blanco y textura viscosa.
- ✓ El tratamiento 3 obtuvo el menor rendimiento promedio con 10,62 %, siendo la primera repetición del mismo tratamiento con menor rendimiento individual de 8,41% de color beige y textura viscosa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Informe de Rendimientos Objetivos de Papa en el Ecuador de 2018. [Online]. Manabí, Ecuador: EC. INIAP; 2019 [cited 2020 julio 28. Available from: <https://fliphtml5.com/ijia/tlcp/basic>.
2. Huamán. Botánica sistemática y morfología de la papa Lima: Centro Internacional de la papa; 1988.
3. El Productor. CÓMO AVANZAN LAS SIEMBRAS de ciclo corto en esta temporada SEGÚN LOS PRODUCTORES. 2020;(38).
4. Pumisacho, Sherwood S. EL CULTIVO DE LA PAPA Lima: INIAP-CIP; 2002.
5. Brito H, et al. Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). La Ciencia al Servicio de la Salud y la Nutrición. 2019;; p. 202-209.
6. Ding Y, Shen M, Wei D, Xu L, Sui T, Cao C, et al. Study on compatible characteristics of wheat and purple sweet. Revista Boliviana de Química. 2020; 107.
7. Guamán J. OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE CASCARAS DE PAPA PARA SU APLICACIÓN INDUSTRIAL. 2019..
8. Meza P. "ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN RESIDUAL OBTENIDO DE PELADORAS DE PAPA Y DETERMINACIÓN DE SU BIODEGRADABILIDAD A NIVEL DE LABORATORIO. 2016..
9. Brito H. Texto Básico de Operaciones Unitarias I Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2000.
10. Brito H, Chuiza M. Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza. Dominio de las Ciencias. 2020 junio; 6(2).
11. Brito H. TEXTO BASICO DE OPERACIONES UNITARIAS III Riobamba, Ecuador: Docucentro, ESPOCH; 2001.
12. Brito H, Borja D, Chango G. Obtaining yacon Flour (*Smallanthus sonchifolius*). 2019.
13. Charro M. OBTENCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE PATATA. 2015..

14. Pérez E, Lares M, Gonzáles Z, Tovar J. *Production and Characterization of Cassava (Manihot esculenta CRANTZ) Flour using different thermal treatments: interciencia*; 2007.
15. Peroni FG. *Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de deferentes fontes botânicas Sao José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista "Julio de MesquitaFilho"*; 2003.
16. Huang J. *Function-Structure Relationships of Acetylated Pea Starches. Netherlands: Wageningen Univerity*; 2006.
17. Fritz HG. *Study on productionoh thermoplastics and fibers based mainly on biological material. Stuttgart: European Comission*; 1994.
18. Surco F. *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: Mashua (tropaeolum tuberosum), Oca (Oxalis tuberosa), olluco (Ullucus Tuberosus) para su aplicación tecnológica Lima*; 2004.
19. Angeles P. *Diseño de un proceso industrial para obtener plástico biodegradable (TPS) a partir de almidón de yuca manihot sculenta Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Luis Gallo*; 2015.
20. Aristizábal J, Sánchez T. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN*; 2007.
21. Hernández M, et al.. *Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Scielo*. 2008.
22. Brito H. *Texto Básico de Operaciones Unitarias II Riobamba: Docucentro ESPOCH*; 2001.

19
Recibido: 2020/10/19
Aceptado: 2020/10/20
ARTÍCULO ORIGINAL

IDENTIFICACION DE LOS GRUPOS FUNCIONALES EN COLORANTES NATURALES

IDENTIFICATION OF FUNCTIONAL GROUPS IN NATURAL COLORS

Cargua Darío¹, Lozada Deysi¹, Sancho Ana¹, Rodríguez Adriana^{2*}

¹ Investigador Facultad de Ciencias, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

² Docente Investigador Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIADe), Riobamba, Ecuador.

*Corresponding: adriana.rodriguez@epoch.edu.ec

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo principal la obtención de colorantes vegetales a partir de alfalfa, direccionados para el uso alimenticio, por lo cual se inició con la caracterización fisicoquímica de las verduras seleccionadas, se midió °Brix, pH, índice de refracción y densidad. Para dichas mediciones se preparó dos muestras; una fresca y una seca de cada verdura, donde el secado se realizó en dos equipos que son: liofilizador y secador de bandejas para encontrar así las temperaturas adecuadas de secado en los vegetales que contienen coloración verde, donde se obtuvo que la mejor temperatura de secado es 28 - 30°C para la acelga; 35°C para el brócoli; 35°C para la espinaca; 35°C para la alfalfa; 38 °C para el berro. Éstas temperaturas trabajadas nos ayudan a conservar la clorofila, ya que a temperaturas mayores de 50°C la muestra se oxida, después se procedió a la maceración en alcohol potable (etanol al 96% de pureza) de las muestras fresca y seca este proceso tiene una duración mayor a 7 días con el objetivo de facilitar el desprendimiento de la clorofila presente en los vegetales por acción del alcohol. Posteriormente se hizo dos filtraciones con malla y al vacío para eliminar impurezas no deseadas, luego se llevó el filtrado a destilación en el rotavapor, para eliminar el etanol presente en el colorante y ser almacenado a una temperatura de 4°C que conserva mejor el líquido destilado y sus propiedades de coloración. Se realizó la caracterización organoléptica de los colorantes naturales de acelga, alfalfa, berro, brócoli y espinaca; también se midió °Brix, pH, densidad y un análisis en el espectrofotómetro para identificar a la clorofila presente en los colorantes extraídos. se hizo pruebas de solubilidad y ver el comportamiento polar o apolar de cada colorante y colorimetría, éstos valores se compararon con la norma oficial mexicana nom-119-ssal-1994, cumpliendo con los parámetros para la utilización en productos como yogurt natural, merengues, helados y en pastelería.

Palabras clave: acelga, alfalfa, berro, brócoli, espinaca, maceración, secado, destilación, clorofila, colorimetría, IR, UV.

ABSTRACT

The main objective of the research was to obtain vegetable dyes from alfalfa, directed for food use, for which it began with the physicochemical characterization of the selected vegetables, ° Brix, pH, refractive index and density were measured. For these measurements, two samples were prepared; one fresh and one dry for each vegetable, where the drying was carried out in two teams that are: freeze dryer and tray dryer to find the appropriate drying temperatures in the vegetables that contain green coloring, where the best drying temperature was obtained it is 28-30 ° C for chard; 35 ° C for broccoli; 35 ° C for spinach; 35 ° C for alfalfa; 38 ° C for watercress. These worked temperatures help us to conserve the chlorophyll, since at temperatures higher than 50 ° C the sample oxidizes, then the fresh and dry samples were macerated in potable alcohol (ethanol at 96% purity), a duration greater than 7 days in order to facilitate the release of chlorophyll present in vegetables by the action of alcohol. Subsequently, two mesh and vacuum filtrations were made to eliminate unwanted impurities, then the filtrate was brought to distillation in a rotary evaporator, to eliminate the ethanol present in the dye and be stored at a temperature of 4 ° C that better preserves the liquid distillate and its coloring properties. The organoleptic characterization of the natural colors of chard, alfalfa, watercress, broccoli and spinach was carried out; ° Brix, pH, density and an analysis in the spectrophotometer were also measured to identify the chlorophyll present in the extracted dyes. Solubility tests were carried out and the polar or apolar behavior of each colorant and colorimetry was seen, these values were compared with the official Mexican standard nom-119-ssal-1994, complying with the parameters for use in products such as natural yogurt, meringues, ice cream and pastry.

Keywords: chard, alfalfa, watercress, broccoli, spinach, maceration, drying, distillation, chlorophyll, colorimetry, IR, UV.

INTRODUCCIÓN

La importancia del aspecto visual de los alimentos es la causa principal por la que los colorantes alimentarios (Brito & et al, *Colorantes naturales para uso alimenticio*, 2019) están regidos a cumplir un papel relevante entre los aditivos de alimentos. Muchas veces se emplean para resaltar el color natural (Brito & et al, *Obtaining Beet Betacyanins (Beta vulgaris)*, 2019) de los alimentos y en otras para devolver el color perdido en las manipulaciones para su conservación. éste último se lo puede apreciar en las conservas o mermeladas los cuales sin colorantes resultan visiblemente feos y poco apetitosos al consumidor. El color es uno de los factores más importantes dentro de las características sensoriales que influyen en la aceptabilidad de los alimentos para su consumo. (Steir & al, 2015)

El color es una sensación producida en el ojo humano, según las condiciones de la luz reflejada por la sustancia, es decir, es la posibilidad que éste posee de absorber una parte de la luz que recibe y refleja el resto. La luz es la gente que posibilita el acto de ver y ésta se desarrolla por ondas de longitud a diferentes velocidades que denominamos color (Brito & et al, *Obtención y determinación de la calidad de colorante a partir de las flores de Sangorache*, 2019), en todo tipo de alimento existen dos tipos de colores que son naturales y sintéticos. (Restrepo, 2017)

Los artificiales o sintéticos son productos los cuales tiene que pasar por un proceso química o físicamente los cuales han sido utilizados por industrias alimentarias de manera tradicional por lo que la Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y Agricultura (FAO) han prohibido el uso de colorantes artificiales, debido a que estos pueden provocar alergias, hiperactividad en niños y cáncer al colon. Los colorantes artificiales son más resistentes a tratamientos térmicos, pH extremos, luz, etc. (Reil, 2003)

Los colorantes naturales son obtenidos por medio de una sustancia vegetal animal o mineral sin poseer ninguna modificación química. Estos nos causan ningún daño al ambiente y se obtienen de fuentes renovables. El

colorante natural tiene preferencia porque poseen actividad antioxidante y bajo índice de toxicidad. Las hortalizas de hojas verdes son ricas en folatos y aportan vitaminas B, C y E. Algunos de estos alimentos son fuentes de minerales como: calcio, hierro y magnesio. (Restrepo, 2017)

El color verde se debe a la clorofila (Universidad de Zaragoza, 2007), que es el pigmento vegetal más abundante en espinaca, lechuga, berro, acelga, brócoli, alfalfa y en todas las plantas de la familia de las crucíferas, las cuales contienen diversos compuestos sulfurados que otorgan el aroma y sabor típico. Éstas son muy eficaces como agentes anticancerígenos y este efecto persiste aún después de haber sido cocinadas, cuanto más verde sea, es mejor. (Steir & al, 2015)

El valor I.D.A. corresponde a la ingesta diaria aceptable, es decir la cantidad que una persona puede tomar diariamente durante toda su vida sin que aquello perjudique su salud. Actualmente la sociedad prefiere consumir productos naturales, no procesados con sustancias químicas esto ha ocasionado que los pigmentos sintéticos (Brito & et al, Diseño y construcción de un liofilizador para el secado de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*, 2016) o artificiales sean rechazados porque representan una amenaza para la salud del cuerpo humano, lo que ha desarrollado nuevas tecnologías que permiten la obtención de pigmentos de origen natural que sean eficientes y proporcionando el color adecuado para el producto final. La demanda mundial de colorantes naturales es de 10.000 toneladas, esto equivale el 1% del consumo mundial en colorantes sintéticos, se espera que ésta tendencia siga aumentando en la industria alimentaria. (Restrepo, 2017)

Las clorofilas son una familia de pigmentos de color verde que se encuentran en las cianobacterias y en todos aquellos organismos que contienen cloroplastos en sus células (plantas y protistas), es crítica en la fotosíntesis, proceso que permite a los organismos.

La estructura de la molécula de clorofila está compuesta por un anillo de porfirina que contiene magnesio y cuya función es absorber la luz. Además, posee una cadena hidrófoba de fitol cuya función es mantener la clorofila integrada en la membrana fotosintética. (Restrepo 2017)



Figura 1 Estructura Química de la clorofila

La diferencia entre ambas clorofilas es que Clorofila a presenta un grupo metilo (-CH₃) en el perímetro del anillo tetrapirrólico, mientras que en Clorofila b este grupo ha sido oxidado para formar un grupo formol (-CH=O), también conocido como grupo formilo. Tal diferencia permite que las clorofilas a y b absorban luz de longitudes de onda ligeramente diferentes dentro del espectro visible. Además, forman estos enlaces dobles es el componente responsable de la absorción de los fotones. (Reil, 2003)

METODOLOGÍA

La obtención de colorantes naturales a partir de la alfalfa fue realizada principalmente en el Laboratorio de investigación cabe destacar que ciertas pruebas se llevaron a cabo en coordinación con otros laboratorios pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la Panamericana Sur km 1 ½, de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo.

El método empleado para la extracción de la clorofila implica el uso de solventes fenólicos como el alcohol potable (etanol al 96% de pureza), con el objetivo de que éste penetre la estructura celular y disuelve las sustancias. El proceso de maceración (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias II, 2001) se inició pesando el vegetal fresco a 250 g de alfalfa. Para ser remojados con un volumen de etanol de 900 mL., El proceso de Maceración de las muestras se llevaron bajo las siguientes condiciones: temperaturas menores a 20 °C, obscuridad, envases ámbar completamente cerrados y un tiempo mayor a 7 días.

Para el proceso de extracción de colorantes naturales se preparó dos muestras una fresca y una seca, las cuales contienen la misma cantidad de materia prima y el mismo volumen del solvente. La preparación de la muestra seca; se tomó el vegetal correspondiente y se procedió a secar, es decir, a eliminar toda el agua que contiene con ayuda del secador de bandejas (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias III, 2001), liofilizador (Brito & et al, Diseño y construcción de un liofilizador para el secado de la remolacha azucarera (Beta vulgaris var. saccharifera, 2016) o estufa a una temperatura no mayor de 30°C, debido a que las propiedades de la clorofila se pierden a temperaturas altas.

Para la separación por Filtración (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias II, 2001) se realiza por el método de vacío que acelera la operación con la ayuda de una bomba de vacío, embudo, matraz y papel filtro que impide el paso de partículas sólidas que quedan retenidas; colocando poco a poco el líquido macerado que presenta impurezas o partes del vegetal hasta obtener un residuo. Éste proceso nos ayuda a evidenciar el desprendimiento de la clorofila que presentaban las hojas y tallos de la alfalfa, quedando decoloradas casi por completo. El volumen obtenido de la filtración aún contiene un alto porcentaje de alcohol que es retirado en el siguiente proceso. (Streit, Zepka y Jacob-lopes 2015)

Para la Destilación (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias II, 2001) se separan las fases con la ayuda de un rotavapor el cual procede a calentar un líquido con una temperatura inferior a 40°C y conectándolo al vacío para que se destile el solvente (etanol 96% de pureza) más rápido, y poder utilizarlo nuevamente. Se realiza hasta que el etanol pase a la fase de vapor y se enfríe en forma líquida por medio de la condensación. Así obtener un residual de etanol con un porcentaje de alcohol menor a la inicial, ya que el mismo queda insertado en el agua o en el colorante.

El objetivo principal de la destilación es obtener los componentes o sustancias en su estado puro aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En el balón redondo del rotavapor quedará como residuo la clorofila pegados a las paredes de éste y será el objeto de estudio y diversos análisis para determinar la inocuidad del mismo, garantizando calidad en el producto alimenticio que será usado. (Macas, J. 2018)

Se aportó con la obtención de dos colorantes naturales siguiendo las técnicas apropiadas descritas anteriormente permitiendo así que se prosiga con los ensayos y análisis pertinentes a dichos colorantes en base fresca como en base seca de alfalfa: en los cuales se realizó un proceso óptimo de extracción teniendo en cuenta las correctas condiciones en cada paso, consiguiendo así un colorante permisible y bien concentrado. (Streit, Zepka y Jacob-lopes 2015)

Por consiguiente, se determinó la pérdida de peso a razón de la evaporación del agua existente en las muestras que contienen clorofila al someterlas a calentamiento en una estufa en condiciones determinadas.

A una temperatura aproximada de 102+/-2°C, durante 2 horas, tomando las debidas precauciones y colocando las muestras en el desecador para evitar que las muestras ganen peso por la humedad del ambiente, procurando así la exactitud en la obtención de resultados. Se repitió este proceso hasta que el resultado sea un peso

constante, es decir hasta que la diferencia entre dos pesadas consecutivas no sea mayor de 0,5 mg. (Universidad de Zaragoza. 2007)

Los porcentajes de humedad fueron obtenidos a partir de la siguiente fórmula

$$\text{Porcentaje humedad} = (M_1 - M_2) \frac{100}{M_1 - M_0}$$

Ec: 1

Donde:

M_0 = Peso, en g, de la cápsula.

M_1 = Peso, en g, de la cápsula y muestra antes del secado

M_2 = Peso, en g, de la cápsula y muestra después del secado.

Para la obtención de cenizas totales es necesario que toda la materia orgánica se oxide en ausencia de flama a una temperatura entre los 550 -600°C; el material inorgánico que no se volatiliza se conoce como ceniza. (Nollet, 1996). Todos estos analisis se realizaron con materia prima mientras, es importante realizar el secado de la misma en una estufa a un rango de temperatura de 30- 35°C la cual proporciona la adecuada conservación de la clorofila, evitando el cambio oxidativo, por esta razón se necesita un apropiado secado el cual no genere un cambio brusco de temperatura para conservar el pigmento de clorofila presente en los vegetales a estudiar.

Consecuentemente se requiere una analisis exhaustivo del producto final el colorante a base natural, siendo así la prueba del pH nos permite conocer la estabilidad de los colorantes naturales para uso alimenticio que, si van de un valor ligeramente ácido, incrementará su estabilidad y si van a un valor alcalino no va a ser muy favorable. (Streit, Zepka y Jacob-lopes 2015). El índice de refracción y los grados brix nos indican la concentración de los sólidos solubles (azúcares) que están disueltos en los colorantes, esto se evidencia mediante el paso que tiene la luz, mientras más viscoso sea el producto obtenido mayor será su valor de refracción. (Macas, 2018)

Espectrofotometría UV-VISIBLE, la absorción de radiación se debe a que los electrones de las moléculas pasan a un estado electrónico superior por la acción de un "quanto" de radiación. En moléculas con varios dobles enlaces conjugados las diferencias entre niveles de energía se acortan, y la energía correspondiente a la luz visible es suficiente para promover transiciones electrónicas permitidas entre orbitales. Ejemplos: $\pi \rightarrow \pi^*$ (etileno: $\lambda=165$ nm, 727 kJ/mol; benceno: $\lambda=256$ nm, 469 kJ/mol) y $n \rightarrow \pi^*$ (formaldehído: $\lambda=305$ nm, 395 kJ/mol) ($\sigma \rightarrow \sigma^* \approx 200$ nm). Cuanto mayor es el número de dobles enlaces conjugados, mayor es la longitud de onda de la luz absorbida, y mayor la intensidad de la banda de absorción.

Tabla 1 Relación entre la luz absorbida y el color observado

λ de la luz absorbida (nm)	Zona del espectro visible	Color observado
400-430	Violeta, añil	Amarillo
430-470	Azul	Naranja
470-500	Azul, verde	Rojo
500-520	Verde	Púrpura
520-540	Verde, amarillo	Violeta
540-590	Amarillo	Añil
590-610	Naranja	Azul
610-700	Rojo	Verde

Según (Reol 2003) la biosfera recibe radiación solar comprendida entre los 290 a 3000 nm de longitud de onda, pero básicamente la mayor proporción de la energía (45%) está concentrada entre los 380 a 710 nm, que constituye el rango de absorción de las clorofilas. La luz es rápidamente absorbida por las primeras capas de hojas y los pigmentos clorofílicos son con toda seguridad el pigmento biológico más abundante en la tierra y debe su color verde a su capacidad de absorber las fracciones roja y azul de la luz solar, transmitiendo los demás colores cuya mezcla apreciamos en diversos tonos de verde. Las hojas pueden llegar a contener hasta 1 g de clorofila m⁻², donde la parte media del espectro visible que comprende el color verde va de 500 a 600 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

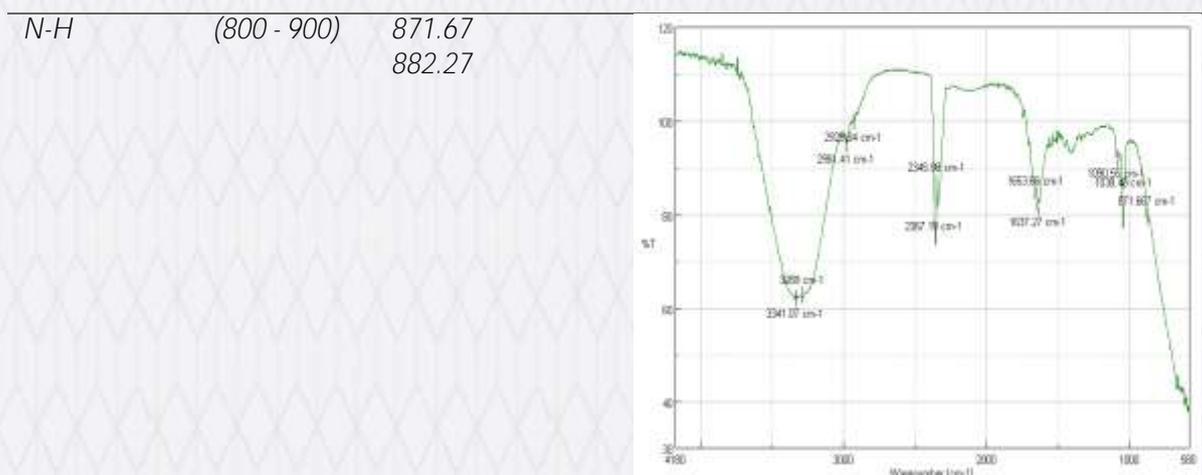
Tabla 2 Análisis proximal

No.	MATERIA PRIMA	ALFALFA
1	% Humedad	17,55±0,20
2	% Ceniza	Fresca Seca 13,25±0,5 22,08±0,5
3	pH	Fresca Seca 5,61± 0,3 6,38±0,3
4	Densidad (g/mL)	Fresca Seca 1,062±0,11 0,935±0,11
5	°Brix	Fresca Seca 13,59 24,32
6	Índice de Refracción	Fresca Seca 1,35 1,37
7	longitudes de onda absorbidas λ(nm)	Fresca Seca 424 452

Elaborado por: Sancho, Ana. 2019

Tabla 3 Determinación de los grupos funcionales presentes en el colorante de alfalfa

GRUPO FUNCIONAL	Rango de T (cm ⁻¹)	Alfalfa	Gráfica del IR de la Alfalfa en fresco
-CH ₃ ; -CH ₂	(2880 - 2975)	2929.34 2950.55	
C=C	(2270 - 2820)	2345.98 2367.19	
C-O	(1050 - 1300)	1090.55 1090.55	
C-N	(1000 - 1200)	1038.48 1038.48	
C-NH ₂	(1450 - 1650)	1637.27 1450.21	



Elaborado por: Paladines, Daniela. 2019

Tabla 7 Gráficas IR de los colorantes extraídos



Elaborado por: Paladines, Daniela. 2019

Al observar los resultados obtenidos de las pruebas de espectrofotometría UV - VISIBLE, se determinan que la mayor parte de los colorantes no cumple con exactitud el valor de este parámetro según la norma mexicana que regula la elaboración de colorantes a base natural nom-119-ssa1-1994 nom-119-ssa1-1994, la misma enuncia un valor de longitud de onda para la clorofila de 500 a 600 nm, que corresponde en el espectro visible con color verde.

Sin embargo, si se permite llegar a una concentración más alta de colorante y menor de etanol, mejorando la destilación y los métodos extractivos, de secado se obtendría un valor más acertado, ya que los espectros de onda absorbidos por los colorantes en base seca son las cifras más cercanas a la longitud de onda normada.

Los datos obtenidos durante el proceso de obtención del colorante se evidencia un mayor porcentaje de humedad en la muestra fresca, pero presenta un porcentaje menor de cenizas con 77.92% y 11.88% respectivamente.

Luego de la experimentación se encontró que los colorantes de alfalfa por el método de secado en estufa a un rango de temperatura de 30- 35°C proporcionó la adecuada conservación de la clorofila

Mediante las características fisicoquímicas obtenidas de la alfalfa, podemos partir nuestra investigación en base fresca y seca en cada colorante. Por consiguiente, podemos mencionar que los valores obtenidos de las características antes mencionadas tanto en muestras de base seca, son más altos a los de la materia prima macerados en base fresca, debido a que, al secar los vegetales se conservan mejor todos los componentes en el proceso de secado, pues lo único que se pierde es el agua del alimento vegetal. Así el resto de propiedades se

conservan y se concentran más, los azúcares y pigmentos. Además, los grados brix son similares porque se extrae clorofila en ambos casos.

CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó que la alfalfa seca presenta mayores propiedades beneficiosas para obtener un colorante más intenso, del mismo modo que en base seca que obtiene un mayor porcentaje de volumen de colorante, aproximadamente 3 veces más de colorante. como lo demuestran los datos, en base fresca nos da 120 ml de colorante mientras que en base seca nos da 330 ml de colorante.
- ✓ Es efectivo el proceso de secado, en la extracción de los colorantes con pigmentos como la clorofila, ya que se garantiza una mayor duración del producto y la inocuidad del mismo.
- ✓ El rendimiento en la obtención de los pigmentos es alto con respecto al tratamiento en base húmeda.
- ✓ La desventaja observada es que se requiere gran cantidad de producto inicial para alcanzar un gran rendimiento en la obtención de los colorantes en base seca.
- ✓ Es factible la elaboración de colorantes naturales de materias primas como alfalfa, debido a la preferencia que existe en el mercado por los productos naturales de esta clase, a razón de las afectaciones que ocasionan a la salud humana los colorantes sintéticos.
- ✓ Al cumplir la normativa detallada a nivel físico-químico, gracias al pH ácido o neutro que permite la estabilidad de los colorantes, la aplicación de los mismos en productos alimenticios sería de gran beneficio tanto económica como socialmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brito H, et al. Colorantes naturales para uso alimenticio. *Ciencia Digital*. 2019.
2. Brito H, et al. Obtaining Beet Betacyanins (*Beta vulgaris*). 2019.
3. Steir N, et al. Producción de pigmentos naturales (clorofila). ; 2015.
4. Brito H, et al. Obtención y determinación de la calidad de colorante a partir de las flores de Sangorache. *Ciencia Digital*. 2019.
5. Restrepo S. Cuantificación de Clorofila "a" Clorofila. ; 2017.
6. Reil M. Informes. *ECOSISTEMAS - Revista Científica y Técnica de Ecología y Media Ambiente*. [Online].; 2003. Available from: redalyc.org/pdf/540/54012108.pdf.
7. Universidad de Zaragoza. Prácticas análisis químico de los alimentos. [Online].; 2007. Available from: https://ppcta.unizar.es/sites/ppcta.unizar.es/files/users/ARCHIVOS/Videos_y_otros/Documentos/PRACTICAS_ANALISIS/practica_1_humedad.pdf.
8. Brito H, et al. Diseño y construcción de un liofilizador para el secado de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *saccharifera* Riobamba; 2016.
9. Brito H. Texto Básico de Operaciones Unitarias II Riobamba: Docucentro ESPOCH; 2001.
10. Brito H. Texto Básico de Operaciones Unitarias III Riobamba: SE; 2001.
11. Macas J. "OBTENCIÓN DE COLORANTES NATURALES A PARTIR DE MORTIÑO (*Vaccinium myrtillus* L.), UVILLA (*Physalis peruviana*) Y TUNA (*Opuntia ficus-indica*) PARA EL USO ALIMENTICIO".. [Online].; 2018. Available from: <C:/Users/DELL/Downloads/96T00472.pdf>.
12. Secretaría Salud Pública. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-119-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. MATERIAS PRIMAS PARA ALIMENTOS, PRODUCTOS DE PERFUMERÍA Y BELLEZA. COLORANTES ORGÁNICOS NATURALES. ESPECIFICACIONES SANITARIAS. México.; 2008.

13. Norma Oficial Mexicana. NOM-119-SSA1, Bienes y Servicios. Materias primas para alimentos, productos de perfumería y belleza. Colorantes orgánicos naturales. Especificaciones sanitarias. Ciudad de México; 1994.
14. Alva A, et al. Colorantes naturales obtenidos a partir de *Coussapoa villosa* (UVILLA), *Syzygium malaccence* (POMARROSA) Y *Simira rubenscens* (PUCAQUIRO)". 2009.
15. Garz G. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos. Revisión. *Acta Biol.* 2008;: p. 27 - 36.
16. Giménez P, et al. Bioactividad de colorantes rojos naturales Cartagena: Repositorio UPCT; 2013.
17. Riveros L, Inga L. Caracterización química de los extractos colorantes de siete especies forestales y del fijador natural, utilizado en 19 comunidades indígenas de Ucayali. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*. 2014;: p. 29.
18. Suárez M, Morillo Y. Encapsulación de carotenoides totales presentes en el extracto apolar de pimiento (*Capsicum Annuum*), en nanopartículas de zeína; para obtener colorantes de uso farmacéutico Y cosmético Quito: Repositorio digital Universidad Central del Ecuador; 2017.



GIADE, 2020, Esta obra está sujeta a la licencia Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

GIADE – Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH



Campus
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Panamericana Sur Km 1 ½

RIOBAMBA - ECUADOR

ISBN: 978-9942-801-20-3

