



DIRECCIÓN DE
PUBLICACIONES



SEDE
MORONA
SANTIAGO

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

SEDE MORONA SANTIAGO



CONGRESO INTERNACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2020

CICTMS 2020

LIBRO DE MEMORIAS

COMPILADORES

ING. MIGUEL ANGEL OSORIO RIVERA, MSC
ING. ISABEL ROMANÉ PEÑAFIEL MONCAYO, MGS

ISBN: 978-9942-801-23-4



9 789942 1801234

COMITÉ CIENTÍFICO

Ing. Marcelo Navarro. PhD	MATRIZ
Ing. Rafael Pérez. PhD	MATRIZ
Ing. Miguel Osorio	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Andrea Paola Goyes	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Jessica Arcos	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. William Ibáñez	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Christian Camacho	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Karla Morales	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Segundo Shagñay	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Tamia Noboa	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Byron Huera	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Ximena Rashell Cazorla	SEDE MORONA SANTIAGO

COMITÉ ORGANIZADOR

Ing. Romané Peñafiel	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Miguel Osorio	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Andrea Paola Goyes	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Jessica Arcos	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. William Ibáñez	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Christian Camacho	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Karla Morales	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Segundo Shagñay	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Tamia Noboa	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Byron Huera	SEDE MORONA SANTIAGO
Ing. Ximena Rashell Cazorla	SEDE MORONA SANTIAGO

CONVOCATORIA

El "I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO CICTMS 2020", es un evento académico organizado por la **Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago**, que tiene como finalidad promover la investigación y difusión de los avances científicos o artículos inéditos en idioma español, que contribuyan a seguir generando mejoras en los procesos, obtención de nuevos productos, generación del conocimiento en las siguientes líneas de investigación y programas:

Línea de Investigación	Programa
Manejo Sustentable de los Recursos Naturales	<i>Ingeniería y Tecnologías Verdes</i>
	<i>Biotecnología Ambiental, Animal y Vegetal</i>
	<i>Seguridad y Ambiente</i>
	<i>Ambiente, Biodiversidad y Recursos Naturales</i>
	<i>Suelo, Agua y Ambiente</i>
	<i>Alternativas Biológicas para la Agricultura</i>
Energías Renovables y Protección Ambiental	<i>Energía y Ambiente</i>
	<i>Eficiencia Energética</i>
	<i>Manejo y Aprovechamiento de Recursos Renovables</i>
Procesos Tecnológicos, Artesanales e Industriales	<i>Ingeniería de Procesos Industriales</i>
	<i>Ingeniería y Tecnología de Materiales</i>
	<i>Tecnologías de Tratamiento de Recursos y Residuos</i>
	<i>Agricultura, Producción Animal Sustentable</i>
	<i>Bioingeniería</i>
	<i>Seguridad e Higiene Industrial</i>
Ciencias Básicas y Aplicadas	<i>Química Teórica y Aplicada</i>
	<i>Estadística Teórica y Aplicada</i>
	<i>Nanociencia y Nanotecnología</i>
	<i>Materiales</i>
	<i>Matemática Teórica y Aplicada</i>
	<i>Física Teórica y Aplicada</i>
Tecnologías de la Información y de la Comunicación	<i>Ingeniería de Software</i>
	<i>Inteligencia Artificial, y Nuevos Medios</i>
	<i>Seguridad y Sistemas de Información</i>

	<i>Tecnología Educativa</i>
	<i>Sustentabilidad y Nuevas Tecnologías</i>
	<i>Procesamiento Digital de Señales</i>
	<i>Imágenes, Diseño, Comunicación</i>

Sobre el envío de trabajos:

Los trabajos deben ser enviados a través de la plataforma **EASYCHAIR**, creando una cuenta en el siguiente link: <https://easychair.org/my/conference?conf=cictms2020#>

La fecha límite de envío, en formato **PDF** será el **14 de Agosto del 2020**, en estos trabajos se deberá omitir los nombres y filiaciones de los autores; una vez aceptado el trabajo y atendidas las correcciones, se deberá enviar la versión final en **formato WORD** con los nombres y filiaciones de los autores a través de la plataforma **EASYCHAIR**; las tablas, figuras y el artículo final se deberán adjuntar en un disco en carpetas independientes y ser entregado al comité científico del Congreso **CICTMS 2020**.

La **normativa de los artículos científicos** que serán receptados, además de la **guía para la elaboración del artículo científico (Formato Anexo 1)**, se encuentran publicados en la página web del congreso en el siguiente link: <https://extensionmoronasan.wixsite.com/cictms2020>

Publicación de los trabajos:

Los artículos que sean aceptados se publicarán en el libro de memorias del **"I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO CICTMS 2020"**, que contará con ISBN.

Modalidad ponencia:

Las ponencias se realizarán los días **17-18-19 de Noviembre del 2020** bajo la modalidad virtual; para la presentación se deberá tomar en cuenta **la normativa** y **la guía para la presentación de la ponencia y conferencias magistrales (Formato Anexo 2)**, los mismos que pueden ser descargados en la página web del congreso en el siguiente link:

<https://extensionmoronasan.wixsite.com/cictms2020>

PRESENTACIÓN

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago tiene el honor de presentar el Libro de memorias del “I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA MORONA SANTIAGO CICTMS 2020”, mismo que se enmarca en las líneas de investigación institucionales, siendo un producto de la recopilación de artículos científicos de las conferencias que se realiza anualmente, y que son una plataforma para que los docentes, investigadores y científicos nacionales e internacionales, evidencien los resultados de su experiencia, así como también, de sus proyectos de investigación.

Este trabajo editorial tiene como propósito establecer un foro accesible a todos los profesionales e interesados para que expongan y compartan sus experiencias académicas, científicas, asistenciales, educativas y tecnológicas, las cuales permitirán no sólo enriquecer el acervo científico, sino de manera importante plantear con factibilidad, alternativas de solución para los principales problemas con los que nos enfrentamos.

Agradecemos infinitamente el esfuerzo y dedicación de los investigadores que han presentado sus artículos y todos quienes han logrado desarrollar y plasmar en esta memoria el conocimiento desarrollado en sus investigaciones.

COMITÉ ORGANIZADOR

Conferencistas

Investigador	Tema	Correo	País
PhD. Orlando Belette Fuentes	Evaluación del volumen de mineral extraído en minas a cielo abierto	orlandobelette@gmail.com	Cuba
PhD Xavier Buenaño	Gestión Eficiente del drenaje ácido en minería metálica	dr.x.buenanio@gmail.com	Ecuador
Ph.D. Manuel Viera Flores	Astrominería, el desafío que viene	mviera@camaraminera.cl mviera@metaproject.cl;	Chile
PhD. Rodrigo Abad	Estudio de la fisiología digestiva y requerimientos de fibra en cuyes	rodrigo.abad@unl.edu.ec	Ecuador
PhD. Nelson Duchi	Biotecnologías de la reproducción	nelson.duchi@esPOCH.edu.ec	Ecuador
PhD. Anabell del Rocío Urbina	Revalorización de subproductos de la Industria Alimentaria mediante Biotecnología	dra.anabellurbina@hotmail.com	Ecuador
PhD. María Farías Mata	"Manejo emocional versus productividad científica".	mfariasmm@gmail.com	Venezuela
PhD. Guillermo Machado	Enfoque transdisciplinario de los Automatas Celulares en la simulación de superficies de flujo para la mitigación de riesgos en las comunidades humanas dentro de su entorno.	gmachado@yachaytech.edu.ec	Ecuador
PhD. Lorena Molina	Seguridad Informática: Moda o Necesidad?	lmolina@unach.edu.ec	Ecuador
PhD. José Prato	Reducción de la Dureza de aguas naturales con lechos volcánicos	pratoj@gmail.com	Venezuela

ÍNDICE

COMITÉ CIENTÍFICO	2
COMITÉ ORGANIZADOR	3
CONVOCATORIA	4
PRESENTACIÓN	6
CONFERENCISTAS	7
ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	
<u>CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA MEDIANTE PROPIEDADES FÍSICAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE</u>	10
<u>BIOSORCIÓN DE CD2+ Y PB2+ CON CORTEZA DE CACAO: EXPERIMENTACIÓN, MODELACIÓN MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN NUMÉRICA</u>	22
<u>INFLUENCIA DE DOSIFICACIONES DE BIOFERTILIZANTES COMPUESTOS POR MICORRIZAS Y DIAZÓTROFOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ</u>	36
<u>PRODUCCIÓN DE OZONO CON ALTO VOLTAJE EN UN NÚCLEO MIXTO</u>	
<u>BOBINA-MALLA</u>	49
<u>OBTENCIÓN DE HIDROLIZADOS PROTEICOS DE SUBPRODUCTOS DE AGARICUS</u>	
<u>BISPORUS</u>	57
<u>EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE EN EL INYECTOR DE UN MOTOR MEP AL EMPLEAR COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS</u>	70
<u>PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DE RESIDUOS DE MATADERO Y PAJA DE TRIGO: INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN</u>	81
<u>NANOFLUIDOS, SINTESIS Y ESTABILIDAD - BREVE REVISION</u>	91
<u>ENTENDIENDO LAS INTERACCIONES HISTOLÓGICAS, CITOLÓGICAS, Y MOLECULARES ENTRE EL HONGO P. STRIIFORMIS TRITICI Y EL TRIGO</u>	103
<u>EVOLUCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA</u>	115
<u>ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO UPANO PARA ANÁLISIS DE INUNDACIONES</u>	127
<u>RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO FUENTE POTENCIAL PARA LA OBTENCIÓN DE NANOCELULOSA</u>	137
<u>ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO DE SUBRASANTE BLANDO CON RESIDUO DE CONCRETO FINO</u>	149
<u>INNOVACIÓN PEDAGÓGICA A TRAVÉS DEL USO DE PORTAFOLIOS ELECTRÓNICOS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR</u>	160
<u>MÉTODOS DE SÍNTESIS DE ÓXIDOS DE HIERRO Y COMPÓSITOS PARA REMOVER ARSÉNICO EN AGUA</u>	172



PRESENTACIONES

<u>Dr. Orlando Belette</u>	<u>187</u>
<u>PhD. Ing. Xavier Buenaño.....</u>	<u>224</u>
<u>PhD. Manuel Viera.....</u>	<u>253</u>
<u>PhD. Rodrigo Abad</u>	<u>302</u>
<u>PhD. Nelson Duchi</u>	<u>335</u>
<u>PhD. Anabell Urbina</u>	<u>384</u>
<u>PhD. Mariana Farías</u>	<u>431</u>
<u>PhD. Guillermo Machado.....</u>	<u>454</u>
<u>PhD. Lorena Molina</u>	<u>483</u>
<u>Dr. José Prato, Dr. Iván Ríos, Dra. Luisa Gonzales, Dra. Anita Ríos.....</u>	<u>513</u>



CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA MEDIANTE PROPIEDADES FÍSICAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

CHARACTERIZATION OF THE ROCK THROUGH PHYSICAL PROPERTIES AND ITS RELATION TO UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH

Patricio Feijoo C. *, Elizabeth Brito V.

Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Minas, Cuenca, Ecuador

E-mail* : pfeijoo@uazuay.edu.ec

Resumen

En este trabajo se propone una metodología sencilla y de aplicación práctica en campo para la determinación aproximada de la Resistencia a la Compresión Simple (RCS) en rocas, propiedad o característica que es importante en minería, ya que mediante la misma, se ejecutan análisis para la valoración de factores de seguridad y estabilidad y/o posibles sistemas de fortificación en las obras o estructuras mineras, a más de que la caracterización de la RCS es también influyente en el uso de explosivos para la explotación o extracción de materiales de una cantera o mina. Esta estimación se la propone en base a la determinación de las siguientes tres propiedades de la roca, que en esta investigación las denominamos densidad, porosidad y absorción "en mina". Estas propiedades físicas se las puede obtener de una forma simple, pero metódica y en este trabajo se han ejecutado ensayos sobre un mismo material o roca proveniente de la zona de Cojitambo, provincia del Cañar (Ecuador) y sobre una base de 60 muestras o probetas. Los resultados obtenidos permiten una correlación entre las propiedades antes descritas y la RCS, a más que se ha estructurado una metodología de cálculo para el objetivo planteado.

Palabras Clave: *compresión, roca, densidad, porosidad, absorción, fortificación.*

Abstract

This work proposes a simple methodology and practical application in the field for the approximate determination of the Unconfined Compressive Strength (UCS) in rocks, property or characteristic that is important in mining, since through it analyzes are carried out to the assessment of security and stability factors and/or possible fortification systems in the works or mining structures, in addition to the characterization of the UCS is also influential in the use of explosives for the exploitation or extraction of materials from a quarry or mine. This estimate is proposed based on the determination of the following three properties of the rock, which in this investigation we call density, porosity and absorption "in mine". These physical properties can be obtained in a simple, but methodical way and in this work, tests have been carried out on the same material or rock from the Cojitambo area, Cañar province (Ecuador) and on the basis of 60 samples or test tubes. The results obtained allow a correlation between the properties described above and the UCS, in addition to a calculation methodology for the proposed objective.

Keywords: *compression, rock, density, porosity, absorption, fortification.*

I. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de la explotación de minas y canteras es importante determinar la resistencia a la compresión simple de las rocas (RCS) ya que mediante este parámetro se pueden desarrollar clasificaciones de los macizos rocosos, como la del Rock Mass Rating (RMR) o Índice Q, con las cuales se determina la estabilidad de las estructuras mineras, tanto a cielo abierto como en subterráneo. La resistencia de una roca o de sedimentos no bien consolidados está influida por la mineralogía de sus partículas y por el contacto que hay entre ellas (1). Pero

muchas veces debido a las condiciones en las cuales se encuentran las labores mineras, resulta complicado y a veces casi imposible enviar muestras de roca a laboratorios para determinar la RCS, y en estos tiempos es la problemática de los encargados de evaluar la estabilidad de las estructuras en el campo, por lo que se presenta la imperiosa necesidad de presentar alternativas in situ para la valoración de la RCS. En este trabajo se propone determinar propiedades físicas de las rocas y correlacionarlas con la RCS, para de esta manera obtener de una manera aproximada dicho parámetro. En la Mecánica de Rocas, que es la encargada de estudiar las

propiedades de las rocas y de los macizos rocosos, es muy importante definir algunas de ellas, que sin restar importancia a otras, se consideran prioritarias. El comportamiento de una masa o macizo de roca in situ es diferente de un material rocoso, debido a que el material rocoso es mucho más fuerte y un macizo rocoso presenta casi siempre sistemas de debilidades estructurales llamadas diaclasas (fracturas, fisuras, juntas, discontinuidades, fallas de varios tamaños). Prácticamente todas las rocas que forman los kilómetros de la corteza terrestre están atravesadas por fisuras y grietas de corta extensión (2).

En este punto cabe analizar cada una de las propiedades de las rocas que se verán involucradas en las diferentes propuestas de correlación de este trabajo, tomando en consideración que la heterogeneidad de los materiales o rocas usados siempre puede ser un limitante para su análisis. También, incluso en rocas aparentemente isotropas y homogéneas, entendiéndose como homogeneidad si dos muestras cualesquiera de una masa rocosa del mismo volumen e igualmente orientadas son idénticas desde todos los puntos de vista (3), las propiedades pueden variar según el grado de cementación o

variaciones en la composición mineralógica.

II. METODOLOGÍA

Se denomina Resistencia a la Compresión Simple de una roca (RCS) al esfuerzo medido sobre la misma de una manera técnica. Esta valoración o parámetro se debe a la necesidad de emplear clasificaciones de macizos rocosos. Estas clasificaciones son conocidas como clasificaciones geomecánicas y derivan de la diferencia existente entre las propiedades de la roca por su naturaleza y las del macizo, que presenta diferentes grados de fracturación y meteorización. Las clasificaciones geomecánicas son sistemas de valoración del comportamiento del terreno rocoso. Se basan en calificar numéricamente las propiedades y características específicas de la roca en un emplazamiento determinado y posteriormente obtener una calificación final como la suma de las valoraciones parciales. En la actualidad las clasificaciones geomecánicas se han generalizado y son ampliamente utilizadas, tanto en las fases de diseño como en las fases de ejecución, en todo tipo de obras en macizos rocosos. Es importante, por tanto, conocer las limitaciones y dificultades que presenta cada una de

las clasificaciones (4). Las diferentes clasificaciones toman en cuenta un parámetro fundamental, la Resistencia a la Compresión Uniaxial o Simple de la Roca. La RCS es una medida de resistencia de la matriz rocosa, la cual representa el esfuerzo de compresión axial máximo que puede soportar una muestra de material antes de fracturarse.

Este ensayo sirve para determinar la resistencia a compresión de una probeta cilíndrica de roca de altura entre el doble y el triple del diámetro (5). Normalmente estas probetas se obtienen a partir de testigos de perforación. También se pueden obtener muestras a partir de bloques de roca; la extracción de estos bloques en la mina o en la obra se debe llevar a cabo sin voladuras, ya que éstas pueden generar en la roca nuevas microfisuras o aumentar las existentes, lo cual se traduciría en una pérdida de resistencia de las probetas que se obtengan de ellos. Averiguar la resistencia a compresión simple de una roca es importante porque permite clasificar la roca según su resistencia, es un parámetro importante en los criterios de rotura más utilizados (Mohr-Coulomb y Hoek-Brown) (6). La Tabla 1 muestra una clasificación de las rocas y la resistencia a la compresión según la

ISRM (International Society for Rock Mechanics) de 1981 (7).

Tabla 1. Clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión según la ISRM

Descripción	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)
Extremadamente blanda	< 1
Muy blanda	1 a 5
Blanda	5 a 25
Moderadamente blanda	25 a 50
Dura	50 a 100
Muy dura	100 a 250
Extremadamente dura	> 250

Fuente: ISRM 1981

Las rocas presentan relaciones lineales y/o no lineales entre las fuerzas aplicadas y las deformaciones producidas, obteniéndose diferentes modelos de curvas de tensión contra deformación para distintos tipos de rocas (8).

La densidad es una propiedad elemental y fundamental de los materiales, relacionada con la naturaleza de sus constituyentes y la existencia de espacios vacíos entre ellos. La densidad (ρ) se define como la masa (M) por unidad de volumen (V), y se expresa en kg/m^3 .

Conocida la masa y el volumen de una muestra rocosa se determina de forma inmediata su densidad. En los materiales porosos tanto la masa como el volumen admiten ciertas

matizaciones y, en consecuencia, se pueden establecer distintos tipos de densidad. Fundamentalmente se distingue dos: “densidad de los granos minerales” y “densidad de la roca seca”. También se consideran otros tipos de densidad, obtenidos a partir de distintos ensayos, como la “densidad de la roca húmeda” (para un determinado contenido en humedad) y la “densidad corregida” o “densidad del esqueleto” (cuando el volumen de roca no incluye los poros abiertos pero incluye los cerrados) (9).

La obtención de la masa de la muestra de una roca no es un problema, únicamente es necesario que esté seca, por lo que los distintos métodos se diferencian en el procedimiento seguido para determinar el volumen. Un método sencillo, es el de generar prismas de roca con medidas más o menos iguales y mediante el uso de un calibrador se determina el volumen de las mismas.

La porosidad en rocas es definida como la razón entre el volumen de los espacios vacíos entre la roca y el total volumen aparente de la roca, también se refiere a la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total (10).

Así también el contenido de humedad presente en una roca es la relación existente entre el agua contenida en los

poros de la roca y la masa de las partículas de la roca misma. Si el sólido se encuentra directamente en contacto con el agua líquida, todos estos poros capilares son rápidamente saturados de agua, hablándose entonces de absorción capilar (11).

Esta propiedad, será para alguna roca mayor que para otras, y en este punto podemos hablar de la velocidad con la cual absorbe el agua la probeta, a través de su capilaridad, propiedad denominada sorptividad (12).

La base de cualquier trabajo es la planificación de las actividades a realizar. Para cumplir con el objetivo disponemos de una serie de herramientas, unas para aplicar en campo y otras en laboratorio.

Para el desarrollo de la propuesta se inició con la obtención de muestras de un sector denominado Cojitambo, presenta una morfología de tipo multiforme, es una formación volcánica en la provincia del Cañar (Ecuador) (13). Estas muestras se tomaron de afloramientos, pero trabajando en los mismos para que la matriz rocosa extraída sea sana y no contenga ningún tipo de alteración o descomposición. Es muy importante que las muestras tengan superficies frescas y limpias, que nos permita realizar una valoración correcta

del estado de la roca a la cual se procede a realizar los ensayos (14). Realizada la toma de muestras se las preparó para la elaboración de probetas, en lo posible de iguales dimensiones. Las probetas preparadas tuvieron las siguientes dimensiones aproximadamente: 5 cm x 5 cm x 12 cm y en total se elaboraron 60 probetas.



Figura 1. Muestras o probetas de roca

En la primera fase se ejecutaron las pruebas para la obtención de lo que denominamos densidad en mina, para lo cual con una balanza de precisión se obtiene la masa y con sus dimensiones se obtuvieron sus respectivos volúmenes (15).

$$\rho = \frac{M_i}{V_i} \quad (1)$$

Donde:

ρ = densidad en mina en $\frac{Kg}{m^3}$

M_i = masa inicial en Kg

V_i = volumen inicial en m^3

En una segunda parte, luego de haber determinado masa y volumen de cada

probeta, las mismas se proceden a introducir en un horno convencional, a temperatura constante de 75 °C, por el tiempo que sea necesario hasta que la masa de cada probeta se mantenga constante, es decir hasta que no se produzca más pérdida de humedad de la misma. A esta prueba o etapa la denominamos porosidad en mina de la roca. El tiempo necesario para esta etapa estuvo en el orden de 4 a 5 días.



Figura 2. Probetas de roca en horno para secado

La porosidad en mina de las diferentes probetas la obtenemos mediante la siguiente relación (15):

$$\eta = \frac{M_i - M_f}{V_i} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

η = porosidad en mina en %

M_f = masa al fin del secado en Kg

Como tercera etapa, luego de que las probetas se han estabilizado en su masa y luego de haberlas dejando a temperatura ambiente por al menos 7

días, se procede a ejecutar la prueba que hemos denominado absorción en mina de la roca, la cual consiste en introducir la probeta en un vaso de precipitado de capacidad de un litro, conteniendo agua hasta los 500 cc. Esta prueba se puede decir que es con sorptividad constante, ya que se introduce la probeta por una hora exacta y luego de eso se obtiene la nueva masa de la probeta.



Figura 3. Probetas de roca en vaso para absorción de agua

Para la determinación de la absorción en mina utilizamos la siguiente relación (15):

$$\omega = \frac{Ma - Mi}{Vi} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

$\omega =$ absorción en mina en %

$Ma =$ masa final con agua en Kg

Obtenidos todos estos resultados, se procede nuevamente a mantener las probetas a temperatura ambiente por otros 7 días, hasta que las mismas

vuelvan a sus condiciones originales de ser posible.

Finalmente se las lleva al laboratorio para la determinación de la resistencia a la compresión. Para la ejecución de los ensayos se utiliza el equipo apropiado. Esta máquina es una prensa Humboldt que tiene facultades para someter materiales a ensayos de tensión y compresión. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o sistema hidráulico.

La máquina de ensayos tiene como función comprobar la resistencia de diversos tipos de materiales, para esto posee un sistema que aplica cargas controladas sobre una probeta (modelo de dimensiones preestablecidas) y mide en forma gráfica la deformación, y la carga al momento de su ruptura. (Figura 4).



Figura 4. Máquina de compresión Humboldt

Las recomendaciones para la aplicación de la máquina de compresión son: a) Adecuado para cilindros, cubos, vigas y núcleos de mezclas. b) Rango de

prueba de 2500 a 250000 lb (11 a 1112 KN) con una precisión de $\pm 0.5\%$ de la carga indicada. c) La configuración estándar incluye platos para probar cilindros de 6 "x 12" (150 mm x 300 mm) y se procede a realizar los cálculos de carga máxima y sección transversal mediante las normas ASTM. C42-68 para corrección de la resistencia a la compresión simple (16).

III. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Luego de evaluar los resultados, Tabla 2, se ha establecido que la densidad en mina presenta una serie de valores que varían entre los 2329 a los 2556 Kg/m^3 , pero si establecemos subconjuntos, en este caso 6 debido a que se trabajó sobre 60 muestras, la mayor cantidad de muestras se ubican en el subconjunto de 2443 a 2480 Kg/m^3 , y este rango de valores nos presenta en promedio una RCS de 64 MPa. Figura 5.

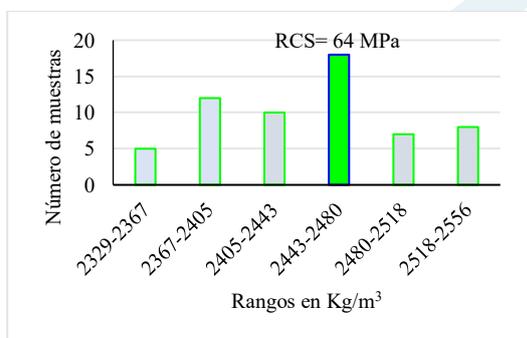


Figura 5. Valores de densidad en mina por rangos

Analizados los datos de porosidad en mina, figura 6, estos presentan valores de 0.31 hasta 1.94 %, pero el subconjunto en donde se establecen la mayor cantidad de muestras esta entre 1.12 a 1.40 %, y en este rango la RCS presenta en promedio un valor de 61 MPa.

De igual manera los datos de absorción en mina presentan un rango de valores de entre 0.32 a 5.99 %, siendo el subconjunto de mayor cantidad de muestras el comprendido entre 0.32 a 1.27 %, con lo cual obtenemos del mismo una RCS promedio de 68 MPa. Figura 7.

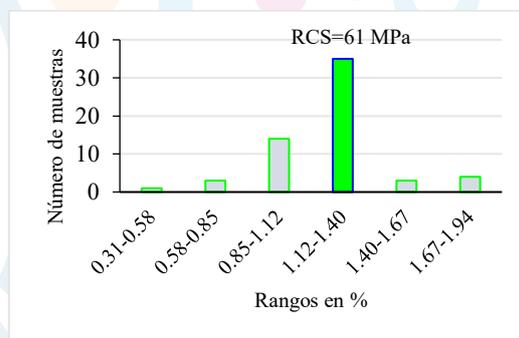


Figura 6. Valores de porosidad en mina por rangos

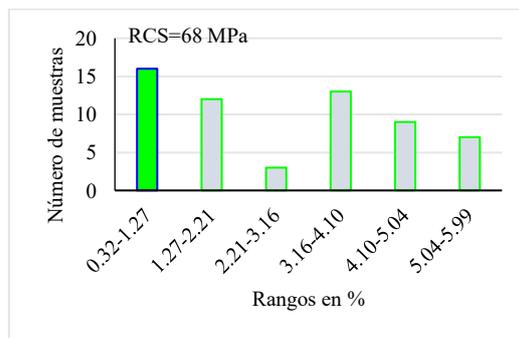


Figura 7. Valores de absorción en mina por rangos

Dadas las condiciones, debido a los datos analizados, se propone que para la determinación de las propiedades físicas en mina, descritas anteriormente, se debe establecer una metodología de análisis, formando subconjuntos entre densidad y absorción en mina, densidad y porosidad en mina y porosidad y absorción en mina, esto lo podemos observar en la figura 8, donde se establecen el número de muestras en cada subconjunto y el promedio en MPa de la RCS.

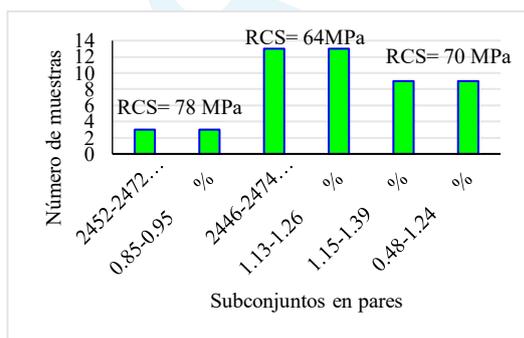


Figura 8. Muestras por subconjuntos dobles

Finalmente se ha conformado un subconjunto con las muestras que se repiten en las 3 propiedades en mina, lo cual se lo puede observar en la figura 9, en esta se determina los valores para los rangos de cada una de las propiedades y el promedio de la RCS.

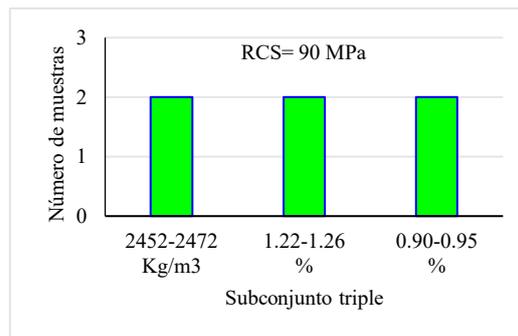


Figura 9. Muestras en subconjunto triple

IV. CONCLUSIONES

La metodología planteada nos permite determinar que la roca del Cojitambo tiene una densidad en mina que va desde los 2452 a 2472 Kg/m³, porosidad en mina de entre el 1,22 al 1,26 % y absorción en mina de 0.90 al 0.95 %.

Debido a la selección de muestras por medio de subconjuntos, se ha determinado que el valor de la RCS de la roca de Cojitambo tiene en promedio un valor de 90 MPa, pero de igual manera si tomamos en consideración los rangos de los subconjuntos, este valor podría estar entre los 61 y 90 MPa, lo cual nos ubica siempre dentro de la clasificación como una roca dura.

Este tipo de roca puede ser usada para elementos ornamentales o de construcción, debido a que su resistencia a compresión simple, mantendría una durabilidad en el tiempo, pero al mismo tiempo permite una maniobrabilidad en el trabajo de destaje.

Una vez evaluados los resultados, que se han obtenido en las experiencias llevadas a cabo, reconocemos el empleo del procedimiento para la valoración de la resistencia a la compresión simple (RCS) de las rocas y caracterizarla por medio de la densidad en mina, porosidad en mina y absorción en mina.

Este trabajo presenta una metodología de trabajo simple y sencillo, para la caracterización de la roca en un proyecto minero, por lo que su puesta a punto debe profundizarse con un mayor número de muestras de diferentes tipos de rocas y de esta forma el proceso sea avalado.

V. REFERENCIAS

1. Blyth F, Freitas, M. Geología para Ingenieros. México D. F. México; 2003.
2. Iriondo, M. Introducción a la Geología. Córdoba. Argentina; 2006.
3. Ragan, D. Geología Estructural. Barcelona. España; 1980.
4. Feijoo P, Iñiguez C. CORTE EN ROCAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE. RISTI [Internet]. 5 de junio de 2020 [citado 1 de julio de 2020]; Disponible en: <http://www.risti.xyz/issues/ristie30.pdf>
5. E. P. Feijoo, C. A. Flores and B. A. Feijoo, "The Concept of the Granulometric Area and Its Relation with the Resistance to the Simple Compression of Rocks," 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), Panamá, Panamá, 2019, pp. 52-56, doi: 10.1109/IESTEC46403.2019.00018.
6. Delgado, C. Evaluación de un cambio Tecnológico para el Procesamiento de Minerales de Alta Dureza, Universidad de Chile; 2013.
7. Galván, M. Mecánica de Rocas: Correlación entre la Resistencia a Carga Puntual y la Resistencia a Compresión Simple. Cali, Colombia; 2015.
8. Secretaria de Comunicaciones y Transporte, Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carreteras, México D. F., México; 2016.
9. Alonso, F. Propiedades Físicas: Densidad y Porosidad. Universidad de Oviedo; 2013.
10. Galván, M, Restrepo, I. Correlación de la resistencia a la compresión uniaxial con la humedad y porosidad eficaz en rocas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Colombia; 2016.
11. Ontiveros, E, Villegas, R. Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones. Madrid, España; 1996.
12. Howland J, Martín, A. Estudio de la absorción capilar y la sorptividad de hormigones con áridos calizos cubanos, Materiales de Construcción; Volumen 13, 2013.
13. Feijoo P, Román M. CORRELACIÓN ENTRE LA DEFORMACIÓN Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ROCAS. uct [Internet]. 5 de mayo de 2019

[citado 12 de julio de 2020];23(91):6.

<https://www.uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/112>

14. Feijoo Calle EP, Padrón Suarez JC. LA RESISTIVIDAD DE ROCAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE EN MINA. uct [Internet]. 18 de abril de 2020 [citado 12 de julio de 2020];24(99):61-7.

<http://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/296>

15. Brito, E., Caracterización del material rocoso mediante ensayos físicos de campo, Tesis de Grado, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador,2020.

16. Rodríguez, D, Feijoo, P. Determinacion del uso de Plástico PET como alternativa al uso de madera en Fortificación Minera. CONAMIN, Lima; 2018.

Tabla 2. Datos y Resultados

	Mi	a	b	c	Densidad en Mina	Fuerza	RCS	Mf	Porosidad en Mina	Ma	Absorción en Mina
	g	cm	cm	cm	Kg/m ³	Kg	MPa	g	%	g	%
1	725.40	4.90	12.20	5.00	2426.90	11445.00	45.80	721.80	1.20	738.20	4.28
2	776.40	5.20	12.30	5.00	2427.77	19748.00	74.46	772.90	1.09	793.60	5.38
3	761.60	5.20	11.90	4.90	2511.77	13794.00	53.08	757.80	1.25	774.20	4.16
4	779.20	5.10	12.20	5.10	2455.55	12626.00	47.59	775.60	1.13	798.20	5.99
5	778.60	5.00	12.10	5.10	2523.42	19106.00	73.46	774.90	1.20	794.00	4.99
6	779.60	5.10	12.30	5.20	2389.97	18713.00	69.18	775.70	1.20	792.10	3.83
7	714.40	5.00	11.90	4.80	2501.40	9274.00	37.88	711.10	1.16	726.50	4.24
8	756.20	5.00	12.10	5.10	2450.82	12551.00	48.25	752.70	1.13	772.90	5.41
9	776.60	5.10	12.30	5.10	2427.46	14429.00	54.39	772.70	1.22	791.70	4.72
10	784.80	5.00	12.20	5.20	2474.15	12629.00	47.62	781.10	1.17	801.00	5.11
11	739.80	4.90	11.90	5.00	2537.47	13055.00	52.24	735.90	1.34	748.50	2.98
12	727.20	5.00	12.10	5.00	2403.97	14651.00	57.45	725.40	0.60	730.10	0.96
13	764.60	5.10	12.10	5.20	2382.73	16221.00	59.97	760.70	1.22	776.80	3.80
14	763.70	5.10	12.00	5.10	2446.82	14210.00	53.56	760.00	1.19	777.10	4.29
15	771.90	5.10	12.10	5.10	2452.65	18191.00	68.57	768.30	1.14	788.70	5.34
16	757.30	5.00	12.10	5.10	2454.38	12634.00	48.57	753.60	1.20	773.50	5.25
17	735.00	5.20	11.90	5.10	2328.99	14413.00	53.28	733.00	0.63	739.20	1.33
18	767.50	5.00	12.30	5.30	2354.66	20735.00	76.71	763.30	1.29	776.20	2.67
19	761.10	5.10	12.20	5.00	2446.48	19641.00	75.51	757.30	1.22	773.00	3.83
20	760.40	5.10	12.00	5.00	2484.97	9209.00	35.41	756.60	1.24	777.20	5.49
21	743.80	4.90	12.30	5.00	2468.23	17269.00	69.10	740.10	1.23	758.30	4.81
22	766.40	5.00	12.00	5.00	2554.67	16259.00	63.76	762.60	1.27	778.40	4.00
23	778.50	5.20	12.00	5.20	2399.22	12964.00	47.00	774.90	1.11	794.50	4.93
24	764.10	5.10	12.00	5.10	2448.10	6577.00	24.79	760.50	1.15	774.80	3.43
25	785.90	5.00	12.30	5.10	2505.66	9757.00	37.51	782.40	1.12	788.80	0.92
26	774.20	5.40	12.10	5.00	2369.76	13544.00	49.18	771.40	0.86	778.50	1.32
27	759.60	5.10	11.90	5.10	2454.13	15732.00	59.30	756.80	0.90	764.10	1.45
28	792.80	5.20	12.30	5.00	2479.05	13560.00	51.13	789.50	1.03	798.10	1.66
29	798.30	5.50	12.10	5.00	2399.10	11662.00	41.58	794.40	1.17	799.90	0.48
30	801.70	5.30	12.20	5.00	2479.74	24060.00	89.01	798.40	1.02	805.90	1.30
31	772.80	5.00	12.00	5.10	2525.49	22399.00	86.12	769.20	1.18	776.60	1.24
32	766.70	4.90	11.90	5.20	2528.59	12683.00	48.80	763.80	0.96	771.80	1.68
33	779.30	5.20	12.00	5.00	2497.76	14126.00	53.27	775.70	1.15	782.50	1.03
34	769.50	5.00	12.10	5.00	2543.80	19890.00	78.00	766.20	1.09	774.00	1.49
35	769.30	5.30	12.20	5.00	2379.52	20901.00	77.33	764.80	1.39	771.80	0.77
36	800.20	5.30	12.50	5.10	2368.33	7207.00	26.14	795.50	1.39	803.00	0.83
37	784.50	5.10	12.20	5.40	2334.90	22323.00	79.47	780.80	1.10	788.80	1.28
38	793.10	5.20	12.10	5.10	2471.55	23994.00	88.70	789.20	1.22	796.00	0.90
39	802.80	5.10	12.40	5.10	2489.12	18091.00	68.19	798.20	1.43	804.40	0.50
40	774.40	5.00	12.10	5.30	2415.09	21607.00	79.94	770.80	1.12	777.90	1.09
41	785.90	5.10	12.10	5.00	2547.08	21952.00	84.40	780.10	1.88	786.90	0.32
42	795.20	5.00	12.20	5.10	2556.09	19160.00	73.66	791.90	1.06	799.70	1.45

43	771.30	5.10	12.10	5.00	2499.76	19667.00	75.61	767.80	1.13	775.50	1.36
44	794.10	5.00	12.30	5.30	2436.26	23744.00	87.84	790.20	1.20	797.30	0.98
45	786.90	5.20	12.10	5.20	2405.07	22434.00	81.34	783.10	1.16	789.50	0.79
46	727.40	5.00	12.00	5.00	2424.67	8793.00	34.48	722.00	1.80	733.00	1.87
47	711.30	5.00	11.80	5.00	2411.19	17345.00	68.02	708.00	1.12	723.30	4.07
48	720.80	4.90	12.00	5.00	2451.70	22725.00	90.94	717.10	1.26	723.60	0.95
49	725.70	5.00	12.00	5.00	2419.00	15251.00	59.81	722.20	1.17	730.40	1.57
50	699.30	5.00	11.90	5.00	2350.59	7287.00	28.58	695.20	1.38	710.90	3.90
51	700.00	5.00	11.70	5.00	2393.16	10087.00	39.56	695.20	1.64	711.90	4.07
52	708.60	5.00	11.90	5.00	2381.85	13945.00	54.69	705.10	1.18	718.00	3.16
53	693.00	5.00	11.90	4.70	2478.10	16250.00	67.79	691.30	0.61	704.00	3.93
54	725.60	4.90	12.00	5.00	2468.03	13220.00	52.90	719.90	1.94	728.10	0.85
55	714.20	5.00	11.90	5.00	2400.67	12149.00	47.64	711.50	0.91	726.00	3.97
56	707.70	5.00	11.90	4.90	2427.37	19256.00	77.05	702.30	1.85	711.00	1.13
57	710.10	4.90	11.90	5.00	2435.60	13256.00	53.05	709.20	0.31	721.00	3.74
58	709.60	5.00	12.00	5.00	2365.33	15665.00	61.43	705.30	1.43	722.00	4.13
59	701.80	4.90	11.90	4.90	2456.26	21191.00	86.53	698.50	1.15	713.00	3.92
60	713.60	5.00	11.90	4.90	2447.61	20340.00	81.39	710.20	1.17	725.00	3.91

Fuente: autores.

Biosorción de Cd^{2+} y Pb^{2+} con corteza de cacao: experimentación, modelación matemática y simulación numérica

Biosorption of Cd^{2+} and Pb^{2+} on cocoa shell: experimental studies, mathematical modeling and numerical simulation

¹Diego Juela Quintuña *

¹ Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Ingeniería Química, Cuenca, Ecuador.

E-mail *: diego.juela@ucuenca.edu.ec

Resumen

La corteza de cacao es un potencial adsorbente para la eliminación de contaminantes de aguas residuales. El objetivo de este estudio fue comparar, modelar y simular la remoción de Pb^{2+} y Cd^{2+} en columna de lecho fijo utilizando corteza de cacao. Los estudios experimentales se llevaron a cabo en una bureta de laboratorio con una altura de lecho de 10.5 cm, flujo volumétrico de 2 mL/min, y concentración de metal de 10 mg/L. Los modelos empíricos de Thomas, Dosis-Respuesta, y Wang fueron usados para estudiar el comportamiento dinámico de la biosorción, adicionalmente un modelo matemático basado en un balance de masa diferencial de la columna fue planteado para estudiar el efecto del fenómeno de dispersión axial. Los resultados señalaron que los sitios activos de la corteza de cacao tienen mayor afinidad por el catión Pb^{2+} , con tiempos de ruptura y saturación superiores a la del Cd^{2+} . El modelo Dosis-Respuesta fue el que presentó mejor ajuste con los datos experimentales, confirmando que la capacidad de adsorción de la corteza es superior con Pb^{2+} . El fenómeno de dispersión axial es relevante y no debe ser despreciado en el planteamiento de modelos a escala de laboratorio.

Palabras Clave: *Corteza de cacao, biosorción, metales pesados, simulación numérica.*

Abstract

Cocoa shell is a potential adsorbent for the removal of pollutants from wastewater. The goal of this study was to compare, model and simulate the removal of Pb^{2+} and Cd^{2+} in a fixed bed column using cocoa shell. The experimental studies were carried out in a laboratory burette with a bed height of 10.5 cm, a volumetric flow of 2 mL/min, and a metal concentration of 10 mg/L. The empirical models of Thomas, Dose-Response, and Wang were used to study the dynamic behavior of biosorption, additionally a mathematical model based on a mass balance differential of the column was proposed to study the effect of the axial dispersion phenomenon. The results showed that the active sites of the cocoa shell have a higher affinity for the cation Pb^{2+} , with higher breakthrough and saturation times than Cd^{2+} . The Dose-Response model was the one that presented the best fit with the experimental data, confirming that the adsorption capacity of the shell is superior with Pb^{2+} . The axial dispersion phenomenon is relevant and should not be neglected in the formulation of models at laboratory scale.

Wang were used to study the dynamic behavior of biosorption, in addition a mathematical model based on a differential mass balance of the column was proposed to study the effect of the axial dispersion phenomenon. The results indicated that the active sites of cocoa shell have a higher affinity for the Pb^{2+} cation, with breakthrough and saturation times higher than Cd^{2+} . The Dose-Response model was the one that presented the best fit with experimental data, confirming that the adsorption capacity of the cocoa shell is superior with Pb^{2+} . The axial dispersion phenomenon is relevant and should not be neglected in the approach of laboratory scale models.

Keywords: *cocoa shell, biosorption, heavy metals, numerical simulation.*

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de contaminantes convencionales en aguas residuales ha sido una línea de investigación prioritaria de los principales organismos dedicados a la protección de la salud pública y medio ambiente, tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA), y la Comisión Europea. La presencia de metales pesados en aguas residuales se debe principalmente a actividades antropogénicas. Actividades como la minería y extracción, actividades textiles, operaciones de acabado y galvanoplastia de metales, energía nuclear industrial, alcantarillado doméstico y escorrentías agrícolas son la fuente principal de contaminación con metales pesados en los ecosistemas acuáticos (1,2). La presencia de metales pesados en cuerpos de agua dulce y

marina constituye una amenaza real para todos los organismos vivos incluso a bajas concentraciones (3). El plomo (Pb^{2+}) y el cadmio (Cd^{2+}) son dos de los metales con mayor grado de toxicidad (4). Su capacidad de bioacumularse en animales y en plantas pone en peligro la cadena alimenticia humana. Estudios recientes en varios países han reportado la bioacumulación de Cd^{2+} y Pd^{2+} en peces de agua dulce y marina (5,6). En China se observado que el Cd^{2+} es capaz de bioacumularse en plantaciones de arroz (7), incluso en otros países como Australia, Arabia Saudita, India, Nigeria, Pakistan, Etiopía, República Eslovaca, Kenia y Alemania se han llegado a detectar niveles tóxicos de Cd^{2+} y Pd^{2+} en vegetales, frutas, cereales, legumbres y nueces, relacionados con el uso de agua de riego contaminada (8–10). De esta manera estos metales se introducen fácilmente en la cadena alimenticia humana, y a

partir de esto producir efectos cancerígenos y serios problemas de salud en los seres humanos que consumen estos alimentos contaminados.

Por este motivo, es imprescindible la búsqueda de tecnologías novedosas para la eliminación de metales pesados de los efluentes industriales. Tecnologías convencionales como la filtración por membrana, intercambio iónico, adsorción con carbon activado, precipitación química, electrocoagulación, coagulación y floculación, y flotación han demostrado buenos rendimientos en la eliminación de Cd^{2+} y Pd^{2+} a nivel de laboratorio (11–14). Sin embargo, la mayoría de estas tecnologías tienen restricciones técnicas y económicas, son extremadamente costosas para grandes volúmenes de efluente, y producen una gran cantidad de lodos y otros productos tóxicos (15). Otras tecnologías novedosas se han desarrollado en la última década, con ventajas económicas y eficientes, dentro de estas se encuentran la fitorremediación, biosorción, y uso biopolímeros (16,17).

La biosorción es una subcategoría de la adsorción, la cual se diferencia de la adsorción que en lugar de usar adsorbentes comerciales utiliza

materiales biológicos, llamados biosorbentes, como bacterias y algas (biomasa viva), así como materiales naturales agrícolas (biomasa muerta) (15). Con respecto a estos últimos, algunos de los materiales que han sido usados para la remoción de Cd^{2+} y Pd^{2+} destacan el bagazo de caña, semillas de durazno y albaricoque, madera de papaya, cascara de cacao verde, semilla de palma datilera, paja de cebada y trigo, cascara de yuca, concha de mejillón, corteza y cenizas de pinos, ceniza de roble, y residuos de cáñamo (18–22). Con la mayoría de estos materiales se ha llegado a obtener porcentajes de remoción por encima del 90%. Los estudios experimentales de biosorción se pueden efectuar en modo discontinuo o continuo. La mayoría de estos estudios se han realizado en sistemas de modo continuo o en columnas de lecho fijo, debido a su facilidad para el escalado y aplicación industrial. Para diseñar unidades efectivas de lecho empacado con biosorbente, se requieren modelos matemáticos que puedan simular satisfactoriamente las curvas de ruptura obtenidas experimentalmente. Estos modelos son capaces de predecir la dinámica del proceso de biosorción iónico para facilitar el desarrollo de aplicaciones novedosas, tales como el



diseño de columnas empacadas con material biosorbente para remover metales pesados de aguas residuales industriales (23).

Estos modelos son útiles para el diseño experimental, además de suministrar las predicciones para la ejecución del proceso de bioadsorción en cuestión, bajo diferentes condiciones operativas. Entre los modelos matemáticos más utilizados para describir el comportamiento dinámico de la eliminación de contaminantes en columna de lecho fijo están el modelo Thomas, Dosis-Respuesta, y el modelo de Wang. Adicional a estos modelos empíricos, es posible plantear un modelo matemático basado en un balance masa de la columna de biosorción, con suposiciones específicas para el sistema adsorbato-biosorbente en estudio, este modelo teóricamente podría ser más exacto que los modelos empíricos.

En este estudio, se evaluó la remoción de Cd^{2+} y Pd^{2+} en columna de lecho fijo con corteza de cacao. La dinámica del proceso fue estudiada aplicando los modelos Thomas, Dosis-Respuesta, y Wang a los datos experimentales, finalmente el efecto de la dispersión axial fue analizado con un modelo matemático basado en un balance masa

de la columna de biosorción. Su función es identificar el marco teórico-referencial del tema tratado, que será contextualizado con el fenómeno investigado para determinar los objetivos generales y específicos del trabajo. Citar solo aquellas referencias bibliográficas que aportaron sustancialmente al desarrollo del trabajo de investigación. Evite el uso de abreviaturas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

i. Preparación de las soluciones

Nitrato de cadmio y Nitrato de plomo, como estándares certificados de 1000 ppm trazables a NIST y de grado analítico marca Merck, fueron usados para preparar dos soluciones sintéticas con una concentración de 10 mg/L de Cd^{2+} y Pd^{2+} . El pH fue ajustado a 5 añadiendo pequeñas cantidades de solución 0,1 N de HCl.

ii. Preparación del biosorbente

La corteza de cacao fue recolectada de las fincas de Portovelo, provincia de El Oro, Ecuador. Seguidamente, las muestras fueron sometidas a un tratamiento de lavado, secado al sol por 10 días, una trituración con un molino de martillos, y finalmente clasificación



de tamaños. Las propiedades físicas del biosorbente se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características físicas de la corteza de cacao

Propiedad	Valor
Densidad real (ρ_R)	1.127 g/mL
Densidad aparente (ρ_b)	0.36 g/mL
Porosidad del material (ε)	0.4312
Tamaño de partícula (d_p)	>1 mm
pH en el punto de carga cero	6.96
Porosidad del lecho (ε_b)	0.6806

iii. Ensayos de biosorción

Los ensayos se realizaron en una bureta de laboratorio, de 1.6 cm de diámetro y 50 cm de la altura. El estudio se realizó a una altura del lecho de 10.5 cm (correspondiente a 7 g de biomasa), y 2 mL/min de flujo de alimentación. La operación del sistema se realizó con flujo descendente, y temperatura ambiente (18° C). Previo al ensayo, el lecho adsorbente fue humedecido con 300 mL de agua desionizada a fin de evitar una disminución repentina de la concentración del metal en la solución de salida. La solución metálica fue bombeada utilizando una bomba peristáltica, tal como se ilustra en la Figura 1. Las muestras fueron recolectadas a la salida de la columna hasta alcanzar la saturación del adsorbente. Las concentraciones de plomo y cadmio tanto de las soluciones

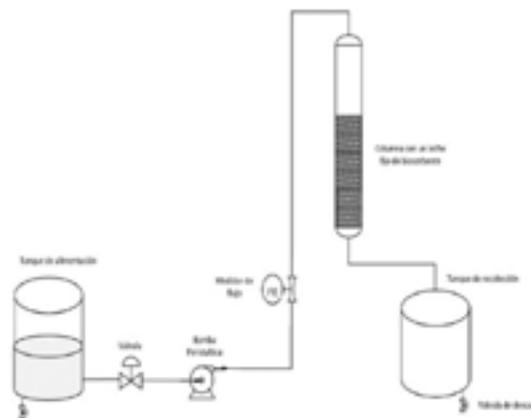


Figura 1. Diagrama del proceso de adsorción experimental.

sintéticas preparadas, así como de las muestras recolectadas a la salida de la columna, fueron determinadas usando la técnica de absorción atómica AANALYST 400 DE PERKIN ELMER.

iv. Modelación matemática

Los modelos empíricos de Thomas, Dosis-Respuesta, y Wang fueron usados para estudiar el comportamiento dinámico de la biosorción de Cd^{2+} y Pd^{2+} sobre corteza de cacao. Las Ec. (1), (2) y (3), muestran las ecuaciones de la curva de ruptura de los modelos de Thomas, Dosis-Respuesta, y Wang, respectivamente.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{k_{Th}q_F m}{Q} - k_{Th}C_0 t\right)} \quad (1)$$

$$\frac{C}{C_0} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{C_0 Q t}{q_F m}\right)^{a'}} \quad (2)$$

$$\frac{C}{C_0} = 1 - \frac{1}{\exp[k_w(\tau - t)]} \quad (3)$$

Donde, k_{Th} es la constante de velocidad de Thomas (mL/min. mg), q_F es la capacidad de adsorción (mg/g), Q y m son el caudal de alimentación (mL/min) y masa del adsorbente (g), a' es un parámetro de modelo de Dosis-Respuesta, k_w es la constante cinética del modelo de Wang (min^{-1}) y τ es el tiempo en el que la concentración de adsorbato a la salida de la columna alcanza la mitad de la solución de alimentación (min).

v. Simulación numérica

El modelo matemático está compuesto por una ecuación diferencial de conservación de masa, una relación para la cinética de adsorción, y una relación de equilibrio de adsorción. El balance de masa diferencial en un elemento de volumen de la columna de biosorción se describe mediante la Ec. (4).

$$-\varepsilon_b D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \frac{\partial(v_i C)}{\partial z} + \varepsilon_b \frac{\partial C}{\partial t} + \rho_b \frac{\partial q}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

Donde, q es la concentración del adsorbato en la fase sólida (mg/g), z es la distancia a lo largo del lecho (cm), v_i es la velocidad intersticial de fluido a través del lecho de partículas (m/s), D_z es el coeficiente de dispersión axial (m^2/s). En este estudio se evaluó la influencia del fenómeno de dispersión axial, por lo que inicialmente se

consideró $D_z=0$, luego la dispersión axial fue incorporado el modelo y D_z se estimó con la ecuación de Soriano et al. (24).

El modelo LDF (Linear Driving Force) fue usado para la cinética de adsorción, y se expresa en la Ec. (5).

$$\frac{\partial q}{\partial t} = K_i(q_e - q) \quad (5)$$

Donde, q_e es la concentración del adsorbato en el sólido cuando se alcanza el equilibrio (mg/g) y se obtiene de la isoterma de adsorción, y K_i es el coeficiente global de transferencia de masa (s^{-1}). Este último se estimó con correlación de Farooq & Ruthven (25). Finalmente, la relación de equilibrio de adsorción usada en este estudio fue descrito por la isoterma de Langmuir.

$$q_e = \frac{q_{max} k_L C_{eq}}{1 + k_L C_{eq}} \quad (6)$$

En donde, los parámetros q_{max} y k_L se obtuvieron de los estudios de Sánchez (26). El modelo fue implementado y resuelto numéricamente en Comsol Multiphysics V5.4.

III. RESULTADOS

i. Estudio experimental

La curva ruptura (C/C_0 vs. tiempo) y la curva de la concentración de metal adsorbido (C_{ads} vs tiempo) para Pb^{2+} y Cu^{2+} obtenidas bajo las condiciones

experimentales establecidas, se muestran en la Fig. 2. La curva de ruptura para el Pb^{2+} se prolonga más hacia la derecha en el tiempo, de igual forma, el área bajo la curva C_{ads} vs tiempo es mayor para el Pb^{2+} que para el

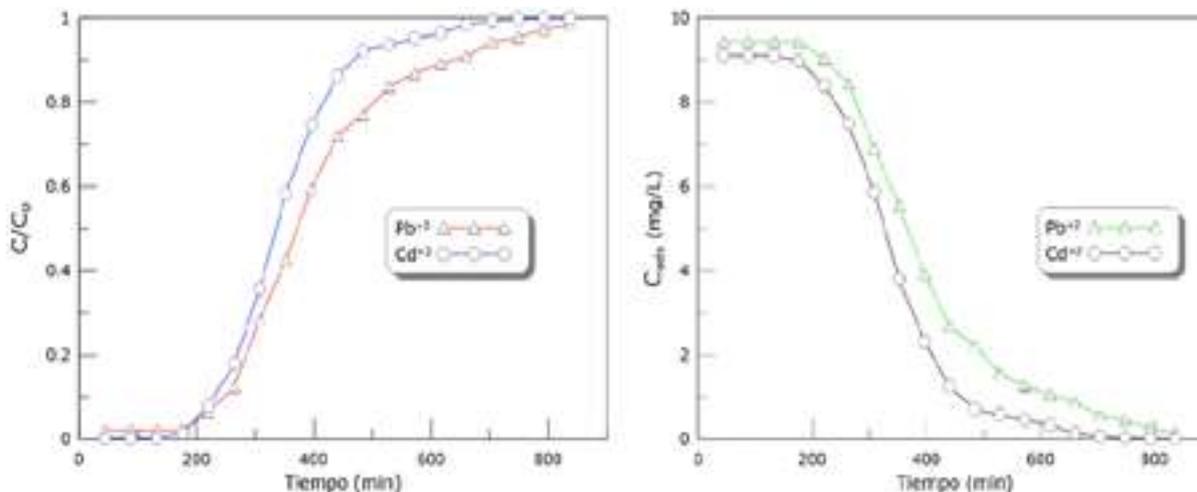


Figura 2. Curva de ruptura experimental para la adsorción de Pb^{2+} y Cd^{2+} con corteza de cacao.

Tomando como criterio los límites máximos permisibles para descarga en cuerpos de agua dulce para Cd^{2+} y Pb^{2+} , establecidos por el Acuerdo Ministerial 097 de Ecuador, es de 0.02 y 0.2 mg/L respectivamente (27), se encontró que los tiempos de ruptura para el Cd^{2+} y Pb^{2+} no difieren en gran medida (129 min y 171 min respectivamente), en tanto que los tiempos de saturación ($C/C_0=0.95$) para ambos metales varían en aproximadamente 165 minutos. La mayor afinidad que presenta la corteza de cacao por el Pb^{2+} que por el Cd^{2+} ha sido ya reportada en varios estudios (28,29), y se corrobora en este estudio. Lara et al. (28) reportaron porcentajes

Cd^{2+} , deduciendo que los sitios activos de la corteza de cacao tienen mayor afinidad por el catión Pb^{2+} . Esto conlleva a una mayor capacidad de adsorción del biosorbente y porcentajes de remoción superiores para este metal.

de remoción de 91.32% y 87.80% para el Pb^{2+} y Cd^{2+} , respectivamente, mientras que Meunier et al. (29) demostraron la eliminación preferencial de la corteza de cacao por el Pb^{2+} con 94%, seguido del Cr^{3+} y Cd^{2+} (82%). La justificación a este acontecimiento puede deberse al radio iónico de los cationes presentes o a la diferencia de electronegatividad entre el Cd^{2+} y Pb^{2+} .

Lara et al. (28) aseguran que el intercambio catiónico es el principal mecanismo de remoción de metales pesados en corteza de cacao, en donde la superficie de la corteza de cacao libera cationes en la siguiente orden $K^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$. Cuando estos cationes



se hidraten con la solución sus radios iónicos alcanzarán valores de 0.15, 0.076 y 0.112 nm respectivamente (30), mientras que el Pb^{2+} y Cd^{2+} en la solución tendrán radios iónicos de 0.12 y 0.096 nm respectivamente (30). Si se libera un catión Mg^{2+} de la superficie de la corteza de cacao, ni el Pb^{2+} ni el Cd^{2+} pueden ocupar su sitio debido a que poseen un mayor radio iónico, mientras que la liberación de dos cationes K^+ proporcionara una misma probabilidad para que Cd^{2+} y Pd^{2+} sean adsorbidos, pero el sitio activo dejado tras la liberación de Ca^{2+} puede ser únicamente ocupado por el Cd^{2+} . Bajo estas consideraciones, la adsorción del Cd^{2+} se debería favorecer debido a su menor radio iónico hidratado en comparación con el Pb^{2+} , pero los resultados experimentales de varios estudios exponen el desacorde (28,29). Esto lleva a deducir que el radio iónico de los cationes no es el factor que favorece la adsorción preferencial de Pb^{2+} en la corteza de cacao, Por otro lado, la alta electronegatividad del ion Pb^{2+} comparado con el ion Cd^{2+} ($1.9 > 1.69$) puede ser el factor más probable que proporciona una atracción más fuerte con el adsorbente.

ii. Modelación matemática

El ajuste lineal a los datos experimentales y la curva de ruptura obtenida por los modelos de Thomas, Dosis-Respuesta, y Wang para la biosorción de Cd^{2+} y Pb^{2+} se observa en la Figura 3 y 4, respectivamente.

Se puede observar en la Figura 3 que los resultados experimentales del Cd^{2+} son prácticamente coincidentes con el modelo de Dosis-Respuesta, con un coeficiente de correlación (R^2) de 0.986. Mientras que el ajuste con los modelos Thomas y Wang presento valores R^2 de 0.958 y 0.953, respectivamente. De igual forma, la curva de ruptura obtenida con el modelo Dosis-Respuesta coincide con los puntos experimentales en casi toda la trayectoria, con ligeras variaciones en el tramo final. En el caso del Pb^{2+} los resultados fueron muy similares, siendo el modelo Dosis-Respuesta el que mejor reprodujo la curva de ruptura experimental, con R^2 superior al obtenido en el estudio de Cd^{2+} . Aunque el modelo Dosis-Respuesta fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales de Cd^{2+} y Pb^{2+} , los modelos de Thomas y Wang también presentan un buen ajuste ($R^2 > 0.95$), por lo que se puede obtener información relevante de estos modelos. Adicionalmente se observa que la capacidad de adsorción estimada por el

modelo Dosis-Respuesta (q_F) para el Pb^{2+} es superior a la del Cd^{2+} ,

ratificando la selectividad que tiene la corteza de cacao por el catión plomo.

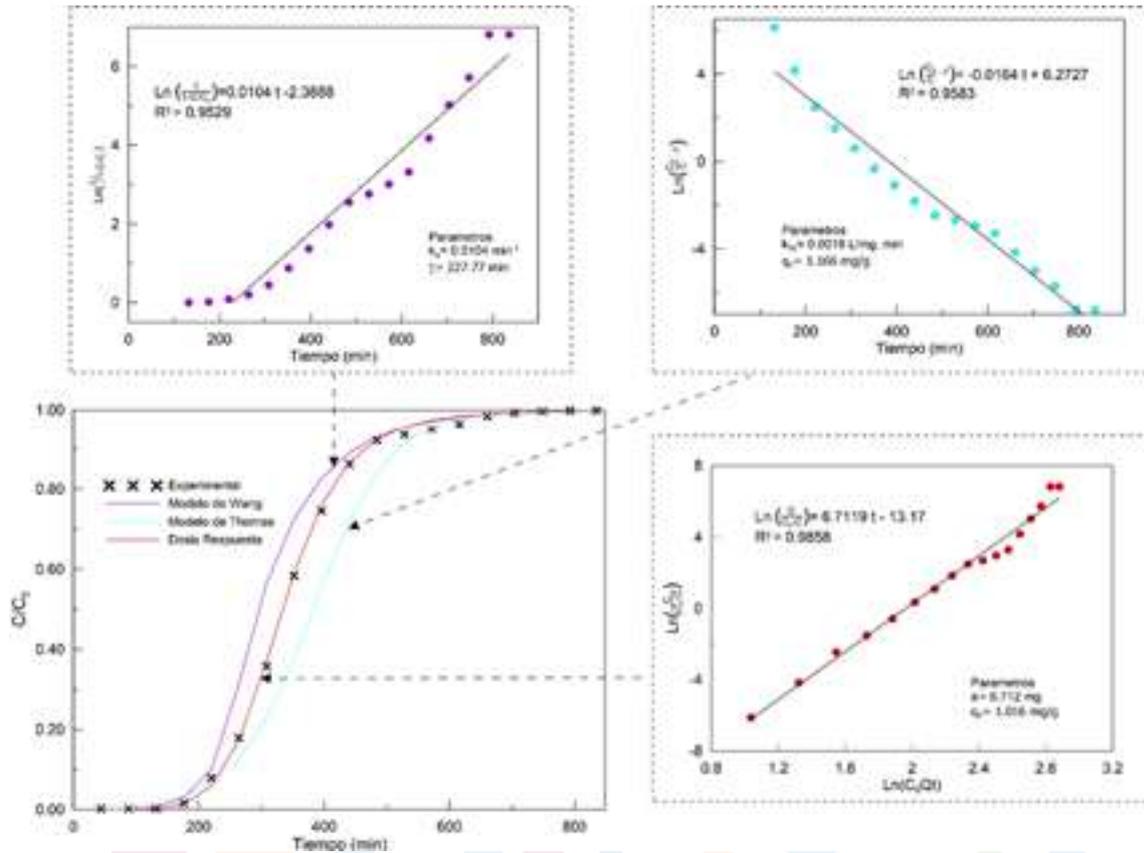


Figura 3. Ajuste de los modelos empíricos a los datos experimentales de la biosorción de Cd^{2+} .

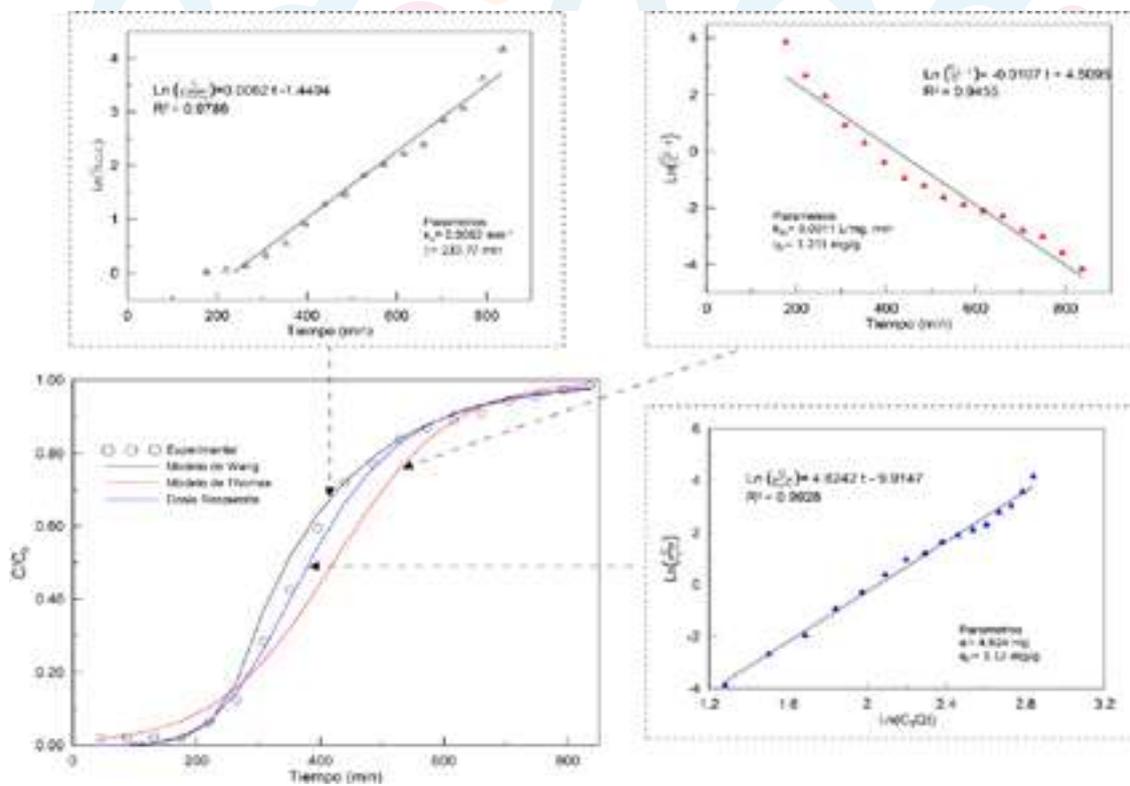


Figura 4. Ajuste de los modelos empíricos a los datos experimentales de la biosorción de Pb^{2+} .



En el modelo de Wang, la constante cinética de transferencia de masa (k_w) para el Cd^{2+} es 67% superior a la obtenida para el Pb^{2+} , lo que significa que el catión Cd^{2+} se transfiere más rápido desde la fase líquida a la fase sólida, y por ello el lecho se satura en un tiempo menor con este catión. Finalmente, el tiempo requerido para un avance de adsorbato del 50% (τ) del Pb^{2+} es mayor al Cd^{2+} , tal como sucedió en la experimentación.

iii. Simulación numérica

El modelo matemático planteado con el fin de estudiar la influencia del fenómeno de dispersión axial en la biosorción Cd^{2+} y Pb^{2+} simuló las curvas de ruptura con y sin dispersión axial. La Figura 5 exhibe los resultados obtenidos para las curvas de ruptura experimental y simulada para ambos metales.

Para el caso del Cd^{2+} se puede observar que el fenómeno de dispersión axial influye ligeramente en las curvas de ruptura y en el rendimiento de la columna. Cuando este fenómeno es considerado ($D_z=2.18 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) la curva simulada se aproxima mucho más a los datos experimentales que la curva sin dispersión axial ($D_z=0 \text{ m}^2/\text{s}$). Resultados similares se observan para el caso de Pb^{2+} . Resultados similares se

observan para el caso de Pb^{2+} . El coeficiente de dispersión axial agrupa los efectos turbulencia, división del flujo y reincorporación alrededor de partículas, dispersión de Taylor, canalización y efectos de pared que sufre el fluido al circular por el lecho poroso (31).

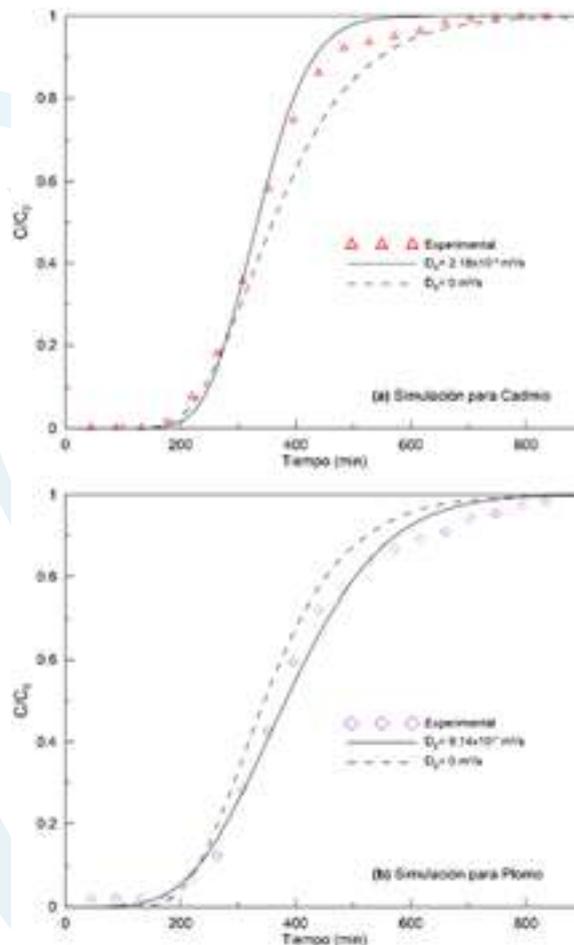


Figura 5. Curva de ruptura experimental y pronosticada (con y sin dispersión axial) para la biosorción de Cd^{2+} y Pb^{2+}

La variación entre las curvas de ruptura pronosticadas con y sin dispersión axial indicaría que los efectos de mezclado aun influyen en la adsorción de Cd^{2+} y

Pb^{2+} con corteza de cacao y deben de ser considerados en los estudios a escala de laboratorio. Adicionalmente se puede observar que el valor de D_z para el Pb^{2+} es inferior al obtenido para el Cd^{2+} . Esto significaría que los efectos de mezclado son poco influyentes en la adsorción de Pb^{2+} favoreciendo una mejor adsorción.

IV. CONCLUSIONES

En base a los estudios experimentales se determinó que los sitios activos de la corteza de cacao tienen una mayor afinidad por el catión plomo que por cadmio, la alta electronegatividad del ion Pb^{2+} puede ser el factor más probable que explique la adsorción preferencial de la corteza de cacao sobre este metal. La tasa de transferencia de masa en el Cd^{2+} es superior a la del Pb^{2+} , lo que produjo que el lecho adsorbente de corteza de cacao se sature en un tiempo de operación menor. El modelo de Dosis-respuesta fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales, estableciendo que la

capacidad de adsorción del biosorbente es superior con el metal Pb^{2+} . Los efectos de dispersión axial influyen en la adsorción de Cd^{2+} y Pb^{2+} con corteza de cacao y deben de ser considerados en los estudios a escala de laboratorio.

V. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca por la oportunidad de llevar a cabo esta investigación.

VI. CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no tiene ningún tipo de conflicto de intereses, ni ningún interés económico, personal, político, financiero o académico que pueda influir en mi juicio. También declaro que no he recibido ningún tipo de beneficio monetario, activos o subsidios de ninguna fuente que pueda estar interesada en los resultados de esta investigación.

VII. REFERENCIAS

1. Musilova J, Arvay J, Vollmannova A, Toth T, Tomas J. Environmental Contamination by Heavy Metals in Region with Previous Mining Activity. Bull Environ Contam Toxicol. 2016; 97(4):569–75.
2. Akpor OB. Heavy Metal Pollutants in Wastewater Effluents: Sources, Effects

- and Remediation. *Adv Biosci Bioeng.* 2014;2(4):37.
3. Akif M, Khan AR, Sok K, Min, Hussain Z, Maal-Abrar, et al. Textile effluents and their contribution towards aquatic pollution in the Kabul River (Pakistan). *J Chem Soc Pakistan.* 2002;24(2):106–11.
 4. Rana MN, Tangpong J, Rahman MM. Toxicodynamics of Lead, Cadmium, Mercury and Arsenic- induced kidney toxicity and treatment strategy: A mini review. *Toxicology Reports.* Elsevier. 2018; 5:704–13.
 5. Khanipour AA, Ahmadi M, Seifzadeh M. Study on bioaccumulation of heavy metals (cadmium, nickel, zinc and lead) in the muscle of wels catfish (*Silurus glanis*) in the Anzali Wetland. *Iran J Fish Sci.* 2018;17(1):244–50.
 6. Maurya PK, Malik DS, Yadav KK, Kumar A, Kumar S, Kamyab H. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in River Ganga basin: Possible human health risks evaluation. *Toxicol Reports.* 2019;6:472–81.
 7. Kong X, Liu T, Yu Z, Chen Z, Lei D, Wang Z, et al. Heavy Metal Bioaccumulation in Rice from a High Geological Background Area in Guizhou Province, China. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15(10).
 8. I. DN, Odunze AC. Elemental Contents of Spinach and Lettuce from Irrigated Gardens in Kano, Nigeria. *Environ Pollut.* 2016;5(1):73.
 9. Bati K, Mogobe O, Masamba WRL. Concentrations of Some Trace Elements in Vegetables Sold at Maun Market, Botswana. *J Food Res.* 2016;6(1):69.
 10. Derakhshan Z, Faramarzian M, Mahvi AH, Hosseini MS, Miri M. Assessment of heavy metals residue in edible vegetables distributed in Shiraz, Iran. *J Food Qual Hazards Control.* 2016;3(1):25–9.
 11. Schwarze M, Groß M, Moritz M, Buchner G, Kapitzki L, Chiappisi L, et al. Micellar enhanced ultrafiltration (MEUF) of metal cations with oleylthoxycarboxylate. *J Memb Sci.* 2015;478:140–7.
 12. Jokar M, Mirghaffari N, Soleimani M, Jabbari M. Preparation and characterization of novel bio ion exchanger from medicinal herb waste (chicory) for the removal of Pb^{2+} and Cd^{2+} from aqueous solutions. *J Water Process Eng.* 2019;28:88–99.
 13. Kończyk J, Żarska S, Ciesielski W. Adsorptive removal of $Pb(II)$ ions from aqueous solutions by multi-walled carbon nanotubes functionalised by selenophosphoryl groups: Kinetic, mechanism, and thermodynamic studies.

- Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp. 2019;575:271–82.
14. Taseidifar M, Makavipour F, Pashley RM, Rahman AFMFMM. Removal of heavy metal ions from water using ion flotation. *Environ Technol Innov.* 2017;8:182–90.
 15. Costa F, Tavares T. Biosorption of nickel and cadmium in the presence of diethylketone by a *Streptococcus equisimilis* biofilm supported on vermiculite. *Int Biodeterior Biodegrad.* 2016;115:119–32.
 16. He J, Li Y, Wang C, Zhang K, Lin D, Kong L, et al. Rapid adsorption of Pb, Cu and Cd from aqueous solutions by β -cyclodextrin polymers. *Appl Surf Sci.* 2017;426:29–39.
 17. Mohamed E-SR, Ahmed MS, Tantawy AA, Gomaa NH, Mahmoud HA. Phytoremediation of Pb²⁺, Cd²⁺ and Cu²⁺ by an Aquatic Macrophyte *Azolla pinnata* from Industrial Wastewater in Egypt. *Middle East J Appl Sci.* 2016;6(1):27–39.
 18. Coelho GF, Gonçalves AC, Nóvoa-Muñoz JC, Fernández-Calviño D, Arias-Estévez M, Fernández-Sanjurjo MJ, et al. Competitive and non-competitive cadmium, copper and lead sorption/desorption on wheat straw affecting sustainability in vineyards. *J Clean Prod.* 2016;139:1496–503.
 19. Al-Ghouti MA, Li J, Salamh Y, Al-Laqtah N, Walker G, Ahmad MNM. Adsorption mechanisms of removing heavy metals and dyes from aqueous solution using date pits solid adsorbent. *J Hazard Mater.* 2010;176(1–3):510–20.
 20. Pino GH, De Mesquita LMS, Torem ML, Pinto GAS. Biosorption of heavy metals by powder of green coconut shell. *Sep Sci Technol.* 2006;41(14):3141–53.
 21. Hossain MA, Ngo HH, Guo WS, Nguyen T V., Vigneswaran S. Performance of cabbage and cauliflower wastes for heavy metals removal. *Desalin Water Treat.* 2014;52(4–6):844–60.
 22. Rashed MN. Fruit stones from industrial waste for the removal of lead ions from polluted water. *Environ Monit Assess.* 2006;119(1–3):31–41.
 23. Alomá I, Martín-Lara MA, Rodríguez IL, Blázquez G, Calero M. Removal of nickel (II) ions from aqueous solutions by biosorption on sugarcane bagasse. *J Taiwan Inst Chem Eng.* 2012;43(2):275–81.
 24. Soriano AN, Orfiana ON, Pangon MJB, Nieva AD, Adornado AP. Simulated biosorption of Cd(II) and Cu(II) in single and binary metal systems by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) using aspen Adsorption®. *ASEAN J Chem Eng.*

- 2016;16(2):21–43.
25. Farooq S, Ruthven DM. Heat effects in adsorption column dynamics. 2. Experimental validation of the one-dimensional model. *Ind Eng Chem Res.* 1990;29(6):1084–90.
 26. Sanchez Nervo. Biosorción en Tanque agitado de Cd⁺² y Pb⁺² con cáscara de cacao [tesis de posgrado]. Cuenca:Universidad de Cuenca; 2016.
 27. Ministerio del Ambiente. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua, Libro 6, Anexo 1 “Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua”. Ecuador; 2015.
 28. Lara J, Tejada C, Villabona A, Arrieta A. Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Rev Ion, Investig Optim y Nuevos procesos en Ing.* 2017 Jan 1;29(2):111–22.
 29. Meunier N, Laroulandie J, Blais JF, Tyagi RD. Cocoa shells for heavy metal removal from acidic solutions. *Bioresour Technol.* 2003;90(3):255–63.
 30. Persson I. Hydrated metal ions in aqueous solution: How regular are their structures? *Pure Appl Chem.* 2010;82(10):1901–17.
 31. Lin X, Huang Q, Qi G, Shi S, Xiong L, Huang C, et al. Estimation of fixed-bed column parameters and mathematical modeling of breakthrough behaviors for adsorption of levulinic acid from aqueous solution using SY-01 resin. *Sep Purif Technol.* 2017;174:222–31.

INFLUENCIA DE DOSIFICACIONES DE BIOFERTILIZANTES COMPUESTOS POR MICORRIZAS Y DIAZÓTROFOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ

**INFLUENCE OF DOSAGE OF BIOFERTILIZERS COMPOSED BY
MICORRIZES AND DIAZOTROPHES ON MAIZE PRODUCTIVITY**

Jordan Joao Palacios Zambrano*, Vianka Stéfany García García

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera
de Ingeniería Agropecuaria, Manta, Ecuador

E-mail: *palaciosjoao1998@gmail.com

Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de importancia mundial, sin embargo, uno de los problemas presentes durante su desarrollo, es la falta de nutrientes o la presencia de estos en forma no disponible para la planta. Debido a esto, el objetivo de este artículo de revisión es recopilar información sobre la influencia de las diferentes dosificaciones de biofertilizantes a base de micorriza y diazótrofos sobre el cultivo de maíz. Se realizó una minuciosa investigación bibliográfica, detallando métodos utilizados por varios autores; entre los factores más reiterativos y significativos están el empleo de micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno más la fertilización con P, sobresaliendo el siguiente tratamiento: 200 gr ha⁻¹ (usando micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno); la variable respuesta en común de los autores mencionados en metodología fue el rendimiento del grano. Los resultados obtenidos por la mayoría de autores muestran que el rendimiento del grano mejora significativamente en la interacción de micorrizas y diazótrofos más la fertilización química; producto del tratamiento mencionado anteriormente, se aumentó un 37% el rendimiento del maíz kg ha⁻¹, en virtud a estos resultados se concluye que lo más adecuado sería tomar en cuenta para aplicarla sobre el cultivo de maíz.

2. Palabras Clave: *Inoculantes, bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos simbiotes*

Abstract

Corn (*Zea mays* L.) is a crop of world importance, however, one of the problems present during its development is the lack of nutrients or the presence of these in a form not available to the plant. Because of this, the objective of this review article is to gather information on the influence of different dosages of mycorrhiza and diazotroph biofertilizers on the corn crop. A meticulous bibliographic research was carried out, detailing the methods used by various authors; Among the most repetitive and significant factors are the use of mycorrhizae and nitrogen-fixing bacteria plus fertilization with P, the following treatment stands out: 200 gr ha⁻¹ (using mycorrhizae and nitrogen-fixing bacteria); the common response variable of the authors mentioned in methodology was grain yield. The results obtained by the majority of authors show that grain yield improves significantly in the interaction of mycorrhizae and diazotrophs plus chemical fertilization; As a result of the aforementioned treatment, the yield of corn kg ha⁻¹ was increased by 37%, by virtue of these results it is concluded that the most appropriate thing would be to take it into account to apply it on the corn crop.

4. Keywords: Inoculants, Nitrogen Fixing Bacteria, Symbiotic Fungi

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es un cultivo muy importante a nivel mundial, se usa en el consumo humano, alimentación de ganado y en la industrial (1).

En la mayoría de los suelos tropicales, el principal nutriente limitante es el nitrógeno; además el fósforo es, luego del N, el nutriente más relevante en la nutrición del cultivo, y de su disponibilidad dependen algunos procesos fisiológicos de las plantas de maíz, incluidos nutrientes acompañantes, que al final tienden a repercutir en los rendimientos del cultivo (2, 3).

El maíz duro seco en Ecuador está localizado principalmente en la región costa, en las provincias de Los Ríos, Guayas y Manabí las mismas concentran el 81,9% de la superficie total cosechada de este producto (4).

En Ecuador, los agricultores aplican conocimientos empíricos, como la quema de residuos agrícolas (rastreo de maíz), a pesar de que se aporta una gran cantidad de carbono al suelo, conlleva a ciertos impactos ambientales como la desaparición parcial o total de la población microbiana, además de una notable disminución de materia orgánica (5,6).

El uso excesivo de fertilizante comercial nitrogenado puede afectar negativamente la absorción de nutrientes como Zn, Ca y K (7).

Para resolver problemas relacionados al rendimiento, se está imponiendo el redimensionamiento del uso de biotecnologías, sugiriéndose el uso de biofertilizantes y estimuladores de crecimiento (8).

El nitrógeno es un elemento que debe ser incorporado a través de la fertilización química o por medio de la fijación biológica llevada a cabo por microorganismos, de modo que, las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno han sido ampliamente utilizadas para la elaboración de inoculantes, constituyéndose en una alternativa viable para mejorar el rendimiento de los cultivos (9).

Se ha planteado sustituir el uso excesivo de fertilizantes químicos, a través del uso de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos en complemento a la fertilización química. Actualmente han surgido alternativas basadas en el aprovechamiento de los recursos autóctonos y en el ciclaje de nutrientes como son el uso de abonos orgánicos: estiércoles, compost, lodos residuales y biofertilizantes; ya que esto supone un

mejor crecimiento y desarrollo vegetativo de los cultivos (10-13).

Diversos hongos del suelo desarrollan actividades que benefician la nutrición y salud de las plantas, tanto en ecosistemas naturales como en agricultura, tales hongos beneficiosos son conocidos como micorrizas (14).

Se le denomina micorriza a la asociación que se da entre algunos hongos del suelo y las raíces de la gran mayoría de plantas. El hongo se integra tanto en la raíz, que llega a ser parte de ella, estableciéndose una relación de dependencia mutua hongo-planta, la mayoría de las plantas presentes demuestran esta simbiosis (15). El hongo coloniza las raíces, sin causar daño alguno a la planta y posteriormente desarrolla una red de hifas externas que se extienden y ramifican en el suelo. La principal característica morfológica de estas micorrizas son los arbusculos, estructuras típicas de la colonización que el hongo desarrolla en el interior de las células de la corteza de la raíz por ramificación de sus hifas (14, 15).

La adecuada selección de hongos y la posterior manipulación de las micorrizas permiten obtener plantas de calidad, aumentando sustancialmente su viabilidad (16).

Algunas plantas establecen una relación estrecha y persistente con bacterias fijadoras de nitrógeno; esta simbiosis, proporciona beneficios durante la vida en común a ambos simbioses, se realiza en nódulos radiculares, en los cuales el nitrógeno atmosférico se fija y se proporciona a la planta en forma de compuestos orgánicos nitrogenados. De esta simbiosis la planta obtiene nitrógeno y la bacteria, ácido málico en su forma ionizada (malato) y refugio (17).

Existen bacterias capaces de fijar nitrógeno y solubilizar fósforo, lo que ha despertado el interés de investigadores por conocer sobre los procesos metabólicos por medio de los cuales estos microorganismos brindan sus beneficios a la agricultura y al ambiente. La capacidad de estos microorganismos para producir compuestos orgánicos, realizar fijación biológica de nitrógeno y solubilizar fosfatos, son actividades que efectúan mediante enzimas como nitrogenasas y fitasas, con un efecto positivo en la promoción del crecimiento vegetal y en

el aumento del potencial productivo (18).

Además (18) mencionan que la capacidad de estos microorganismos para producir compuestos orgánicos, realizar fijación biológica de nitrógeno y solubilizar fosfatos, son actividades que efectúan mediante enzimas como nitrogenasas y fitasas, con un efecto positivo en la promoción del crecimiento vegetal y en el aumento del potencial productivo, por lo tanto facilita la fijación biológica de nitrógeno.

Las bacterias con potencial para fijar nitrógeno, provenientes de suelos amazónicos tendrían ventajas comparativas con respecto a cepas fijadoras provenientes de otros ecosistema (19).

La relación que se produce entre la bacteria y la planta es simbiótica, es decir, donde ambos individuos se ayudan y benefician mutuamente, las bacterias fijan el nitrógeno atmosférico y lo incorporan a la base proteica del vegetal, por el contrario, este último da cobijo y ambiente propicio para el correcto desarrollo del microorganismo en su interior (20).

Los biofertilizantes elaborados con hongos micorriza, son productos

benéficos, que se asocian a las raíces de las plantas y favorecen su nutrición (21). El uso de microorganismos rizosféricos como una biotecnología se ha llevado a la práctica mediante la inoculación de semillas (22).

Este artículo de revisión tiene como objetivo, recopilar información acerca de los beneficios que brinda la aplicación de una correcta dosificación de biofertilizantes a base de micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno sobre el cultivo de maíz.

II. METODOLOGÍA

La información recopilada se extrajo de diferentes bases de datos en línea que contenían trabajos realizados en la temática abordada en este artículo, a continuación se da a conocer la metodología utilizada por varios autores.

(23) llevaron a cabo un ensayo en Buenos Aires, entre los años 2006 y 2007, donde los tratamientos fueron, 200 gr ha⁻¹ de micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno, previo al momento de la siembra (la inoculación fue tratada con el biofertilizante Crinigan) y un testigo como opción orgánica; en la opción convencional se utilizó P a dosis de 0 y 20 kg ha⁻¹, se determinó la producción del grano

(número de granos y peso individual del grano).

(24) evaluaron el efecto en el desarrollo vegetativo y finalmente el productivo que conlleva aplicar micorrizas en el cultivo de maíz, utilizaron el biofertilizante Crinigan para la inoculación de micorrizas a una dosis de 8 g/kg de semilla de maíz.

(25) trabajaron en un ensayo con gramíneas donde aplicaron micorriza y diazotrofos a través del biofertilizante Crínigan, evaluaron un testigo absoluto y el segundo fue la aplicación del biofertilizante a una dosis de 8 g/kg de semilla.

(26) emplearon un ensayo, utilizando micorrizas y diazotrofos; continuación, los tratamientos: T1: Testigo Sin fertilizante; T2: Testigo P16 S5 kg ha⁻¹; T3: Testigo P16 S5 N120 kg ha⁻¹; T4: Micorrizas Sin fertilizante; T5: Micorrizas P16 S5 kg ha⁻¹; T6: Micorrizas P16 S5 N120 kg ha⁻¹.

(27) realizaron un trabajo cuyo objetivo fue comparar la aplicación de micorrizas (*Glomus intraradices*) en dosis de 1,0 kg ha⁻¹, *Azospirillum brasilense* en dosis de 350 g ha⁻¹ y la fitohormona *Brassinosteroides* en dosis de 30 g ha⁻¹, con la aplicación de fertilizantes químicos convencionales.

Sus variables respuestas fueron: altura de planta, días a floración masculina y rendimiento.

(28) realizaron un estudio de los siguientes tratamientos: barbecho natural, *Canavalia*, *Canavalia ensiformis* (L.)D.C., sembrada para ser utilizada como abono verde, en rotación con maíz, se sembró canavalia y al maíz se le aplicó la cepa de HMA *Glomus hoilike* por la técnica de recubrimiento de semillas. Las variables evaluadas fueron: colonización micorrízica del maíz en presencia de fertilizantes químicos, rendimiento y porcentaje de colonización por hongos micorrízicos arbusculares en plantas de maíz sin influencia de la fertilización química y el funcionamiento fúngico en la *Canavalia ensiformis* y el barbecho.

(29) efectuaron un experimento para conocer la densidad, abundancia y diversidad de especies de hongos micorrízicos arbusculares asociadas al cultivo de maíz, utilizando frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.) como abono verde/cultivo de cobertura (AVCC). Se aplicaron cuatro tratamientos usando y sin usar AVCC: inoculación con micorrizas arbusculares, aplicación de fertilizante orgánico foliar, inoculación con micorriza+fertilizante orgánico foliar, y

testigo. Para inocular 1 kg de semillas de maíz se humedeció con aproximadamente 100 mL de agua, estas fueron peletizadas con 0,250 kg de inóculo micorrízico y se dejaron secar por toda una noche. Al siguiente día se sembraron en los tratamientos: micorriza y micorriza+foliar evitando la exposición directa al sol.

(30) realizaron un experimento en Arak, Irán, en el año 2006; los tratamientos incluyen el riego en tres niveles, al 100, 75 y 50% (equivalente al requerimiento de la planta de maíz), inoculación de micorrizas en el cultivo de maíz en dos niveles (inoculación con *G. intraradices* y sin inoculación) que se inocularon en la siembra de semillas, y zinc de la fuente de sulfato de zinc a tres niveles (control, 25 kg ha⁻¹ y 45 kg ha⁻¹).

(31) realizaron un experimento sobre el cultivo de maíz. Los tratamientos consistieron en regímenes de riego con tres niveles asignados a principales parcelas y uso combinado de micorrizas y bacterias estabilizadoras de fósforo con cuatro niveles a subparcelas. Las variables que estudiaron fueron: el índice de área foliar, porcentaje de simbiosis, el número de semillas por fila de mazorca de maíz, el número de semillas por mazorca y el rendimiento kg ha⁻¹.

(32) trabajaron en un ensayo de maíz en Guarico, Venezuela, utilizaron 4 especies de hongos del filo *Glomeromycota* reportadas por Toro (2007) como inóculos nativos de suelos de sabana del estado Guárico (*Scutellospora pellucida*, *Scutellospora calospora*, *Glomus leptotichum* y *Acaulospora mellea*) y la mezcla de estos, además de la incorporación de P (0, 27, 54 y 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Se dispuso en el fondo de cada sitio ocho gramos del inóculo. Todos los inóculos contenían 150 esporas/100 g de suelo. Se evaluó la cuantificación del P y N absorbido por la planta y se midió en la hoja opuesta a la mazorca, esto se hizo mediante extracción por solución binaria, además se evaluó el rendimiento del grano.

III. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A continuación se detallan los resultados obtenidos, sobre la productividad del maíz, en diferentes trabajos; por los autores que se muestran en metodología.

(23) observaron que la inoculación con micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno permitió mejorar la producción en grano respecto a los tratamientos no inoculados. La

producción de grano varió entre 1730 y 2378 kg ha⁻¹, mostrando diferencias significativas entre tratamientos. Los incrementos de rendimientos sobre el testigo fueron del 28, 16 y 37% para los tratamientos con P, con micorrizas y la combinación de ambos, respectivamente.

(24) reportaron que los rendimientos en el cultivo de maíz fueron significativas y crecientes, bajo un adecuado sistema productivo, con respuestas a la inoculación, fertilización fósforo-azufrada, alta dosis de nitrógeno y uso de fungicidas. Esta tendencia propone así la integración prácticas agronómicas que demuestran ser promisorias.

(25) no encontraron significancia entre los tratamientos en cuanto a las variables de altura y vigor de planta. Se determinaron diferencias significativas en los rendimientos, a favor del tratamiento inoculado con micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno en el cultivo de maíz.

(26) obtuvieron datos a ambos factores que estudiaron, lo que mostró un comportamiento claro, sin interacción de inoculación con micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno x fertilización química en cuanto a rendimientos del cultivo de maíz, lo que difiere a los resultados obtenidos por (23-25), quienes obtuvieron

significancia en la interacción de micorrizas, bacterias fijadoras de nitrógeno y fertilización química en cuanto al rendimiento del maíz. En cambio, se determinaron diferencias significativas por la inoculación con micorrizas y la inoculación con micorrizas más el agregado de fertilizantes.

(27) no encontraron diferencias estadísticas significativas en el cultivo de maíz entre los tratamientos evaluados, es decir, tanto los microorganismos benéficos como la fitohormona, la fertilización química y el testigo absoluto tuvieron un resultado similar, lo que contrastan con los reportados por quienes indican que mediante el uso de micorriza se mejora el crecimiento vegetal. En la variable del área foliar no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. En cuanto al rendimiento del maíz V-539 observado en el período de evaluación se registraron diferencias estadísticas significativas entre los años de evaluación, el mayor rendimiento se registró en 2001 con $5,18 \text{ t ha}^{-1}$, el cual fue estadísticamente diferente y superior; sin embargo, hay que tener en cuenta que las condiciones climáticas fueron diferentes durante el experimento.

(28) analizaron los resultados del comportamiento de las variables de funcionamiento fúngico, se observó que también la canavalia fue superior al barbecho natural en cuanto al porcentaje de colonización radical y al número de esporas de HMA presentes en el suelo. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos de los tres tratamientos de las parcelas principales en ausencia de fertilización química. Así, los tratamientos de canavalia y canavalia + HMA fueron semejantes entre sí y presentaron rendimientos superiores en el cultivo de maíz; no obstante, en este ensayo se utilizó la canavalia como abono verde, quienes han obtenido significancia en presencia de fertilizantes químicos debido a que se han limitado al uso de los mismos, sin añadir abonos verdes como factor de estudio. similar que la investigación realizada por (29) a diferencia de la leguminosa utilizada.

(29) dieron a conocer que la densidad de esporas y el porcentaje de colonización micorrícica no variaron con significancia estadística entre parcelas con y sin abono verde/cultivo de cobertura (AVCC); no obstante, se observó que el número de esporas fue cerca de 30% más alto en parcelas con AVCC. El AVCC tuvo un efecto

positivo y altamente significativo sobre la riqueza de especies y el índice de diversidad. El efecto de micorriza fue significativo sobre el porcentaje de colonización micorrícica y no tuvo una influencia significativa sobre el número de esporas, la riqueza de especies y el índice de diversidad.

(30) mostraron que el estrés por sequía fue efectivo en los rasgos agronómicos y el rendimiento de grano, se obtuvo el máximo rendimiento de grano en el riego de control, mediante el uso de hongos micorrícicos y sulfato de zinc, los rasgos deseados se incrementaron individualmente. Los efectos duales de hongos y sulfato en el rendimiento de grano aumentaron, los efectos de triple interacción de los tratamientos (riego, hongos y sulfato de zinc) aumentaron el rendimiento de grano, de modo que se obtuvieron los rasgos agronómicos máximos y el rendimiento de grano por efecto de triple interacción de riego de control, 25 kg ha⁻¹ de sulfato de zinc e inoculación con hongos *G. intraradices*; en este experimento se utilizó el zinc, lo que resalta de los demás trabajos realizados, sin embargo, se observa que los beneficios de las micorrizas fueron mejor aprovechadas sumándole la fertilización química.

(31) obtuvieron resultados sobre el cultivo de maíz que mostraron que los

efectos de los regímenes de riego y el uso combinado de micorrizas y fertilizantes de fósforo en el índice de área foliar, porcentaje de simbiosis, el número de semillas por fila de mazorca de maíz, el número de semillas por mazorca y el rendimiento de semillas fueron significativos; esta investigación concuerda con los resultados obtenidos por (23-26), a pesar de que fueron trabajos realizados en diferentes años y en diferentes localidades, bajo condiciones edafoclimáticas distintas, el resultado fue similar, lo que muestra con más seguridad que el uso de micorrizas y fertilización química aumenta el rendimiento del maíz.

(32) indicaron que, cuando se compararon las medias de absorción de nitrógeno, se pudo observar que sin la inoculación de micorrizas y con inoculación de micorrizas, hay diferencias estadísticas altamente significativas, pero entre las parcelas inoculadas no hay diferencia en la toma de N por la planta de maíz. Sin embargo, la mejor absorción se logró cuando se utilizó el consorcio de especies nativas. En cuanto al rendimiento, el análisis del factor dosis de fósforo arrojó diferencias significativas entre sus medias ($p < 0,05$), siendo 54 kg ha⁻¹ la mejor dosis cuya producción fue de 3325,9 kg ha⁻¹.

IV. CONCLUSIONES

En la mayoría de las investigaciones que se han adjuntado en este artículo de revisión, se da a conocer a través de los resultados, que el uso de una adecuada dosificación de biofertilizantes a base de micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno en complemento a la fertilización química, pueden influir positivamente en el desarrollo vegetativo y productivo del cultivo de maíz, además mediante el uso de estos microorganismos es posible disminuir la dosificación de fertilizantes a base de P. De las investigaciones revisadas, varias concuerdan en su metodología y

resultados, sin embargo el uso de micorriza y bacterias fijadoras de nitrógeno a una dosis de 200 g ha⁻¹ fue el resultado más notable, incrementando un 37% el rendimiento del maíz; por lo que lo más adecuado sería tomar en cuenta esta dosificación para aplicarla sobre el cultivo de maíz.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por brindar oportunidades tan preciadas para nuestras vidas, también a las autoridades de la ULEAM y en especial al Ph.D. Ángel Guzmán Cedeño, quién nos motivó a ser perseverantes durante este trayecto.

VI. REFERENCIAS

1. Granillo R. Caracterización de la cadena de valor del maíz. Ingenio Conciencia [Internet]. 2018 [Consultado 16 Dic. 2019]; 5(9). Disponible en <https://doi.org/10.29057/ess.v5i9.2899>
2. Remache M, Carrillo M, Mora R, Durango W, Morales F. Absorción de macronutrientes y eficiencia del N, en híbrido promisorio de maíz. Patricia Pilar, Ecuador. Agro. Costarricense [Internet]. 2017 [Consultado 16 Dic. 2019]; 41(2):103-115. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/31303/31013>. ISSN: 0377-9424
3. Correndo A, García F. Bases de la nutrición del cultivo de maíz: Técnicas probadas para una producción rentable [Internet]. 1ra ed. Buenos Aires: AACREA. 2014 [Consultado 16 Dic. 2019]. Disponible en [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/251e0b2ce526f8b1032580360060025a/\\$FILE/Bases%20para%20la%20nutricion%20de%20maiz%20-%20CREA%202014.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/251e0b2ce526f8b1032580360060025a/$FILE/Bases%20para%20la%20nutricion%20de%20maiz%20-%20CREA%202014.pdf)
4. INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2018. Boletín técnico [Internet]. 2019 [Consultado 16 Dic. 2019]; 1:10. Disponible en <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Presentacion%20de%20principales%20resultados.pdf

5. Marcillo F, Mendieta R. Utilización del hongo *Pleurotus sapidus* en la degradación lignocelulósica del rastrojo de maíz para la elaboración de abono en agricultura orgánica [Tesis de grado en internet]. Calceta, Ecuador: ESPAM; 2013 [Consultado 16 Dic. 2019], Disponible en

<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/166/1/RONALD%20MENDIETA-%20FABIAN%20MARCILLO.pdf>

6. Rozas S, Eyherabide M, Echeverría H, Barbieri P, Angelini H, Larrea G, et al. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos?. Fertilizar [Internet]. 2013 [Consultado 26 Ene. 2020]; 62-72. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta.estado-fertilidad-suelos-argentinos.pdf>

7. Zamudio B, Tadeo M, Espinoza A, Martínez J, Celis E, Valdivia R, et al. Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrientes en híbridos de maíz. Rev. Mex. Cienc. Agríc. [Internet]. 2015 [Consultado 16 Dic. 2019]; 6(7):1557-1569. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263142146011.pdf>. ISSN: 2007-0934.

8. Morejón M, Herrera J, Ayra P, González P, Rivera R, Fernández Y, et al. Alternativas en la nutrición del maíz transgénico FR-Bt 1 de (*Zea mays* L.): respuesta en crecimiento, desarrollo y producción. Cultivos tropicales [Internet]. 2017 [Consultado 16 Dic. 2019]; 38:145-155. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193254602019.pdf>. E-ISSN: 1819-4087.

9. Moreno L, Pérez A, Ramírez M, Franco M. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad de bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno utilizadas en la elaboración de inoculantes biológicos para arveja (*Pisum sativum*) y soya (*Glycine max*). Rev. Colomb. Biotecnol. [Internet]. 2014 [Consultado 26 Ene. 2020.]; 16(2):45-56. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v16n2/v16n2a06.pdf>

10. Padrón L, Torres D, Contreras J, López M, Colmenares C. Aislamientos de cepas fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo en un suelo alfisol venezolano. Rev. Mex. Cienc. Agríc. [Internet]. 2012 [Consultado 16 Dic. 2019.]; 3(2):285-297. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342012000200006&script=sci_arttext. ISSN 2007-0934.

11. Aguilar C, Escalante J, Aguilar I, Mejía J, Conde V, Trinidad A. Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. Tropical and Subtropical Agroecosystems [Internet]. 2015 [Consultado 16 Dic. 2019]; 18(2):151-163. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/939/93941388004.pdf>. E-ISSN: 1870-0462.

12. Montejo D, Casanova F, García M, Oros I, Díaz V, Raymundo E. Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. Agron. Mesoam. [Internet]. 2018 [Consultado 26 Ene. 2020]; 29(2):325-341. Disponible en <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v29n2/1021-7444-am-29-02-00325.pdf>. ISSN: 2215-3608.

13. Lauriano-Barajas J, Vega-Frutis R. Infectivity and effectivity of commercial and native arbuscular mycorrhizal biofertilizers in seedlings of maize (*Zea mays*). Botanical Sciences [Internet]. 2018 [Consultado 27 Ene. 2020]; 96(3):395-404. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v96n3/2007-4476-bs-96-03-395.pdf>. DOI: 10.17129/botsci.1855.

14. Barea J, Pozo M, Aguilar C. Significado y aplicación de las micorrizas en agricultura. Agricultura [Internet]. 2016 [Consultado 16 Dic. 2019]; 746-751.

- Disponible en <https://www2.eez.csic.es/pozo/Agricultura-divulgacion%20micorrizas.pdf>
15. Garay C. Las micorrizas ¿Qué son?. Tecno gro [Internet]. 2014 [Consultado 16 Dic. 2019]:97. Disponible en <https://tecnoagro.com.mx/no.-97/las-micorrizas-que-son>.
 16. Díaz G, Torres P, Sánchez F, García G, Carrillo C. Primeras tesis doctorales sobre micorrizas. Eubacteria [Internet]. 2016 [Consultado 16 Dic. 2019]; 36:39-43. Disponible en <file:///C:/Users/DR%20AYALA/Downloads/Primeras Tesis Doctorales sobre Micorrizas.pdf>. ISSN 1697-0071.
 17. Calvo S. Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. CT [Internet]. 2011 [Consultado 25 Ene. 2020]; 3:173-186. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3761553.pdf>
 18. Corrales L, Lozano L, Gómez M, Ramos S, Rodríguez J. *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. Nova [Internet]. 2016 [Consultado 16 Dic. 2019]; 15(27):45-65. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v15n27/1794-2470-nova-15-27-00046.pdf>. ORCID: 0000-0002-2398-348X.
 19. Mantilla A, Cardona G, Peña C, Murcia U, Rodríguez M, Zambrano M. Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana. Biol. Trop. [Internet]. 2009 [Consultado 26 Ene. 2020]; 57(4):915-927. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44918949002>. ISSN: 0034-7744.
 20. López J, Boronat R. Aspectos básicos de la fijación de nitrógeno atmosférico por parte de bacterias. Estudio en el laboratorio de educación secundaria. Eureka [Internet]. 2016 [Consultado 26 Ene. 2020]; 13(1):203-209. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/920/92043276015.pdf>. E-ISSN: 1697-011X.
 21. Tadeo M, García J, Alcántar H, Lobato R, Gómez N, Sierra M, et al. Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los Valles Altos de México. Tierra latinoamericana [Internet]. 2017 [Consultado 16 Dic. 2019]; 35(1):66-72. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/573/57349581007.pdf>. E-ISSN: 2395-8030.
 22. Peña H, Reyes I. Aislamiento y evaluación de bacterias fijadoras de Nitrógeno y disolventes de fosfatos en la promoción del crecimiento de la lechuga (*lactuca sativa* L.). Interciencia [Internet]. 2007 [Consultado 26 Ene. 2020]; 32(8):560-565. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932811>. ISSN: 0378-1844.
 23. Álvarez C, Scianca C, Barraco M, Klappenbach J. Fertilización con fósforo e inoculación con micorrizas en girasol en sistemas convencionales y de producción orgánica. Boletín técnico [Internet]. 2006 [Consultado 6 Ene. 2020]:34. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-mt2007.pdf#page=28>. ISSN 1850-6038.
 24. Ferraris G, Couretot L. Inoculación con micorrizas en maíz evaluación bajo diferentes niveles tecnológicos y dosis de nitrógeno. Boletín técnico [Internet]. 2009 [Consultado 6 Ene. 2020]:2. Disponible en <http://www.crinigan.com/ensayos/maiz/INTA%20Pergamino%202010.pdf>
 25. Ferraris G, Couretot L. Microorganismos promotores de crecimiento en sorgo *Sorghum bicolor* (Linn.): efecto de las micorrizas sobre el crecimiento y la producción. Boletín técnico [Internet]. 2011 [Consultado 13 Ene. 2020]:1. Disponible en <http://www.crinigan.com/ensayos/sorgo/Sorgo INTA Pergamino 2011.pdf>
 26. Ferraris G, Couretot L. Evaluación de la inoculación con micorrizas en maíz bajo diferentes ambientes de fertilidad. Boletín técnico [Internet]. 2006 [Consultado 13 Ene.

- 2020]:1. Disponible en <http://crinigan.com/ensayos/maiz/INTA%20Pergamino%202006.pdf>
27. Uribe G, Dzib R. Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasilense* y *Brassinoesteroide* en la producción de maíz en suelo luvisol. Agric. Tec. [Internet]. 2006 [Consultado 14 Ene. 2020]; 32(1):67-76. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v32n1/v32n1a7.pdf>
28. Martín G, Costa J, Urquiaga S, Rivera R. Rotación del abono verde *Canavalia ensiformis* con maíz y micorrizas arbusculares en un suelo nitisol ródico éutrico de Cuba. Agronomía Trop. [Internet]. 2007[Consultado 14 Ene. 2020]; 57(4):313-321. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Gloria_Marta_Martin_Alonso/publication/28239721_Rotacion_del_abono_verde_Canavalia_ensiformis_con_maiz_y_micorrizas_arbusculares_en_un_suelo_nitisol_rodico_eutrico_de_Cuba/links/545b8d0f0cf2f1dbcbeaf852.pdf
29. Pérez Y, Álvarez J, Mendoza J, Pat J, Gómez R, Cuevas L. Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. Gayana Bot. [Internet]. 2012 [Consultado 15 Ene. 2020]; 69(1):46-56. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/gbot/v69n1/art06.pdf>. ISSN: 0016-5301.
30. Sajedi N, Shirani A, Sajedi A, Khan H. Effect of mycorrhiza (*Glomus intraradices*) and zinc on morphological and agronomic traits of corn (*Zea mays* L.) under different levels of soil moistures. Agris [Internet]. 2011 [Consultado 27 Ene. 2020]; 7(2):21-33. Disponible en http://www.agroecojournal.com/article_515137.html
31. Khoshnaz P, Mani M, Nazli D. Effect of mycorrhiza and phosphate solublizing bacteria on yield of corn (*Zea mays* L.) (KSC 704) under different irrigation regimes. Ikufiziyuluzhī-i Giyāhān-i Zirāī [Internet]. 2019 [Consultado 27 Ene. 2020]; 13(3):359-376. Disponible en <https://doaj.org/article/ee821b5aeb4b484bb057e6ab90d732f3>. ISSN: 2538-1822.
32. Cabrales E, Toro T, López-Hernández D. Efecto de micorrizas nativas y fósforo en los rendimientos del maíz en Guárico, Venezuela. Temas agrarios [Internet]. 2016 [Consultado 27 Ene. 2020]; 21(2):21-31. Disponible en <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/312/898-2255-2-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Producción de ozono con alto voltaje en un núcleo mixto bobina-malla

Production of ozone using high voltage in a mixed core coil-mesh

¹Chávez Velasco Iván Fabricio

¹ ESPOCH, Ciencias, Escuela de Física y Matemáticas, Riobamba, Ecuador
E-mail: ivan.chavez0697@gmail.com

Resumen

El ozono es un gas compuesto por tres moléculas de oxígeno que tiene una gran capacidad oxidativa. Este gas puede ser generado en un núcleo con dos electrodos mediante el uso de altos voltajes en un fenómeno conocido como efecto corona. Actualmente los núcleos de los generadores de ozono convencionales utilizan electrodos planos con un dieléctrico en medio de ellos. Un núcleo compuesto por un ionizador mixto (bobina y malla) se presenta como una alternativa para un ozonificador, con el fin de aprovechar las ventajas individuales de cada electrodo debido a su forma y eficiencia. Un solenoide actúa mejor sin dieléctrico, disminuyendo el consumo, y una malla mejora el flujo de aire. Lo que resulta en una buena producción de ozono utilizando esta combinación de electrodos. Sin embargo, no existen estudios anteriores que demuestran que se puede utilizar diferentes tipos de electrodos en un mismo ionizador, por esta razón en el presente estudio se detectará la producción de ozono por efecto corona en el núcleo mixto propuesto y aproximamos su concentración en un volumen cerrado.

Palabras Clave: << Ozono, efecto corona, alto voltaje, generador, ionización >>

Abstract

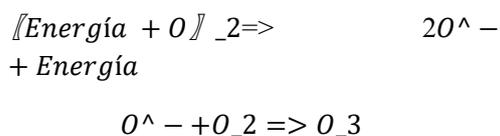
The ozone is a gas composed by three molecules of oxygen which has a great oxidative capacity. This gas can be generated by a nucleus with two electrodes through high voltage in a phenomenon known as corona effect. Actually the conventional nucleus of ozone generators use plane electrodes with a dielectric in the middle of both. A nucleus composed by a mixed ionizador (coil and mesh) is presented as an alternative for an ozone machine in order to take advantage of the individual benefits of each electrode due to its shape and efficiency. A solenoid acts better without dielectric, reducing the consumption, and a mesh improves the air flux. As a result, there is a good production of ozone using this combination of electrodes. However, there are no studies that

demonstrate that it is possible to use different types of electrodes in the same ionizador, for this reason in this study will be detected the production of ozone by corona effect in the proposed nucleus and will be approximated its concentration in a closed volume.

Keywords: << Ozone, corona effect, high voltage, generator, ionization >>

I. INTRODUCCIÓN

El Ozono es un gas que se puede encontrar en la naturaleza en su estado natural. Posee la forma triatómica del oxígeno por lo que su fórmula puede expresarse como O_3 , caracterizada por ser una molécula polar e incolora, capaz de oxidar compuestos orgánicos (1,2). El ozono al poseer una gran actividad oxidativa puede actuar sobre bacterias más rápido que el cloro (3) e incluso ha demostrado ser útil en el tratamiento de aguas debido a su efecto antimicrobiano (4). Este gas se forma cuando un átomo de oxígeno se une a una molécula de oxígeno O_2 , sin embargo esta reacción no ocurre de manera espontánea (5). Para producir una molécula de ozono primero se debe bombardear con energía a las moléculas de oxígeno, esto rompe su enlace covalente formando iones de oxígeno, que luego se agrupan con moléculas de oxígeno para formar moléculas de ozono (6).



En el caso del ozono atmosférico esta energía que rompe el enlace proviene de la radiación ultravioleta sobre la troposfera. (8) De igual manera, se puede conseguir esta energía extra a través de una descarga por efecto corona. Mediante este método, se puede generar ozono a partir de un flujo de aire o oxígeno entre dos electrodos. (8).

El efecto corona ocurre cuando en dos conductores existe una acumulación de cargas que saturan el medio circundante, entonces el aire de los alrededores se vuelve ligeramente conductor (9). El alto voltaje entre los electrodos acelera a los electrones, lo que incrementa su energía cinética y causa choques con la fuerza suficiente para romper la molécula de oxígeno (10).

El voltaje mínimo en el que ocurre el efecto corona es conocido como voltaje crítico disruptivo (V_{do}) el cual depende de factores ambientales y estructurales de los conductores. En general puede expresarse mediante la siguiente expresión matemática:

$$V_{do} = g_o \delta m_o r \ln \frac{d}{r} \quad (1)$$

g_o es la resistencia dieléctrica del aire, δm_o son términos que dependen del ambiente (11). De esta ecuación podemos despejar la distancia entre los conductores.

$$d = r e^{(V_{do}/k)} \quad (2)$$

en esta segunda ecuación $k=g_o \delta m_o r$ y el r representa el radio de los conductores.

Por lo general, los generadores de ozono basados en efecto corona suelen usar electrodos planos con un dieléctrico en medio de ellos.(3-6,9-12) Además de este diseño también han aparecido nuevos estudios donde la estructura del núcleo cambia demostrando una mejor eficiencia. Puede verse que bajo ciertos niveles de voltaje la producción de ozono es mejor sin un dieléctrico entre electrodos sinusoidales (14). En otro estudio se revelaron mejoras en la eficiencia si se trabaja con electrodos tipo malla con la ventaja de tener un mejor flujo de aire (15).

El objetivo del estudio presentado es demostrar que se puede crear un núcleo formado por electrodos de diferente estructura para generar ozono. El sistema propuesto posee las ventajas de

no necesitar un dieléctrico, por lo que el consumo de voltaje es menor y además tiene un mayor flujo de aire a través del núcleo debido a que uno de los electrodos es de tipo malla. Esta es solo una de las posibles combinaciones que se podrían hacer para crear un núcleo ionizador de ozono.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de la configuración del generador de ozono. La fuente de alimentación para el ozonificador será de corriente alterna de 120, el cual se conecta a un transformador reductor de voltaje. Luego la corriente pasa a través de un rectificador de corriente con salida de corriente continua. Dicha corriente pasa a través de un segundo transformador tipo flyback el cual elevará el voltaje hasta 14000v. El alto voltaje está conectado al núcleo donde se crea una alta diferencia de potencial necesaria para producir el efecto corona.

El transformador flyback se obtuvo de un televisor antiguo de 15 pulgadas y que funcionaba a blanco y negro. El flyback estaba en perfecto estado y se usó el mismo circuito del televisor para realizar las conexiones. Por lo que el consumo energético de este elevador

puede ser aproximado al mismo consumo de dicho televisor el cual es de 55W.

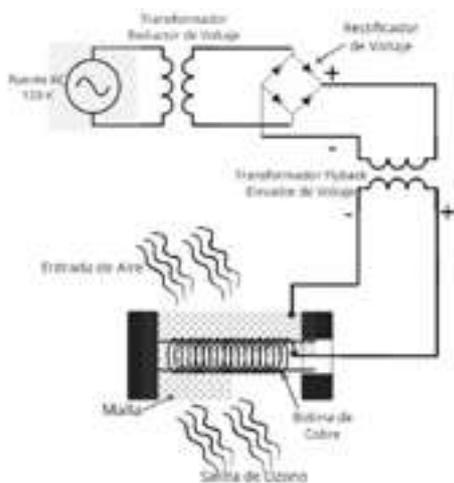


Figura 1. Configuración experimental del generador de ozono

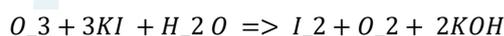
Utilizamos la ecuación 2 para determinar el espacio que debe haber entre los electrodos dentro del núcleo considerando que $k=2555$ y el radio se reemplaza con el correspondiente al calibre del cable que está hecho el solenoide. De esta manera la distancia necesaria entre los electrodos para que se produzca el efecto corona es de 3.11 cm. Con esta consideración construimos el ionizador.

El núcleo está conformado por un electrodo central sinusoidal de 28 espiras, hecho con cobre de calibre 10, envuelto sobre tubo de PVC de 13.5cm de largo y 3cm diámetro. El electrodo exterior está diseñado con una malla de aluminio en forma de cilindro alrededor

del eje central, tiene el mismo largo del tubo de PVC y su diámetro es de 8cm. Cada uno de los electrodos está conectado a uno de los polos de salida del flyback elevador de voltaje.

En el experimento propuesto se ha conectado el polo positivo a la bobina interna mientras que el polo negativo está conectado a la malla, de esta manera dentro del cilindro coaxial se genera una diferencia de potencial capaz de generar ozono a partir de la entrada de aire de los alrededores.

Para realizar la detección de ozono se utilizará el método por difusión, el cual se basa en la reacción que tiene el ozono con una mezcla de yoduro de potasio y agua. La estequiometría de la reacción nos dice que un mol de O_3 puede liberar un mol de Yodo (16).



El sistema de medición consiste en utilizar tiras de papel con esta mezcla sensible al ozono, la cual cambia de coloración con su presencia, tornándose en un color amarillo-marrón (17).

Tabla 1. Evaluación de lectura por difusión de ozono en interiores. (17)

Código	Color	Ozono ($\mu g/m^3$)
A		30 - 90
B		90 - 150
C		150 - 210
D		210 o más

Para realizar la detección de ozono en el presente estudio hemos aislado el núcleo en el interior de un contenedor de tres litros, dentro del mismo se coloca una tira de papel impregnada con la solución de yoduro de potasio. Luego de diferentes intervalos de tiempo se retira el papel y se compara el color con la Tabla 1, de esta manera podemos tener una aproximación de la concentración de ozono en el interior del envase. En un contenedor diferente colocamos una tira con la mezcla pero en el interior no tendrá el generador de ozono durante 25 minutos; con el fin de tener una muestra testigo. La manera en que se construyó el experimento para detectar ozono se puede apreciar en la siguiente figura.

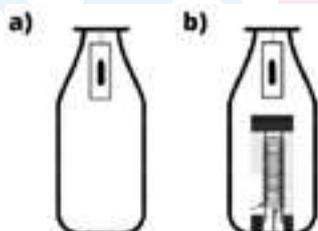


Figura 2. Modelo de detección de ozono: a) Muestra testigo y b) muestra con el ozonificador

En cada papel se impregnaron tres gotas de la mezcla de yoduro de potasio con agua. Luego se procede a introducir la muestra al interior del envase de la manera más rápida posible para evitar reacciones debidas al ozono del ambiente. El envase se limpia y

desinfecta luego del análisis para poder repetir la experiencia.

III. RESULTADOS

El proceso se repitió en cuatro ocasiones con diferentes tiempos, los cuales fueron: cinco, diez, quince y veinte minutos. En la Figura 3 se puede observar el resultado de la exposición con ozono para cada muestra.

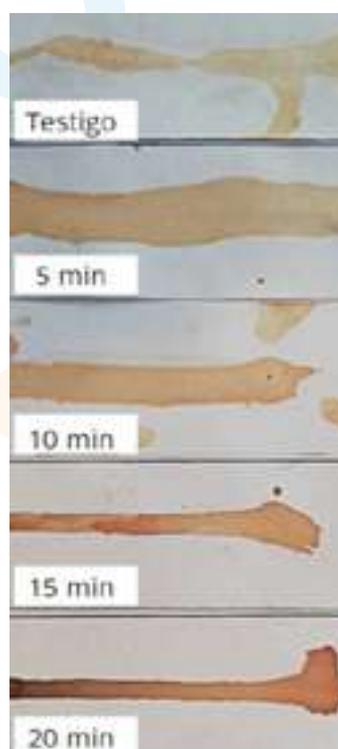


Figura 3. Muestras resultantes luego de la exposición con ozono

Respuestas claras, directas y concisas a las preguntas u objetivos iniciales del Si realizamos una comparación cualitativa del cambio de coloración de la muestra con la Tabla 1 obtenemos resultados que nos pueden servir como una primera aproximación de la

concentración de ozono en el interior del envase.

En primera instancia podemos constatar que el color de la muestra a los veinte minutos es más oscura que en las anteriores experiencias. El código de color que le corresponde según la tabla 1 es la D, entonces se puede inferir que en este intervalo de tiempo la concentración de ozono llega hasta unos supera los $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

IV. DISCUSIÓN

La muestra testigo apenas logra la tonalidad de la muestra cuando pasan cinco minutos, pero dicho testigo tuvo una exposición más larga (20 minutos). El cambio de tonalidad en la muestra testigo puede deberse a que el aire en la atmósfera tiene cierto porcentaje de ozono debido a una contaminación previa al experimento.

Se puede observar que cada intervalo de tiempo el tono de la muestra es cada vez más oscuro lo que implica una reacción en la cual se está produciendo Yodo con una velocidad comparable a cuando se tiene una barrera dieléctrica entre los electrodos (16,18). El aire está compuesto solo por un veinte por ciento de oxígeno por lo que es posible que el generador propuesto pueda producir más ozono, es decir, la masa final de

producida está limitada por la cantidad de reactivo. Es por eso que al hacer una comparación con trabajos donde se trabajó con oxígeno puro se nota que existe mejor producción de ozono (14, 19). Se debe aclarar que se está realizando un análisis cualitativo de cada muestra observando el cambio de tono debido al yodo que se produce cuando el ozono reacciona con el yoduro de potasio reacción presentada en la introducción.

V. CONCLUSIONES

Un núcleo generador de ozono con electrodos de estructura distintas fue propuesto como una alternativa a los generadores convencionales. Se encontró que tener un núcleo mixto no afecta el funcionamiento del mismo, demostrando que existe producción de ozono a pesar de las limitaciones presentadas. Al tener una combinación de dos tipos de electrodos en un generador nos permite aprovechar las características de cada uno por separado y así poder mejorar el funcionamiento del ozonificador.

Se puede realizar un futuro estudio de cómo afecta el consumo de energía de este tipo de núcleos mixtos. Además se pueden utilizar mejores métodos de detección de ozono para determinar la eficiencia y poder realizar una

comparación con los ozonificadores actuales.

VI. AGRADECIMIENTOS

Es de mi menester expresar un cálido y fraterno agradecimiento bien merecido a mi abuelo Cesar Velasco, el cual fue un guía y apoyo importante en la realización de este trabajo, aportando con su vasta experiencia y sabiendo resolver todo imprevisto.

VII. CONFLICTO DE INTERESES

El único interés que me llevó a realizar el presente trabajo fue el de aportar con un grano de arena a la ciencia y enaltecer el nombre de mi institución. Además, me llamó mucho la atención esta oportunidad para poder tener una publicación que pueda aportar a mi perfil profesional.

VIII. REFERENCIAS

1. Carey F, Velázquez A. Química orgánica. 6^a ed. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana; 2006.
2. Mordecai R. The history of ozone. The Schöbein period, 1839 - 1868. Bull Hist Chem. 2001; 26: 40-56.
3. Peter C, Charles W, inventores; University of California, asignado. Electrolytic process for the production of ozone. United States patent US 4316782. 1982 Feb 23.
4. Ferdes M, Zabava B, Dinca M, Paraschiv G. Effect of ozone treatment on three bacterial strains of drinking water. Jelgava. 2018; 23: 677-680.
5. Hsieh P, Wen T. Evaluation of ozone removal by spent coffee grounds. Scientific Reports. 2020; 10.
6. González A. Generador de ozono por efecto corona para fines germicidas basado en un micro controlador con PWM. Reunión Internacional de Otoño, ROC&C. 2012 Nov 11-15; Acapulco. México: IEEE sección México; 2012.
7. Rozanov E. Preface: Ozone evolution in the past and future. Atmosphere [Internet]. 2020 [citado 30 Julio 2020]; 11: 1-3. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/342679795> **Preface Ozone Evolution in the Past and Future**
8. Gonçalves A. El ozono como agente antiséptico en la industria pesquera. Infopesca [Internet]. 2007 [citado 1 Agosto 2020]; 31: 32-37. Disponible en: <https://www.researchgate.net/profile/Alex-Augusto-Goncalves/publication/267450653> **El ozono como agente antiséptico en la industria pesquera/**

<inks/5dd3e75792851c382f49f5f1/El-ozono-como-agente-antiseptico-en-la-industria-pesquera.pdf>

9. Erazo L, Diseño y construcción de un ozonificador con capacidad de $300m^3$, para la purificación de ambientes. Santo Domingo de los Tsáchilas: UTE; 2012.
10. López D, Hurtado J. Diseño e implementación de un prototipo generador de ozono para purificación de agua para el consumo humano. Quito: EPN; 2013.
11. Vincent N, Sampson A, Akpama E. Analysis of Corona Effect on Transmission Line. [Internet].2017 [citado 7 Octubre 2020]; 6:75-87. **disponible en: [http://www.ajer.org/papers/v6\(07\)/L06077587.pdf](http://www.ajer.org/papers/v6(07)/L06077587.pdf)**
12. Conrad R, inventor; Conrad R. asignado. Methods of powering corona discharge in ozone generators. United States patent US 5130003. 1992 Jul 14.
13. Sewell P, Luscombe R, inventores; NEWAIRE Inc, asignado. Ozone generator. United States US 5316741. 1994 May 31.
14. Samaranayake W, Miyahara Y, Namihira T, Katsuki S, Hackam R, Akiyama H. Ozone generation in dry air using pulses discharges with and without a solid dielectric layer. IEEE Transaction on Dielectric and Electrical Insulations. 2001; 8: 687-697.
15. Park S, Moon J, Lee S, Shin S. Effective ozone generation utilizing a meshed-plate electrode in a dielectric-barrier discharge type ozone generator. J of Electrostatic. 2005; 64: 275-282.
16. Falcón Y, Meza J. Determinación de niveles de ozono en la atmósfera en la zona de Azcapotzalco. México DF: Universidad Autónoma Metropolitana ed; 1983.
17. Shirk O. Las mediciones del ozono. MAPFRE. 2000; 77: 17-21.
18. Kogelschatz U. Silent-discharge driven excimer UV sources and their applications. En: Boyd I. Laser Surface Processing and Characterization. Vol 54. Holanda: Elsevier Science Publisher;1991 .p.410-423.
19. Pietsch G, Gibalov V. Dielectric barrier discharges and ozone synthesis. Pure & Appl Chem. 1998; 70: 1169-1174.

Obtención de hidrolizados proteicos de subproductos de *Agaricus bisporus*.

Obtainment of protein hydrolysates from *Agaricus bisporus* by products.

^{1,4}Alberto Renato Inca-Torres *, ^{2,4}Anabell Urbina-Salazar, ³Valeria Inca-Torres, Juan Bautista.

¹ Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias de la Salud, Ambato, Ecuador.

² Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Ciencias Básicas, Portoviejo, Ecuador.

³ Hospital Básico Baños, Baños, Ecuador.

⁴ Universidad de Sevilla, Facultad de Farmacia, Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Sevilla, España.

E-mail: *dr.renatoinca@hotmail.com

Resumen

La industria del champiñón genera subproductos no comercializables que no se utilizan o mal utilizan, estos subproductos son ricos en proteínas y otros compuestos beneficiosos para la salud. Actualmente existe gran interés en los productos ricos en proteína provenientes de residuos agroindustriales, en este estudio se utilizó los subproductos del champiñón para obtener concentrados y aislados de proteínas con el fin de mejorar las propiedades funcionales, utilizando un proceso biotecnológico basado en el uso de proteasas, con un enfoque efectivo para la recuperación máxima de los componentes, manteniendo su calidad y efectividad. Se usó 4 diferentes proteasas (Alcalasa®, Flavourzyme®, Papaína y Bioproteasa LA-450) para determinar cuál de ellas es la más efectiva, las proteasas más eficientes que conducen a un mayor grado de hidrólisis es cuando se utilizan la Bioproteasa LA-450 y la Alcalasa® ($6,65 \pm 0,6$ y $6,21 \pm 0,9$) respectivamente, obteniéndose mayor cantidad de productos solubilizados ($46,3 \pm 3,6\%$ y $41,7 \pm 3\%$), así como la Bioproteasa LA-450 que presenta mayor contenido de proteínas totales ($51,9 \pm 4,8$). Este hidrolizado debido a su composición: rico en aminoácidos, oligopéptidos y péptidos puede ser utilizado como biofertilizante en agronomía, y nutracéutico o nutricosmético en alimentación o cosmética.

Palabras Clave: *Agaricus bisporus*, Enzimas, Hidrolizados proteicos, Subproducto.

Abstract

The mushroom industry generates non-marketable by-products that are not used or misused, these by-products are rich in protein and other beneficial compounds for health. Currently there is great interest in products rich in protein from agro-industrial waste, in this study was used mushroom by-products to obtain protein concentrates and isolates in order to improve functional properties, using a biotechnological process based on the use of proteases, with an effective approach for the maximum recovery of the components, maintaining their quality and effectiveness. It was used 4 different proteases (Alcalasa®, Flavourzyme®, Papain and Bioprotease LA-450) to determine which of them is most effective, the most efficient proteases that lead to a higher hydrolysis degree is used Bioprotease LA-450 and Alcalasa® (6.65 ± 0.6 and 6.21 ± 0.9) respectively, obtaining a higher amount of solubilized products ($46.3 \pm 3.6\%$ and $41.7 \pm 3\%$), as well as the Bioprotease LA-450, who presents a higher content of total proteins (51.9 ± 4.8). This hydrolyzate, due to its composition: rich in amino acids, oligopeptides and peptides, can be used as a biofertilizer in agronomy, and as a nutraceutical or nutricosmetic in food or cosmetics.

Keywords: *Agaricus bisporus*, Enzymes, Protein hydrolysates, By-product.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de champiñones comestibles, destinados al consumo fresco o en forma de conservas representa entre el 7 y el 8% de la producción mundial (10.317.092 Tm). (1) Este gran volumen de producto genera entre el 25 y el 30% de subproductos, que consisten en tallos y champiñones no comercializables, que no se utilizan o que han sido utilizados como alimento para animales, y como fertilizante en el campo. Este subproducto al ser rico en proteínas

(23-32% p.s.), carbohidratos y en otras sustancias que promueven la salud, como la ergotioneina y el ergosterol (2,3), podría usarse como materia prima para obtener diversos productos con alto valor añadido, y utilizarse en las industrias químico-farmacéutica, alimentaria, cosmética o en la agronomía moderna. Debido al actual interés de utilizar subproductos agroindustriales ricos en proteínas, se han desarrollado procesos para obtener concentrados y aislados de proteínas con el fin de mejorar las propiedades

funcionales, uno de estos procesos es la hidrólisis de proteínas, que puede llevarse a cabo tanto por métodos químicos (ácido o alcalino) y métodos enzimáticos. Sin embargo, la hidrólisis enzimática tiene ventajas potenciales sobre la hidrólisis química tradicional, porque se basa en el uso de enzimas bajo ciertas condiciones, como la concentración de sustrato, la relación E/S, el tiempo de incubación y las condiciones físico-químicas como temperatura, agitación, pH, con un enfoque efectivo para la recuperación máxima de los componentes, obteniendo fracciones más pequeñas y con un valor nutricional único superior a la proteína original, manteniendo su calidad y efectividad. (4) La hidrólisis enzimática se lleva a cabo por un grupo de enzimas llamadas hidrolasas, que permiten la ruptura de enlaces peptídicos, ejerciendo un efecto catalítico hidrolizante. Las enzimas más utilizadas en este proceso son las proteasas comerciales. (5, 6) Varios estudios en los últimos años han analizado los derivados peptídicos presentes en ciertos alimentos, obteniendo alimentos funcionales utilizados como potenciales nutracéuticos. (7,8) Estos productos alimenticios como las bebidas proteicas que existen en el mercado

son ricos en proteínas y péptidos, y son obtenidas por este método (9). Un hidrolizado está determinado por el grado de hidrólisis y la especificidad de las enzimas, que permite determinar sus características y, por lo tanto, sus posibles aplicaciones. (10-15) Para este propósito, en este trabajo describimos un proceso biotecnológico para obtener hidrolizados de proteínas a partir de subproductos de la industria de los hongos comestibles basados en el uso de proteasas, debido a su bajo costo, alto valor nutricional y excelente biocompatibilidad que puede ser potencialmente útil en agronomía y en cosmética.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de la materia prima.

Se utilizaron subproductos (tallos y hongos no comercializables) de la industria de hongos (*Agaricus bisporus*). Los subproductos se secaron, se molieron y se tamizaron, obteniéndose harina de tallos de champiñón (HTCH), que se utilizó como material de partida.

2.2 Caracterización de HTCH.

El contenido de humedad, cenizas, proteínas, y fibra se determinó

gravimétricamente de acuerdo con los métodos estándar de AOAC, el nitrógeno total se determinó mediante el método Kjeldahl (16) y la materia orgánica se analizó por combustión seca a 550 °C durante 6 h (17).

2.3 Proteasas utilizadas.

Se utilizaron cuatro enzimas proteolíticas para determinar su actividad contra el sustrato de proteína alimentaria (subproductos de hongos). (18,19,20) En la Tabla 1 se muestran las proteasas comerciales de grado alimenticio utilizadas para la hidrólisis enzimática.

Tabla 1. Enzimas utilizadas en la hidrólisis.

Nombre de la Proteasa Comercial	Microorganismo productor / Fuente
Alcalasa® 2.5 FG E.C.3.4.21.62 Novozymes	<i>Bacillus licheniformis</i>
Flavourzyme® Novozymes	<i>Aspergillus oryzae</i>
Bioproteasa LA-450 E.C.3.4.21.99 (Biocon Española S.A.)	<i>Bacillus licheniformis</i>
Papaína E.C.3.4.22.2 Novozymes	Papaya

2.4 Preparación del hidrolizado de proteínas.

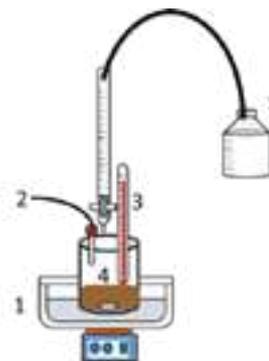


Figura 1. Esquema de ensamble de hidrólisis 1. Baño térmico, 2. Control de pH, 3. Control de temperatura, 4. Agitación, 5. Dosificación de NaOH.

La HTCH (30 g) se suspendió en 300 mL de agua (1:10 p/v) y se digirió durante 2 h utilizando proteasas (0.3% E/S) a pH 8,5 y 55 °C, a baja agitación (100 rpm). El pH se ajustó y se mantuvo a un pH constante. Después de 2 h, el hidrolizado se calentó en un baño de agua hirviendo durante 10 minutos para inactivar las enzimas. El hidrolizado se centrifugó y los sobrenadantes se recogieron y almacenaron a -20 °C. El proceso de hidrólisis se realizó como se muestra en esquema de la Figura 1.

2.5 Determinación del grado de hidrólisis (GH).

El grado de hidrólisis se define como el porcentaje de enlaces peptídicos rotos con respecto a la proteína de partida. (21) La ecuación que relaciona ambas variables es la siguiente (Aldler-Nissen, 1986) (22):

$$DH = \frac{V_B \times N_B}{M_P} \times \frac{1}{\alpha} \times \frac{1}{h_{tot}} \times 100$$

V_B : Volumen de Base añadido (mL).

N_B : Normalidad de la base.

M_P : Masa Proteica (g).

h_{tot} : Número de enlaces peptídicos de la proteína original (meqv/g).

α : Es el grado de disociación promedio de los grupos amino liberados durante la hidrólisis.

2.6 Determinación de peso molecular.

SDS-PAGE es el método más utilizado para analizar cuantitativamente mezclas de proteínas porque es útil para monitorear la purificación de proteínas y la separación de proteínas en función de su tamaño. Los sistemas de gel Laemmli típicos, que usan glicina en el tampón de funcionamiento, son capaces de resolver proteínas en el rango de masa molecular de ~200,000 daltons a ~3000 daltons (23) y los sistemas Schagger y Von Jagow en los que la glicina se reemplaza por tricina, que permiten la resolución de péptidos tan pequeños como 500 daltons. (24)

Las bandas de proteínas se fijaron y se tiñeron en Coomassie Brilliant Blue G-250. Las proteínas más pequeñas se visualizan mediante tinción con plata. Los geles se digitalizaron en el sistema

de imágenes Gel Doc™ XR+ (Bio-Rad Laboratorios, CA, EE. UU.).

2.7 Caracterización del hidrolizado por cromatografía de exclusión.

Con el fin de analizar también oligopéptidos (<1000 Da) y tri-, dipéptidos y aminoácidos libres (no detectables por SDS-PAGE, las muestras se analizaron por cromatografía de exclusión molecular (HPLC). El volumen de muestra cargado ha sido de 20 µL y la elución de las proteínas se ha llevado a cabo con tampón fosfato 100 mM/NaCl 0,25 M a un flujo de 0,5 mL/min.

2.8. Análisis Estadístico

El análisis de datos se realizó mediante ANOVA unidireccional seguido de las pruebas de rango múltiple de Duncan a través de SPSS Statistics 20.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Los experimentos se repitieron tres veces y la importancia se evaluó a $\pm 5\%$ ($P \leq 0.05$). Los resultados se expresaron como media \pm desviación estándar.

III. RESULTADOS

3.1. Componente básico de HTCH

El análisis aproximado de la HTCH mostró un alto contenido de proteínas

(23-32% p.s.), alto contenido de carbohidratos (56-62%), bajo contenido de grasas (3,52%), alto contenido de fibra cruda (17%), 7,3% de contenido de humedad, 92,7% correspondiente a materia seca y 8,83% correspondiente a cenizas. Además, se identificó que el subproducto es rico en otros componentes beneficiosos para la salud, como la ergotioneina y el ergosterol, resultados mostrados en la Tabla 2. Debido a su alto contenido de proteínas, este es un buen sustrato para la preparación de proteínas hidrolizadas, obteniendo una proteína de mejor calidad, ya que se pueden obtener compuestos como péptidos y aminoácidos de interés industrial.

Tabla 2. Composición de la materia prima.

Componente	Cantidad Porcentual
Proteína	28,6 ± 1,18 %
Carbohidratos	59,4 ± 3,21 %
Grasa cruda	3,52 ± 0,25 %
Fibra	17,5 ± 1,12 %
Humedad	7,3 ± 1,2 %
Materia seca	92,7 ± 0,9 %
Ceniza	8,83 ± 0,29 %
Ergotioneina	0.22 ± 0.02 mg ERG/g
Polifenoles	3.9 ± 0.22 mg GAE/g
Ergosterol	6,42 ± 0,15 mg/g

3.2. Hidrólisis enzimática y grado de hidrólisis de la HTCH.

Para la hidrólisis enzimática, se usó 4 diferentes proteasas para determinar cuál de ellas es la que tiene los mejores resultados, todas bajo las mismas condiciones de control como son pH, temperatura, agitación y concentración de enzimas. Las enzimas que se utilizaron fueron Alcalasa®, Flavourzyme®, Papaína y Bioproteasa LA-450 enzimas utilizadas en la industria alimentaria. Para volúmenes menores a 2 L, se usó el esquema de hidrólisis como se indica en la Figura 1 y para volúmenes más grandes, se usó un reactor automatizado de 4 L y siguiendo las mismas condiciones de control de pH, temperatura, agitación y relación E/S. Los resultados se muestran en la Figura 2, donde se puede observar tanto el volumen de NaOH consumido como el GH obtenido de los hidrolizados. Las hidrólisis más eficientes es decir las que conducen a un mayor GH es cuando se utilizan la Bioproteasa LA-450 y la Alcalasa® (6,65 ± 0,6 y 6,21 ± 0,9) respectivamente, ya que durante la hidrólisis se consume más cantidad de base (NaOH), esto debido a que la mayor cantidad de aminoácidos y péptidos se hidrolizan.

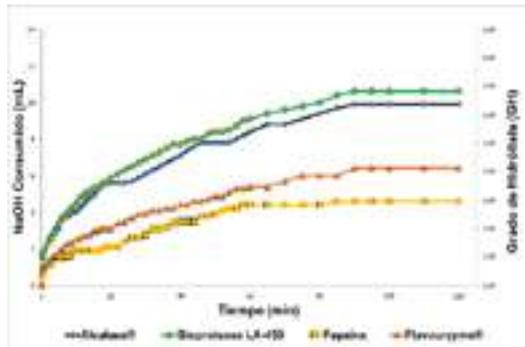


Figura 2. Curva de hidrolizados enzimáticos. Para el cálculo del GH se usó la ecuación de Aldler-Nissen y se usó 5,45 como factor de proteína para los hongos. El GH indica la escisión de los enlaces peptídicos y también influye en el rendimiento del producto, la recuperación de proteínas, las propiedades funcionales y la calidad organoléptica de los hidrolizados. El GH aumentó apreciablemente ($P \leq 0,05$) dentro de las 2 h de hidrólisis y 10% (p/v) de la concentración de sustrato, como se puede observar en la Figura 2. A partir de estos resultados, se eligió el tiempo de 2 h como el tiempo óptimo para la generación de hidrolizados de proteínas en los sustratos de hongos comestibles.

Tabla 3. Balance de masas, referido al peso seco recuperado en el precipitado y en el sobrenadante, tras la hidrólisis enzimática simple de la HTCH.

Enzima	Alcalasa®	Bioproteasa LA-450	Papaína	Flavourzyme®
HTCH (g)	30	30	30	30
Precipitado (g)	16,2±1,3	13,8±1,0	19,3±2,2	20,1±1,7

Sobrenadante (g)	12,5±0,9	13,9±1,1	8,0±0,7	6,9±0,5
Rendimiento (%)	41,7±3,0	46,3±3,6	26,3±2,3	23,0±1,7
Proteína Hidrolizada (%)	76,3±3,1	77,2±2,7	49,4±2,0	41,3±1,6

Como puede observarse en la Tabla 3 las enzimas Alcalasa® y Bioproteasa LA-450 son las que mayor cantidad de productos solubilizan ($41,7 \pm 3\%$ y $46,3 \pm 3,6\%$), mientras que la enzima de origen vegetal (papaína) presenta un rendimiento más bajo. Además, se obtuvo una menor cantidad de precipitado ($13,8 \pm 1.0$ g) y un mayor volumen de sobrenadante ($13,9 \pm 1.1$ g) para el caso de la Bioproteasa LA-450, lo que indica que hay más cantidad de productos solubles.

3.3 Análisis químico del hidrolizado.

El análisis químico del hidrolizado con respecto al sustrato, como se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis químico del hidrolizado.

Hidrolizado	p.s	Cenizas	M.O	Pt	HC totales
HTCH _{H2O}	8,8±0,4	7,6±0,3	92,4±0,3	25,7±1,7	67,1±4,3
HPTCH _A	41,7±3,0	9,2±0,6	90,8±0,6	51,3±3,9	32,5±3,8
HPTCH _{LA450}	46,3±3,6	9,4±0,3	90,6±0,3	51,9±4,8	41,1±4,1
HPTCH _P	26,3±2,3	8,9±0,9	91,1±0,9	32,8±3,0	58,1±3,2
HPTCH _F	23,0±1,7	9,1±0,8	90,9±0,8	38,8±2,1	54,4±4,4

HTCH_{H2O}: Extracto acuoso de HTCH; **HPTCH_A**: Hidrolizado de HCTH con Alcalasa®; **HPTCH_{LA450}**: Hidrolizado de HCTH con Bioproteasa LA-450; **HPTCH_P**: Hidrolizado de HCTH con Papaína; **HPTCH_F**: Hidrolizado de HCTH con Flavourzyme®; **p.s**: peso seco; **M.O**: Materia orgánica; **Pt**: Proteínas Totales; **Hc**: Hidratos de carbono; Valores expresado en Porcentaje (%) de p.s.

Como se puede observar **HPTCH_{LA450}** presenta mayor contenido de proteínas totales ($51,9 \pm 4,8$) frente a **HTCH_{H2O}** ($25,7 \pm 1,7$), lo que indica que existe más producto solubilizado.

3.4 Caracterización electroforética de los hidrolizados.

Este proceso se realizó con el fin de obtener información sobre el tamaño de los péptidos presentes en los hidrolizados. Se tiñó los geles con azul de Coomassie donde no se observó resultados por lo que se optó por la tinción de plata con ligeras modificaciones.

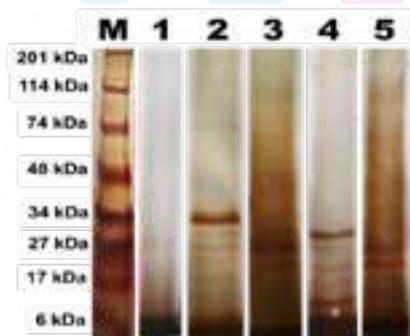


Figura 3. Gel de electroforesis en geles para péptidos, (según Schägger) de los diferentes hidrolizados proteicos y del extracto acuoso de la HTCH. (M: marcadores de peso molecular; 1: **HTCH_{H2O}**; 2: **HPTCH_A**; 3: **HPTCH_P**; 4: **HPTCH_{LA450}**; 5: **HPTCH_F**

Como podemos observar en la Figura 3 en el carril-1 no se observan proteínas debido a que la tinción de

plata no permite detectar proteínas grandes. Sin embargo, en el carril-2 se observa claramente una banda de unos 30 kDa, correspondiente a un fragmento proteico de ese tamaño, además se observa una banda intensa, de unos 5 kDa, que corre con el frente de la electroforesis, correspondiente a péptidos de este tamaño. Análogamente, en el carril-3 se observan claramente 2 bandas, una de 27 kDa y otra de 20 kDa, correspondientes a fragmentos proteicos liberados y solubilizados por la Papaína. En el carril-4 se logran distinguir tres bandas de 29 kDa, 20 kDa y 10 kDa que corresponderían a fragmentos de proteínas con este peso molecular. En el carril-5, se observa tenuemente dos bandas, una banda de 41 kDa, y una de 27 kDa también se observa otra banda intensa de 17 kDa que correspondería a péptidos de ese tamaño.

3.5 Caracterización del hidrolizado por cromatografía de exclusión.

El propósito de este procedimiento es separar los péptidos de acuerdo a su tamaño, y la distribución del tamaño de las proteínas, péptidos, oligopéptidos y aminoácidos presentes en los hidrolizados. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4,

correspondiente al cromatograma obtenido a 280 nm, para cada uno de los hidrolizados.

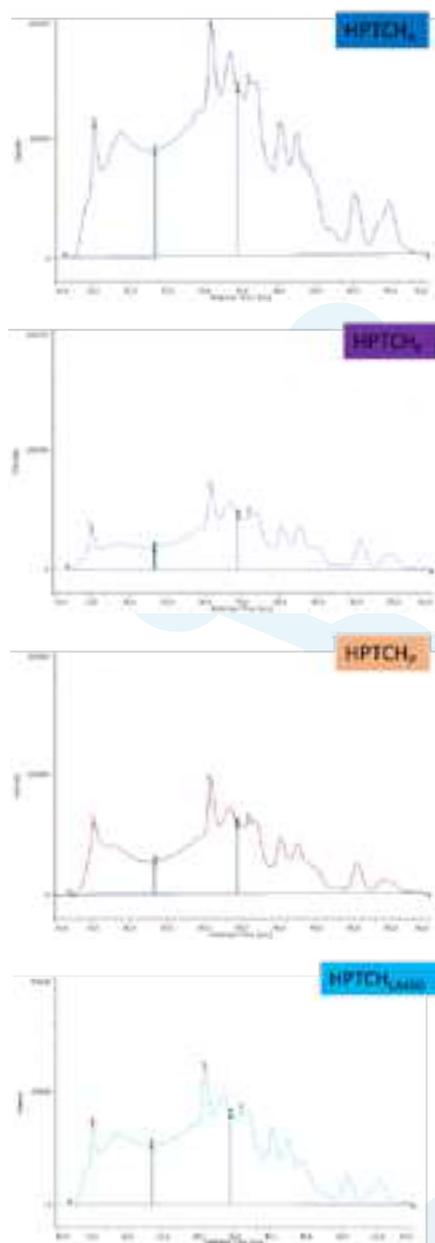


Figura 4. Caracterización de los hidrolizados enzimáticos por Cromatografía de Exclusión (280 nm). 1: HPTCH_A; 2: HPTCH_F; 3: HPTCH_P; 4: HPTCH_{LA450}.

Como se puede observar el cromatograma se ha dividido en tres grandes zonas: >5 kDa, <5 kDa y >0,2 kDa, y <0,2 kDa. La zona ">5 kDa",

constituida por proteínas y péptidos mayores de 5 kDa; la zona "<5 kDa y > 0,2 kDa", constituida por péptidos y oligopéptidos menores de 5 kDa, y mayores de 0,2 kDa, y la zona "<0,2 kDa" constituida por dipéptidos y aminoácidos libres

En la Tabla 5 se muestra la contribución porcentual de cada zona o área, respecto del total, para cada hidrolizado, donde los mayores porcentajes de dipéptidos y aminoácidos libres se encuentran para HPTCH_F, lo que podría atribuirse a las exoproteasas presentes.

Tabla 5. Contribución porcentual para cada una de las zonas seleccionadas en los cromatogramas (280 nm).

280 nm	>5kDa (%)	<5kDa- >0,2kDa (%)	<0,2kDa (%)
HPTCH _{H2O}	6,68	30,19	63,12
HPTCH _A	23,71	38,35	37,92
HPTCH _{LA450}	25,13	38,88	35,98
HPTCH _P	24,58	38,58	36,83
HPTCH _F	19,05	38,92	42,02

Desde un punto de vista comercial debido al costo y al uso final de los hidrolizados, no es conveniente aislar los péptidos, sino solo se purificarán y/o concentrarán por medio de membranas.

IV. DISCUSIONES

Del análisis aproximado del subproducto se logró identificar que en su composición contiene varios productos de interés comercial, estos resultados coincidieron con los estudios informados anteriormente (2,25). La especificidad de las enzimas es un elemento primario que influye en las características de los hidrolizados, es decir, la composición y las secuencias de aminoácidos de los péptidos producidos dependerán en gran medida del tipo de proteasa y sustrato que se haya utilizado (10,11,26). El aumento del GH estuvo de acuerdo con informes previos de hidrólisis de proteínas donde GH se mejoró con el aumento de las cantidades de enzimas (27, 28, 29), esto indica el porcentaje de enlaces peptídicos rotos en relación con la proteína original. Tradicionalmente, las proteasas microbianas, especialmente las proteasas alcalinas, se han utilizado en la preparación de hidrolizados de proteínas de alto valor. Los hidrolizados tienen una variedad de aplicaciones y pueden usarse en formulaciones de alimentos, productos alimenticios terapéuticos específicos, fortificación de jugos de frutas y refrescos, como aditivos alimentarios

funcionales, alimentación animal, etc. (26, 30).

V. CONCLUSIONES

Estos resultados permitieron determinar que la Bioproteasa LA-450 utilizada como enzima para el proceso de hidrólisis de proteínas es la más eficiente, además que los hidrolizados de proteínas son un buen procedimiento para mejorar la calidad de la proteína nativa y a su vez poder obtener mayor cantidad de aminoácidos y péptidos que pueden usarse a nivel industrial tanto en la industria cosmética, Médico farmacéutica, y Agronomía. Adicionalmente podrían usarse como un medio de fermentación para la producción de hidrolasas, particularmente quitinasas.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ministerio de Ciencia español e Innovación para el apoyo financiero de este trabajo (Proyecto RTC2015-4039-2), que cuenta con apoyo financiero parcial del FEDER fondos de la Unión Europea. A la Universidad Técnica de Manabí por permitirnos colaborar con ellos.

VII. CONFLICTO DE INTERESES

que pudiesen afectar directa o indirectamente a los resultados.

Declaro que no existen intereses particulares por parte de los autores

VIII. REFERENCIAS

1. Royse et al. In: Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications. Edited by Cunha Zied Diego and Arturo Pardo Giménez, Wiley Online Library. 2017. ISBN: 978-1-119-14941-5
2. Cremades O, Diaz-Herrero M M, Carbonero-Aguilar P, Gutierrez-Gil J F, Fontiveros E, & Bautista J. White button mushroom ergothioneine aqueous extracts obtained by the application of enzymes and membrane technology. *Food Biosci.* 2015; 10: 42-47. ISSN: 2212-4292
3. Bishop K S, Kao C H, Xu Y, Glucina M P, Paterson R R M, & Ferguson L R. From 2000 years of *Ganoderma lucidum* to recent developments in nutraceuticals. *Phytochemistry*, 2015; 114: 56-65. doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.02.015
4. Amza T, Balla A, Tounkara F, Man L, & Zhou H M. Effect of hydrolysis time on nutritional, functional and antioxidant properties of protein hydrolysates prepared from gingerbread plum (*Neocarya macrophylla*) seeds. *Int Food Res J.* 2013; 20(5): 2081–2090. doi:10.1038/sj.leu.2401972
5. Kristinsson H G, & Rasco B A. Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2013; 40(1): 43-81. doi: 10.1080 / 10408690091189266
6. Aspino S I, Horn S J, & Eijssink V G. Enzymatic hydrolysis of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) viscera. *Process Biochem.* 2005; 40(5): 1957-1966. doi.org/10.1016/j.procbio.2004.07.011
7. Darewicz M, Borawska J, Vegarud G E, Minkiewicz P, & Iwaniak A. Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activity and ACE inhibitory peptides of salmon (*Salmo salar*) protein hydrolysates obtained by human and porcine gastrointestinal enzymes. *Int J Mol Sci.* 2014; 15(8): 14077-14101. doi:10.3390/ijms150814077
8. Silveira S T, Martínez-Maqueda D, Recio I, & Hernández-Ledesma B. Dipeptidyl peptidase-IV inhibitory peptides generated by tryptic hydrolysis of a whey protein concentrate rich in β -lactoglobulin. *Food Chem X.* 2013; 141(2): 1072-1077. doi:10.1016/j.foodchem.2013.03.056
9. Millward D J, Layman D K, Tomé D, & Schaafsma G. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *Am. J. Clin. Nutr.* 2008; 87(5): 1576S-1581S. doi:10.1093/ajcn/87.5.1576S
10. McCarthy A L, O'Callaghan Y C, O'Brien N M. Protein hydrolysates from agricultural crops-bioactivity and potential for functional food development. *Agriculture.* 2013; 3 (1): 112-130. doi.org/10.3390/agriculture3010112
11. Xu X, Guo S, Hao X, Ma H, Bai Y, & Huang Y. Improving antioxidant and antiproliferative activities of colla corii asini hydrolysates using ginkgo biloba extracts. *Food Sci Nutr.* 2018. doi: 10.1002 / fsn3.587
12. Farvin K H S, Andersen L L, Otte J, Nielsen H H, Jessen F, & Jacobsen C. Antioxidant activity of cod (*Gadus morhua*) protein hydrolysates: Fractionation and

- characterisation of peptide fractions. *Food Chem.* 2016; 204: 409. doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.145
13. Karnjanapratum S, O'Callaghan Y C, Benjakul S, & O'Brien N. Antioxidant, immunomodulatory and antiproliferative effects of gelatin hydrolysate from unicorn leatherjacket skin. *J. Sci. Food Agric.* 2015; 96: 3220–3226. doi: 10.1002/jsfa.7504
 14. Sah B N P, Vasiljevic T, Mckechnie S, & Donkor O N. Effect of probiotics on antioxidant and antimutagenic activities of crude peptide extract from yogurt. *Food Chem.* 2014; 156: 264. doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.105
 15. Inca-Torres A R, Urbina-Salazar A D R, Falcón-García G, Carbonero-Aguilar P, Morgado B R, Parrado J, et al. Hydrolytic enzymes production by *Bacillus licheniformis* growth on fermentation media formulated with sewage sludge. *J Biotech Res.* 2018; 9: 14-26 ISSN: 1944-3285.
 16. AOAC. 18th ed. Washington, D.C.: Official Methods of Analysis, 2006
 17. MAPA. Madrid (España): Métodos oficiales de análisis, 1994.
 18. Inca-Torres A R. Revalorización de los subproductos de la industria de hongos y setas comestibles. Aplicación a la obtención de productos de alto valor añadido. [TESIS DOCTORAL]. Sevilla. Universidad de Sevilla. 2019
 19. Bagul M B, Sonawane S K, & Arya S S. Bioactive characteristics and optimization of tamarind seed protein hydrolysate for antioxidant-rich food formulations. *3 Biotech.* 2018; 8(4): 218. doi: 10.1007/s13205-018-1240-0
 20. Sewczyk T, Antink MH, Maas M, Kroll S, & Beutel S. Flow rate dependent continuous hydrolysis of protein isolates. *AMB Express.* 2018; 8 (1): 18. doi: 10.1186/s13568-018-0548-9.
 21. Espejo Carpio F J. Obtención de hidrolizados de proteínas de leche de cabra con actividad inhibidora de la enzima convertidora de la angiotensina. [TESIS DOCTORAL]. Granada: Universidad de Granada. 2013. Disponible en: <https://hera.ugr.es/tesisugr/21597224.pdf>
 22. Adler-Nissen J. Enzymatic hydrolysis of food proteins. Elsevier applied the science editors. 1986.
 23. Laemmli U K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature, London.* 1970; 227:680-685.
 24. Schägger H, y Von Jagow G. Tricine sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis for protein separation in the range 1 to 100 kDa. *Anal. Biochem.* 1987; 166 (2): 368-379. doi: 10.1016/0003-2697(87)90587-2
 25. Cremades O, Diaz-Herrero M M, Carbonero-Aguilar P, Gutierrez-Gil J F, Fontiveros E, Rodríguez-Morgado B, et al. Preparation and characterisation of selenium-enriched mushroom aqueous enzymatic extracts (MAEE) obtained from the white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Chem.* 2012; 133(4): 1538-1543. doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.046
 26. Chalamaiah M, Kumar B D, Hemalatha R, & Jyothirmayi T. Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. *Food Chem.* 2012; 135: 3020–3038. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.06.100
 27. Hou H, Li B, Zhao X, Zhang Z, & Li P. Optimization of enzymatic hydrolysis of Alaska pollock frame for preparing protein hydrolysates with low-bitterness. *LWT. Food Sci. Technol. Res.* 2011; 44(2): 421-428. doi: 10.1016/j.lwt.2010.09.009
 28. Villanueva A, Clemente A, Bautista J, & Millán F. Production of an extensive sunflower protein hydrolysate by sequential hydrolysis with endo- and exo-



- proteases. *Grasas y Aceites*. 1999a; 50(6): 472–476. doi.org/10.3989/gya.1999.v50.i6.697
29. Villanueva A, Vioque J, Sánchez-Vioque R, Clemente A, Pedroche J, Bautista J, et al. Peptide characteristics of sunflower protein hydrolysates. *J Am Oil Chem Soc*. 1999b; 76(12): 1455-1460. doi.org/10.1007/s11746-999-0184-2
30. Ward A J, Hobbs P J, Holliman P J & Jones D L. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresour. Technol*. 2008; 99 (17): 7928-7940. doi: 10.1016 / j.biortech.2008.02.044



EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE EN EL INYECTOR DE UN MOTOR MEP AL EMPLEAR COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

EVALUATION AND SIMULATION OF THE FUEL FLOW IN THE INJECTOR OF A MEP ENGINE WHEN USING ALTERNATIVE FUELS

¹Diego Javier Punina Guerrero, ²Carlos Alberto Gallardo Naula, ³Josencka Dariana Sarmiento Anchundia

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Quito, Ecuador

²Universidad Internacional SEK, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Quito, Ecuador

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo UTEQ, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Quevedo, Ecuador

Autor de correspondencia: Diego Javier Punina Guerrero
E-mail: dpunina.mdm@uisek.edu.ec

Resumen

Este trabajo mostró el uso de combustibles alternativos como medio de generación de energía usando biodiesel a base de aceite de frituras mediante una evaluación y simulación del flujo de combustible en los inyectores de un motor MEP. Con la aplicación del método experimental se realizó pruebas en el diésel normal, biodiesel con mezclas B10, B20 y B100 en los inyectores mecánicos para observar su presión de apertura, tiempo de cierre, ángulo de pulverización y el goteo de los mismos. Con los datos obtenidos de las pruebas en el laboratorio, se empleó el método estadístico para verificar si se encontraban en el rango habitual de funcionamiento de los inyectores para proceder a la simulación en software ANSYS, evaluando el comportamiento del fluido dentro del inyector, además de obtener valores de presiones y velocidades en el flujo del fluido dentro del mismo. De tal forma, se evaluó y propuso alternativas en el uso del biodiesel como combustible alternativo, escogiendo la geometría de 5 salidas debido que la presión permaneció constante con el uso del combustible diésel y el biocombustible de aceite de frituras, con todas las combinaciones, lo cual indicó que era necesario una variación y no otros accesorios complementarios en el motor.

Palabras Clave: *Inyectores, motor MEP, biocombustible, diésel.*

Abstract

This work showed the use of alternative fuels as a means of generating energy using biodiesel based on frying oil through an evaluation and simulation of the fuel flow in the injectors of a MEP engine. With the application of the experimental method, tests were carried out on normal diesel, biodiesel with mixtures B10, B20 and B100 in the mechanical injectors to observe their opening pressure, closing time, spray angle and their dripping. With the data obtained from the tests in the laboratory, the statistical method was used to verify if they were in the usual operating range of the injectors to proceed with the simulation in ANSYS software, evaluating the behavior of the fluid inside the injector, in addition to obtain values of pressures and velocities in the flow of the fluid within it. In this way, alternatives were evaluated and proposed in the use of biodiesel as an alternative fuel, choosing the geometry of 5 outlets because the pressure remained constant with the use of diesel fuel and the frying oil biofuel, with all the combinations, which indicated that a variation was necessary and not other complementary accessories on the engine.

Keywords: *Injectors, MEP engine, biofuel, diesel*

I. INTRODUCCIÓN

Gran parte de los países se realiza investigaciones para encontrar alternativas al diésel como combustible. Algunas de las cuales se encuentran orientadas al desarrollo de aceites vegetales como fuente de abaratamiento y con mayor densidad de energía que los aceites vegetales convertidos, causando menor impacto ambiental. (7) La importancia de la velocidad de inyección del diésel ha motivado el desarrollo de este trabajo, donde, después de evaluar diferentes métodos y equipos comerciales para determinar la tasa de inyección, se decidió utilizar el

método comúnmente conocido como método Bosch, debido a sus ventajas y fácil operación, en él se presenta la integración y configuración de un sistema, sus procedimientos y resultados para determinar la tasa de inyección al modificar diferentes parámetros de inyección con diferentes combustibles alternativos. (1)

El combustible diésel debe permitir la marcha suave del motor con poco golpeteo. El combustible debe permanecer líquido a bajas temperaturas, de tal modo que el motor arrancará fácilmente y marchará suavemente por lo cual el diésel sirve como lubricante para la bomba de

inyección e inyectores, por lo tanto, deberá tener adecuadas propiedades de lubricación. (5)

El biodiesel posee un beneficio principal el cual es su bajo contenido de azufre, esto se debe a que en su composición química existe oxígeno, así la combustión es más completa, disminuyendo la emisión de partículas, monóxido de carbono no quemado, y otros contaminantes.

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo. Ecuador es un gran consumidor de aceites vegetales, centrándose el consumo en el aceite de palma. (13)

La evaluación del comportamiento del flujo dentro del inyector mediante simulación en el software ANSYS permite garantizar el buen funcionamiento del mismo al usar biocombustible, para lo cual se realiza pruebas de funcionamiento y presión en los inyectores para determinar los valores de funcionalidad. A su vez, evaluar el funcionamiento de los inyectores mediante el uso de biodiesel alternativo al 10 % (B10), 20 % (B20) y

100 % (B100) con la geometría propuesta del ducto de fluido. (12)

Finalmente, la simulación del biodiesel en el inyector en el software ANSYS nos permite observar las variaciones del fluido del inyector y llegar a las conclusiones correspondientes. (10)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Método experimental

Para que los inyectores desempeñaran correctamente su función, se debió probar y regular en un equipo probador de inyectores, el cual fue el H17.8 diésel.



Figura 1. Comprobador de inyectores modelo H17.8

Fuente: autor

Para la fase experimental, la toma de datos se realizó mediante pruebas en el inyector mecánico con la finalidad de obtener los valores para realizar la simulación. Para cada una de las pruebas, se realizó con el combustible

diésel y los biocombustibles de aceite de frituras B10, B20 y B100, las cuales fueron:

1. Presión de apertura del inyector
2. Prueba de estanqueidad
3. Cálculo del ángulo de chorro de inyección.

En la prueba de presión de apertura del inyector, se mantuvo abierto el medidor de presión donde se aplicó lentamente la palanca del probador. La presión de apertura alcanzada del inyector fue aquella que marca en el manómetro, siendo la presión en la que se abrió el inyector y pasó el fluido.



Figura 2. Biocombustible mezclas B10, B20 y B100

Fuente: autor

La prueba de estanqueidad se realizó con el medidor de presión abierto, aplicando lentamente la palanca. Se observó el manómetro y se ajustó la presión a un nivel de 20 bar inferior a la presión de apertura anterior. Con esa presión, no goteó ni una gota de aceite de calibración durante 10 segundos.

El cálculo del ángulo de pulverización se lo realizó con los datos que se

obtienen del inyector. A éste se le colocó a una determinada altura donde el chorro realizó una marca en un papel blanco, determinando la longitud del diámetro y en función de estos datos se procedió a calcular el ángulo de pulverización, realizando varias veces la prueba hasta obtener un promedio.

Método estadístico

Para conocer la fiabilidad de la información, se procedió a realizar un análisis de datos. Por lo que mediante una gráfica de control para la media se pudo establecer una estimación de μ . En base a este valor se alcanzó un límite superior de control y un límite inferior, los cuales se consiguieron con las siguientes ecuaciones:

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2\bar{R} \quad (1)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2\bar{R} \quad (2)$$

Donde:

$$\bar{X} = \frac{\sum \bar{X}}{k} \quad (3)$$

Por otra parte, para los cálculos de la variación en el rango de las muestras fueron calculados con las gráficas de control para la dispersión, siendo las fórmulas:

$$LSC_R = D_4 \bar{R} \quad (4)$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R} \quad (5)$$

Donde \bar{R} fue el rango promedio de los rangos muestrales y A_2 fue una constante basada en el tamaño de la muestra. Los valores de A_2 se encontraron en la tabla de factores críticos de las gráficas o cartas de control. Y \bar{X} fue la media de los valores.

Con los datos obtenidos en las pruebas experimentales en los inyectores, se llevó a cabo el diseño en el software Solidworks y su análisis en ANSYS con la finalidad de variar la geometría de manera que se pudo observar el comportamiento de la velocidad,

turbulencia y presiones de los fluidos tanto para la geometría de 3 salidas, 5 salidas y de la variación de los diámetros a la salida del flujo en el inyector.

III. RESULTADOS

Para las presiones de apertura del diésel, B10, B20 y B100, las pruebas realizadas con el diésel en comparación con el biocombustible de aceite de frituras B10, B20 y B100 se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 1, también se muestran los valores promedios y rango para realizar el cálculo de límite superior e inferior, tanto de rangos como de medias.

1 **Tabla 1.** Presiones de apertura del inyector

2 **Fuente:** autor

Prueba	Diésel (MPa)	B10 (MPa)	B20 (MPa)	B100 (MPa)	Promedio (X)	Rango (R)
1	16	21	22	25	21	9
2	16	20	23	25	21	9
3	16	21	23	24	21	8
4	16	21	22	24	20,75	8
5	15	20	22	25	20,5	10
6	16	20	23	25	21	9
7	17	21	22	25	21,25	8
8	16	20	23	25	21	9
9	17	21	22	24	21	7
10	15	20	23	24	20,5	9
Prom	16	20,5	22,5	24,6	X=20,9	R=8,6

3 Donde B10 es biodiésel alternativo al 10 %, B20 es biodiésel alternativo al 20 % y B100 es biodiesel
4 alternativo al 100 %.

Con la aplicación de las ecuaciones (1) y (2) se observó que no existe valor que salga de los límites de control, por lo

cual los valores obtenidos en la fase experimental fueron correctos.

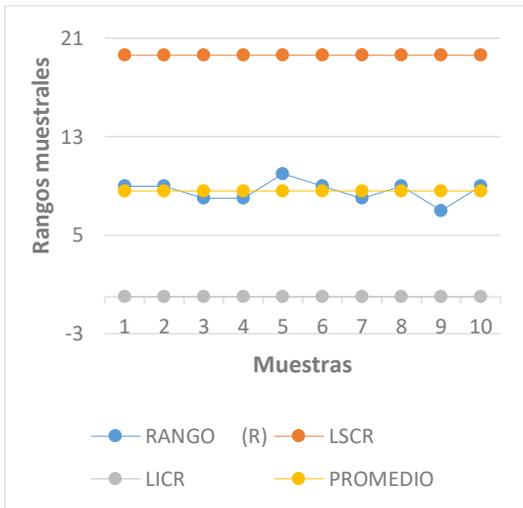


Figura 3. Gráfica de control de rango de carga absoluta.

Fuente: autor

Para el cálculo del ángulo de pulverización, se colocó el inyector en el probador de inyectores diésel a una altura de 15 cm, siendo un valor considerado debido a que el ángulo de pulverización efectivo es de 60 % de su totalidad.

Con las consideraciones descritas anteriormente, las pruebas en el laboratorio del Instituto Tecnológico Superior Guayaquil al inyector mecánico, se obtuvieron las siguientes variaciones del ángulo de pulverización cuando trabaja con diésel y biocompatible combustible a las diferentes mezclas, cuyos datos promedio para cada biodiésel se obtuvieron realizando diez pruebas respectivamente.

Tabla 2. Resultados del ángulo de pulverización para el diésel, B10, B20 y B100.

Fuente: autor

Combustible	Ángulo de pulverización (°)
Diésel	16,80
B10	19,59
B20	20,63
B100	22,29

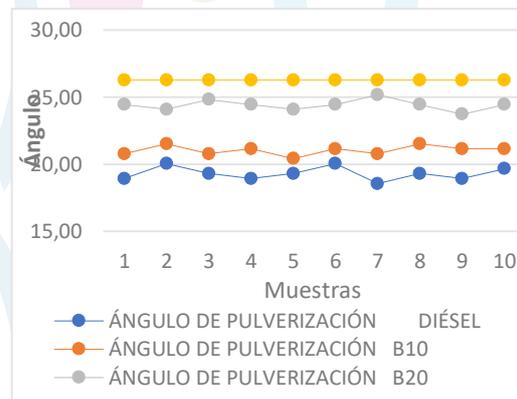


Figura 4. Resultados del ángulo de pulverización para el diésel, B10, B20 y B100

Fuente: autor

Los datos obtenidos demostraron una tendencia polinómica de la distribución de datos donde la variante fue la relación de mezcla del biocombustible.

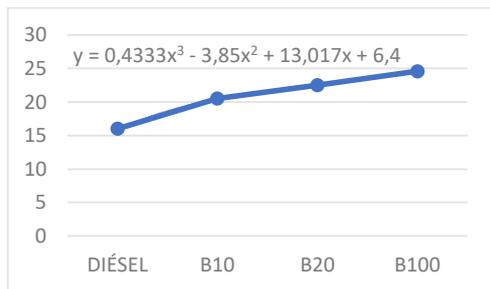


Figura 5. Tendencia polinómica de las mezclas de biocombustible.

Fuente: autor

Por otra parte, las condiciones de borde para el análisis de la velocidad, presión

Tabla 3. Valores de simulación con geometría 3 salidas

Fuente: autor

Fluido	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad cinemática (cst)	Viscosidad dinámica (cp)	Presión de salida (MPa)	Velocidad de entrada (m/s)	Velocidad máxima (m/s)	Presión máxima (MPa)	Intensidad de turbulencia
Diesel	730	5	0,0024	16	0,3	8,20	16,04	1,13
B10	468	3,44	0,00160992	20,5	0,3	8,20	20,53	1,14
B20	480	3,45	0,001656	22,5	0,3	8,20	22,52	1,14
B100	882	6,069	0,00535285	24,6	0,3	8,19	24,65	1,28

Tabla 4. Valores de simulación con geometría 5 salidas

Fuente: autor

Fluido	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad cinemática (cst)	Viscosidad dinámica (cp)	Presión de salida (MPa)	Velocidad de entrada (m/s)	Velocidad máxima (m/s)	Presión máxima (MPa)	Intensidad de turbulencia
Diesel	730	5	0,0024	16	0,3	5,07	16,018	0,91
B10	468	3,44	0,00160992	20,5	0,3	5,10	16,020	0,94
B20	480	3,45	0,001656	22,5	0,3	5,13	16,021	0,98
B100	882	6,069	0,00535285	24,6	0,3	5,18	16,024	1,07

Tabla 5. Valores de simulación con disminución en el diámetro de salida del inyector

Fuente: autor

Fluido	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad cinemática (cst)	Viscosidad dinámica (cp)	Presión de salida (MPa)	Velocidad de entrada (m/s)	Velocidad máxima (m/s)	Presión máxima (MPa)	Intensidad de turbulencia
DIÉSEL	730	5	0,0024	16	0,3	11,62	16,08	1,53
B10	468	3,44	0,00160992	20,5	0,3	11,65	20,52	1,55

e intensidad de turbulencia del fluido se consideró las siguientes condiciones de borde obtenidas en el método experimental, las cuales se introdujeron en el software ANSYS. Estos análisis se realizaron para el inyector de 3 salidas, de 5 salidas y para la disminución en el diámetro.

B20	480	3,45	0,001656	22,5	0,3	11,67	20,53	1,56
B100	882	6,069	0,00535285	24,6	0,3	11,89	24,70	1,79

1

IV. DISCUSIÓN

Realizado los análisis del diésel y biodiesel en los inyectores de 3 salidas y 5 salidas, y las variaciones de los diámetros de la salida de flujo se pudo observar que las variaciones de presiones en la apertura del inyector al usar diferentes combustibles, se concluyó que se encuentran bajo control y no existen variaciones que salgan fuera de los límites de control, pero el biocombustible requiere mayor presión de apertura debido a su mayor densidad.

Además, lo que analíticamente representa una tendencia polinómica de la distribución de datos donde la variante es la relación de mezcla del biodiesel, en comparación con (Guerrero, 2018) al usar biocombustible de origen vegetal presenta la misma tendencia de forma polinómica. El **ángulo de pulverización** aumentó al momento de trabajar con el biodiesel de

mayor densidad, siendo un parámetro que podría afectar el rendimiento del motor y sus emisiones, dato que coincide con lo mencionado según Guerrero (2018) que el ángulo varía debido a la densidad del combustible, el mismo que es un parámetro muy importante según Pavía (2015), ya que el chorro influye directamente en la combustión de la mezcla aire combustible. Por otra parte, las **velocidades del fluido** en la geometría de 3 salidas (Tabla 3) la variación más significativa es entre el biocombustible B20 y el diésel, existiendo una variación del 0,12 %, además que la máxima velocidad existe en la punta del inyector debido al área de comparación al resto de su geometría, por lo que tiende a aumentar. Al aumentar el número de salidas a 5, la máxima velocidad se dio

con el biocombustible a 5,18 m/s mientras que la mínima fue para el fluido diésel con 5,07 m/s. Comparando con la geometría original, se produjo un decremento del 36,8 % en velocidad, datos que en comparación según Rojas (2012) la velocidad de inyección durante un ciclo termodinámico es esencial debido a que es una información importante como parámetro de control de la formación de la mezcla aire-combustible.

La variación del diámetro de salida de 0,7 mm a 0,5 mm de la geometría original de 3 salidas, se presentó una

mayor velocidad de 11,89 m/s en el biocombustible B100, pero su turbulencia fue de 1,79. En la geometría de 5 salidas, la mayor velocidad fue de 5,18 m/s la cual se encuentra en el biocombustible B100, la misma que presenta mayor presión y mayor turbulencia en la variación de sus diámetros con una turbulencia de 1,07.

Con los datos obtenidos de las geometrías, se observó que la mejor propuesta es la variación de diámetros en la geometría original de 3 salidas datos que coinciden con lo mencionado según Pavía (2015) que menciona que cuando la velocidad es la máxima la presión será la mínima como se puede observar en los resultados obtenidos

Tabla 6.

1 **Tabla 6.** Valores máximos de velocidades presiones e intensidad de turbulencia de los combustibles.
2 **Fuente:** autor

Geometría	Velocidad m/s	Presión Mpa	Turbulencia
Geometría original 3 salidas	8,20 con B10	24,65 con B100	1,26 con B100
Geometría 5 salidas	5,18 con B100	16,024 con B100	1,07 con B100
Geometría variación de diámetros	11,89 con B100	24,7 con B100	1,79 con B100

3

V. CONCLUSIONES

La evaluación y simulación de combustible en el inyector mecánico de un motor MEP al emplear combustibles

alternos como el biodiesel de aceite de frituras en mezclas B10, B20 y B100, se mostró que variando la geometría del inyector en la salida se obtiene beneficios en la inyección del

combustible. A su vez, la simulación del flujo del combustible en el inyector mecánico arrojó que su velocidad máxima será de 11,89 m/s al usar el biocombustible B100 a una presión máxima de 24,7 MPa con un flujo turbulento de 1,79; lo cual generaría una detonación previa en el cilindro y causaría daños mecánicos en el motor y, por otra parte, también los valores de turbulencia no son beneficiosos debido a que el diésel y el biocombustible tienden a calentarse. Acorde a los resultados obtenidos en la fase experimental y simulación, el uso del biocombustible B10 sería el más adecuado porque presenta condiciones de trabajo óptimas.

Se propusieron dos geometrías diferentes, la de 3 y 5 salidas, obteniéndose que presenta mejores resultados la variación a 5 conductos de salida debido a que la presión se mantuvo constante en 16 MPa, además que el uso del diésel y el biocombustible no se vio alterado a pesar que presenta una menor velocidad que puede ser compensada en el cambio del ángulo de adelanto de inyección.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mis padres y hermanos por siempre haber confiado

en mí, por brindarme siempre sus consejos y el apoyo brindado, quienes me motivaron siempre a seguir adelante y luchar por mis sueños, a la Universidad Internacional SEK por los conocimientos brindados en la obtención del título de post grado y a los docentes quienes han sabido transmitir toda su información y experiencias de una manera extraordinaria con dedicación y responsabilidad, los mismos que dejan grandes recuerdos.

VII. REFERENCIAS

1. Armas O, Mata C, Martínez-Martínez S. Effect of diesel injection parameters on instantaneous fuel delivery using a solenoid-operated injector with different fuels. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. 2012 Septiembre;(62): p. 64.
2. Arredondo LEL,&VFJR. Obtención de Biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. Luna Azul. 2013 Enero;(36).
3. Berbel RL. Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible Catalunya: Universitat Politecnica de Catalunya; 2010.
4. Boretti A. Use of bio-ethanol and bio-diesel the key solution for a more

sustainable road transport. SAE Technical Paper. 2011 Septiembre.

5. Castro-Martínez C, Beltrán-Arredondo LI, Ortiz-Ojeda JC. Producción de Biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética? Ra Ximhai. 2012 septiembre; 8(3): p. 10.

6. Cedeño EAL, Rocha-Hoyos J, Alvear PS, Barboza JM. Producción e Impacto del Biodiesel. INNOVA Research Journal. 2017 Abril; 2(7): p. 59-76.

7. Delalibera I HC, Campolina II N, Neto III PHW, Ralisch IV R. Performance of a diesel engine fueled with a preheated blend of soybean oil and petrodiesel. SciELO Brasil. 2012 Noviembre; 32(6): p. 1058-1067.

8. Dorado MP, Pinzi S, Haro Ad, Font R, Garcia-Olmo J. Visible and NIR Spectroscopy to assess biodiesel quality: Determination of alcohol and glycerol traces. Elsevier. 2011 Marzo; 90(6): p. 2321-2325.

9. Marcelo LP, Alejandro FS, C RRA. CFD como una herramienta de diseño para productos. In Memorias del XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM; 2009; Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

10. Lazo OR, Rojas LR. Diseño asistido por computador. Industrial Data. 2006; 9(1): p. 7-1.

11. Parra P. Cálculo de un sistema de inyección multifase para motores diésel Valencia: Universidad Politécnica de Valencia; 2014.

12. Rodríguez Guerra FJ, Yépez Tamayo OJ. Estudio de la mezcla óptima diesel aceite de palma usada como combustible de un motor a diésel Sangolqui: Escuela Politécnica del Ejercito; 2007.

13. Vargas FAA. Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal Tarragona: Universitat Rovira I Virgili; 2010.

14. Vrublevskiy O, Lasynovych B. Methods of diagnosing vehicle diesel injectors. Automobile Transport. 2016; 38: p. 55-61.

PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DE RESIDUOS DE MATADERO Y PAJA DE TRIGO: INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN

PRODUCTION OF METHANE FROM SLAUGHTER RESIDUES AND WHEAT STRAW: INFLUENCE OF CONCENTRATION

Meneses-Quelal W.O.¹, Velázquez-Martí B.¹

¹ Universitat Politècnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Valencia (España)

E-mail: wasmeque@doctor.upv.es; borvemar@dmta.upv.es

Resumen

La generación indiscriminada de residuos de matadero y desechos agrícolas pueden presentar problemas de contaminación en el medio ambiente. Una alternativa para contrarrestar estos problemas es la digestión anaeróbica de los desechos mediante la producción de biogás y metano como energía limpia y renovable. En este sentido el objetivo de este estudio es la optimización de la producción de metano a partir de la codigestión anaeróbica de residuos de matadero de ganado vacuno y paja de trigo. Los tratamientos se evaluaron empleando como inóculo lodo anaerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ibarra. Los ensayos se realizaron en condiciones mesofílicas (38 °C) en digestores de 186 ml de volumen útil. La influencia de la concentración del sustrato se evaluó digiriendo anaeróticamente 45 muestras a diferentes concentraciones (5, 10 y 15 g SV/l) con una relación sustrato/inóculo de 1:2. El mayor rendimiento acumulado de metano se produjo en los digestores compuestos por 15 g SV/l. La producción máxima de metano fue de 320,48 Nml/g SV. La cinética de los ensayos se ajustó con el modelo del cono, donde se tuvo correlaciones superiores al 99%.

Palabras Clave: biogás, metano, codigestión, sinergia, inóculo, cinética.

Abstract

The indiscriminate generation of slaughterhouse waste and agricultural waste can present pollution problems in the environment. An alternative to counteract these problems is the anaerobic digestion of waste through the production of biogas and methane as clean and renewable energy. In this sense, this study aimed to optimize methane production from anaerobic codigestion of slaughterhouse waste from cattle and wheat straw. The treatments were evaluated using anaerobic sludge as inoculum from the wastewater

treatment plant of the city of Ibarra. The tests were carried out under mesophilic conditions (38 °C) in digesters with a useful volume of 186 ml. The influence of the substrate concentration was evaluated by anaerobically digesting 45 samples at different concentrations (5, 10 and 15 g VS/l) with a substrate/inoculum ratio of 1:2. The highest accumulated methane yield occurred in the digesters composed of 15 g VS/l. The maximum methane production was 320.48 Nml/g VS. The kinetics of the tests were adjusted with the cone model, where there were correlations greater than 99%.

Keywords: *biogas, methane, codigestion, synergy, inoculum, kinetics.*

I. INTRODUCCIÓN

La demanda creciente de carne por parte de la población mundial ha provocado un incremento de la contaminación ambiental. Esto ha hecho que se generen grandes cantidades de residuos en los mataderos o camales (RM) (1). De esta manera, una alternativa para eliminar la presión ambiental generada por estos residuos es la digestión anaerobia de los residuos potencialmente fermentables (2). El empleo de la digestión anaerobia (DA) resulta de mucha utilidad ya que es un proceso biológico que implica la degradación de materia orgánica y la producción de biogás con un alto porcentaje de metano (3). Además, el biogás es una fuente de energía renovable y un factor clave para una futura sociedad independiente de los combustibles fósiles.

El alto contenido de grasas y proteínas, de los RM los convierte en sustratos atractivos para la producción de biogás

(4). Sin embargo, en el proceso de DA, estos residuos suelen acumular muchos ácidos grasos de cadena larga lo que hace difícil su degradación especialmente en el proceso de hidrólisis (5). Como solución a este problema es recomendable realizar la codigestión de los RM con otro tipo de residuos, tales como los procedentes de las actividades agrícolas. El proceso de codigestión facilita la adquisición de un mejor equilibrio nutricional y disminuye la probabilidad de que el amoníaco y los lípidos inhiban el proceso (6).

El potencial de metano de los RM, pueden determinarse mediante una prueba tradicional de potencial de metano bioquímico (BMP). En los últimos años se ha publicado un elevado número de artículos científicos relacionados con las pruebas de BMP de una variedad de sustratos (7). Sin embargo, los resultados de tales pruebas son variables y difíciles de comparar (8).



Los resultados variables se deben a diferencias tanto en la instrumentación como en los protocolos, así como a diferentes condiciones experimentales, especialmente la concentración del sustrato inicial (9).

La concentración de sustrato ha sido considerada como un factor importante que influye en la eficiencia del proceso de DA (10). Sin embargo, hoy en día aún no está completamente claro la cantidad de sustrato ideal para conseguir una optimización completa del proceso de DA. A concentraciones muy bajas, existe el riesgo de que los microorganismos tengan una actividad metabólica baja y se produzcan cantidades muy bajas de biogás. Por el contrario, si la concentración de sustrato es demasiado alta, eso podría producir la acumulación de compuestos intermedios, lo que resulta la inhibición del proceso (11).

El propósito de esta investigación es evaluar la viabilidad y la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica de los residuos de matadero en codigestión con la paja de trigo en condiciones mesofílicas, y a la vez evaluar el efecto de la concentración del sustrato en la producción de biogás.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Materia Primas

Como sustrato principal se empleó residuos de matadero de ganado vacuno (RM), los mismos que fueron recolectados del Camal Municipal de la ciudad de Guaranda (Ecuador). Los RM se recogieron de la salida de descarga del matadero del Camal Municipal. Las muestras recogidas consistieron en las aguas residuales del efluente del Camal, las mismas que estuvieron compuestas por sangre y despojos de los órganos internos generados en el sacrificio, junto con algo de estiércol. Como cosustrato, en cambio se empleó paja de trigo (PT). La paja se recogió de las granjas de la Universidad estatal de Bolívar, en la región de Guaranda. Las muestras se secaron bajo el sol, y posteriormente se refrigeraron hasta que empiece la puesta en marcha de los ensayos. En el laboratorio, para mantener la homogeneidad de las muestras, se molió la PT con un molino de laboratorio a un tamaño de partícula inferior a 3 mm. La reducción del tamaño de las muestras se hizo con el fin de aumentar la superficie de las muestras a la actividad microbiana, ya que menor es el tamaño de partícula, mayor es la tasa de degradación de los residuos. Después de

la molienda, la PT se almacenó a una temperatura inferior a 6°C hasta el momento de la incubación. De igual manera los RM fueron almacenados a la misma temperatura con fines de conservación.

Como inóculo (IN), para realizar las pruebas de BMP, se empleó lodo anaerobio mesofílico de aguas residuales. El inóculo fue recolectado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ibarra.

Caracterización de la materia prima

La caracterización de las muestras se realizó a través del análisis proximal de los datos. De esta manera, los sólidos totales (ST) y los sólidos volátiles (SV) se determinaron de acuerdo con las normas UNE-EN 18134 y UNE-EN ISO 18123, respectivamente. El contenido de sólidos totales (TS) se determinó después de calentar (105 °C durante 1 h), enfriar y desecar las muestras. Los SV se determinaron en un horno de mufla a una temperatura de 550 °C mediante ignición de los residuos producidos en el análisis de ST a peso constante.

Configuración experimental y producción de biogás.

Se realizaron pruebas por lotes para determinar las BMP de los sustratos individuales y de diversas

combinaciones entre los residuos de matadero y los residuos de paja de trigo. Los ensayos se realizaron en botellas de vidrio con un volumen útil de 186 ml y bajo condiciones mesofílicas ($T=38^{\circ}\text{C}$). Todas las botellas se cerraron con sellos de goma para mantener las condiciones anaerobias. Todos los experimentos se realizaron por triplicado y con una relación entre el sustrato y el inóculo (RSI) de 1:2.

Para evaluar las influencias de la concentración de sustrato en la prueba de BMP se varió la carga (sustrato + cosustrato) en tres concentraciones distintas: 5,10 y 15 g SV/l. Para cada una de las concentraciones se estableció 5 relaciones entre el sustrato y el cosustrato (4:0, 3:1, 2:2, 1:3, y 0:4).

La producción de biogás se midió todos los días in situ, utilizando un analizador de biogás (BIOGÁS GA-5000 de Geotech). Las mediciones se realizaron durante 30 días en las que se caracterizó H_2S , CO_2 , CH_4 y O_2 . El fin de los experimentos se dio por terminado cuando la producción se estabilizó, es decir, cuando la producción diaria de biogás fue inferior al 1% de la producción acumulada. Finalmente, la producción acumulada de biogás se normalizó en condiciones estándar (P de

1 atm y T de 25°C) y se expresó en ml biogás/g SV.

III. RESULTADOS

Potenciales de metano de los residuos de matadero

Los potenciales de metano obtenidos a diferentes concentraciones entre los RM y PT se presentan en la **Figura 1**. En ella se observa que la producción de CH₄ en todos los biodigestores comenzó inmediatamente el primer día de digestión, después de lo cual comenzó a aumentar continuamente hasta el día 6. Por el contrario, el rendimiento de CH₄ comenzó a disminuir lentamente después del día 7, y a partir del día 20 la producción no fue significativa. A un TRH (tiempo de retención hidráulico) de 22 días y una concentración de 15 g SV/l, el rendimiento máximo de CH₄ fue de 320,48 Nml/g SV para una relación sustrato/cosustrato de 4:0. Los ensayos demostraron que a mayor concentración de sustrato, la producción de CH₄ aumenta. Estos resultados están de acuerdo con el estudio de Raposo et al. (12), quien estudió la producción de metano del maíz para rangos de concentración de 5 a 15 g SV/l, y obtuvo la mayor producción de CH₄ para 15 g SV/l. Muchos estudios revelan que el potencial de metano puede alcanzar

asintóticamente un potencial máximo a concentraciones más altas (8).

Además, este estudio reveló que cuanto mayor es la concentración de RM en los biodigestores, mayor es la producción de CH₄. Esto es debido a que los RM contienen un alto contenido de grasas y proteínas, lo que los convierte en sustratos atractivos para la producción de metano (6).

En general, el análisis de varianza (ANOVA) de los rendimientos de metano demostró que para concentraciones de 5 g SV, 10 g SV y 15 g SV, existen diferencias significativas ($p < 0,05$). El hecho de que haya diferencias de producción de metano pueden atribuirse a la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) en algunos digestores. Además, las bajas concentraciones (5 y 10 g SV) pueden ser insuficientes para activar la actividad de los microorganismos causando estrés microbiano, disminución del pH y fallas en los digestores (13). No obstante, los resultados obtenidos de este trabajo han hecho que la producción de metano obtenida refleje valores similares a otros sustratos previamente reportados por Cuetos et al. (14) y Bayr et al. (15), donde la producción de metano varió entre 400 a 700 NmL de CH₄/g SV, aunque las condiciones iniciales y parámetros de operación fueron

diferentes.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que existe una correlación entre la concentración de sustrato y el potencial de metano en las pruebas de BMP. La norma alemana VDI 4630, 2006 (23) recomienda utilizar una concentración una concentración de sustrato de aproximadamente 10 g SV/l. Sin embargo, no existe una metodología estandarizada sobre la realización de pruebas de BMP que propongan requisitos exactos para la optimización de la producción de metano. En este sentido, existe el riesgo de que se utilicen concentraciones demasiado bajas y la DA no alcance la degradación completa o, por el contrario, se emplee concentraciones demasiado elevadas que inhiban el proceso de digestión. En este caso, se realizó el estudio con tres concentraciones una igual a 10 g SV/l, otra inferior a 10 g SV/l y otra superior a 10 g SV/l. Los resultados revelaron que un aumento de la concentración aumenta el potencial metano, sin embargo, haría falta realizar más ensayos con concentraciones superiores a 15 g SV/l para determinar la asíntota de la curva y la estabilización de la producción de metano.

Según Wang et al. (8) un criterio sensato sería alcanzar $\geq 90\%$ del potencial máximo de metano de los sustratos de biodegradados. No obstante, el proceso de digestión no es tan sencillo ya que depende de más factores como la relación sustrato/inóculo, temperatura, agitación, biodigestor, relación C/N y tipo de materia prima.

En lo que se refiere a la sinergia del sustrato con el cosustrato los resultados no fueron tan alentadores ya que no mejoraron la producción de la monodigestión de los RM, aunque mejoraron notablemente la monodigestión de los residuos de PT. El hecho de que hubiese efectos antagónicos con los RM puede deberse a que en este estudio se realizó la codigestión de mezclas binarias. Según Baquerizo et al. (24) cuando se tiene mezclas de tres y cuatro sustratos se logran mayores efectos de sinergia que en mezclas de dos sustratos. Otro factor porque se presentó antagonismos se debe a que las mezclas binarias no han logrado proveer todos los nutrientes y elementos traza necesarios para que los microorganismos tengan una mayor actividad metanogénica (6).

La cinética de este ensayo reflejó claramente que el modelo del cono ajustó muy bien los datos experimentales con

los pronosticados o predichos debido al fuerte respaldo del coeficiente de determinación (R^2) muy cercano a 1. Además, el modelo del cono no sobrestimó los valores de $BMP(t)$, ya que las diferencias porcentuales entre el potencial bioquímico de metano ($BMP(t)$) y el potencial bioquímico de metano máximo (BMP_{max}) no fueron superiores al 10% tal y como recomienda Zahan et al.(25). El hecho que el modelo del cono haya proporcionado un buen ajuste se debe a la curva sigmoidea del modelo, ya que permite describir bien las fases de retardo, exponencial y estacionaria durante el proceso de digestión (20).

V. CONCLUSIONES

Este estudio aborda una brecha significativa en el conocimiento sobre la la concentración de los sustratos en la pruebas de BMP y proporciona datos importantes sobre la sinergia y antagonismos en el proceso de codigestion anaerobia de los residuos de matadero con paja de trigo.

La concentración es un factor importante en esta investigación. El aumento de la concentración aumentó la producción de metano. Así, los digestores con concentraciones de 15 g SV/l aumentaron su producción hasta 84% y

88% respecto de los digestores compuestos por 5 y 10 g SV/l.

También, la codigestión mejoró la producción de metano de la monodigestión de los residuos de paja de trigo en 7%, 56% y 48% los ensayos de 5, 10 y 15 g SV/l respectivamente. El ajuste no lineal de la cinética, a través del modelo del cono, resultó muy eficaz. Se obtuvieron correlaciones superiores al 99% entre los valores predichos y experimentales. Además, el modelo del cono no sobreestimó los valores de BMP_{max} respecto de $BMP(t)$, ya que se obtuvieron diferencias porcentuales del 10% aproximadamente.

Para obtener resultados más precisos, se recomienda que la concentración de sustrato no sea inferior a 10 g SV/l que las relaciones entre el sustrato e inóculo sean superiores a 1:2.

VI. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado bajo la cooperación de la Universidad Estatal de Bolívar (Ecuador) y la Universidad Politécnica de Valencia (España).

VII. CONFLICTO DE INTERESES

Declaramos que la presente investigación no presenta conflicto de intereses

VIII. REFERENCIAS

1. Sangodoyin AY, Agbawhe OM. Environmental study on surface and groundwater pollutants from abattoir effluents. *Bioresour Technol.* 1992;41(3):193–200
2. Aguilera ER. Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Rev Científica FAREM-Estelí.* 2018; 24: 60-81.
3. Cabbai V, Ballico M, Aneggi E, Goi D. BMP tests of source selected OFMSW to evaluate anaerobic codigestion with sewage sludge. *Waste Manag.* 2013;33(7):1626–32.
4. Banks CJ, Wang Z. Development of a two-phase anaerobic digester for the treatment of mixed abattoir wastes. *Water Sci Technol.* 1999;40(1):69–76.
5. Broughton MJ, Thiele JH, Birch EJ, Cohen A. Anaerobic batch digestion of sheep tallow. *Water Res.* 1998;32(5):1423–8.
6. Pagés-Díaz J, Pereda-Reyes I, Taherzadeh MJ, Sárvári-Horváth I, Lundin M. Anaerobic co-digestion of solid slaughterhouse wastes with agro-residues: Synergistic and antagonistic interactions determined in batch digestion assays. *Chem Eng J.* 2014; 245:89–98.
7. Bauer A, Bösch P, Friedl A, Amon T. Analysis of methane potentials of steam-exploded wheat straw and estimation of energy yields of combined ethanol and methane production. *J Biotechnol.* 2009;142(1):50–5.
8. Wang B, Strömberg S, Li C, Nges IA, Nistor M, Deng L, et al. Effects of substrate concentration on methane potential and degradation kinetics in batch anaerobic digestion. *Bioresour Technol.* 2015; 194:240–6.
9. Angelidaki I, Alves M, Bolzonella D, Borzacconi L, Campos JL, Guwy AJ, et al. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Sci Technol.* 2009;59(5):9-27
10. Lianhua L, Dong L, Yongming S, Longlong M, Zhenhong Y, Xiaoying K. Effect of temperature and solid concentration on anaerobic digestion of rice straw in South China. *Int J Hydrogen Energy.* 2010;35(13):7261–6.
11. Elsayed M, Andres Y, Blel W, Gad A, Ahmed A. Effect of VS organic loads and buckwheat husk on methane production by anaerobic co-digestion of primary sludge and wheat straw. *Energy Convers Manag.* 2016;117:538–47.
12. Raposo F, Banks CJ, Siegert I, Heaven S, Borja R. Influence of inoculum to substrate ratio on the biochemical methane potential of maize in batch tests. *Process Biochem.* 2006;41(6):1444–50.
13. Wang YT, Suidan MT, Pfeffer JT, Najm I. Effects of some alkyl phenols on

- methanogenic degradation of phenol. *Appl Environ Microbiol.* 1988;54(5):1277 LP – 1279.
14. Cuetos MJ, Gómez X, Otero M, Morán A. Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: Influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Biochem Eng J.* 2008;40(1):99–106.
 15. Bayr S, Rantanen M, Kaparaju P, Rintala J. Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of rendering plant and slaughterhouse wastes. *Bioresour Technol.* 2012;104:28–36.
 16. Alvarez R, Lidén G. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. *Renew Energy.* 2008;33(4):726–34.
 17. García-Gen S, Sousbie P, Rangaraj G, Lema JM, Rodríguez J, Steyer J-P, et al. Kinetic modelling of anaerobic hydrolysis of solid wastes, including disintegration processes. *Waste Manag.* 2015;35:96–104.
 18. Jensen PD, Ge H, Batstone DJ. Assessing the role of biochemical methane potential tests in determining anaerobic degradability rate and extent. *Water Sci Technol.* 2011;64(4):880–6.
 19. Achinas S, Krooneman J, Euverink GJW. Enhanced Biogas Production from the Anaerobic Batch Treatment of Banana Peels. *Engineering.* 2019;5(5):970–8.
 20. Li K, Liu R, Sun C. Comparison of anaerobic digestion characteristics and kinetics of four livestock manures with different substrate concentrations. *Bioresour Technol.* 2015;198:133–40.
 21. Mao C, Wang X, Xi J, Feng Y, Ren G. Linkage of kinetic parameters with process parameters and operational conditions during anaerobic digestion. *Energy.* 2017;135:352–60.
 22. Raposo F, Fernández-Cegri V, De la Rubia MA, Borja R, Béline F, Cavinato C, et al. Biochemical methane potential (BMP) of solid organic substrates: evaluation of anaerobic biodegradability using data from an international interlaboratory study. *J Chem Technol Biotechnol [Internet].* 2011;86(8):1088–98.
 23. VDI VDI. 4630: Fermentation of organic materials-Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. Verein Dtsch Ingenieure (VDI), Ed VDI Handb Energietechnik Berlin Beuth Verlag GmbH. 2006;44–59.
 24. Baquerizo Crespo RJ, Díaz J, Pereda Reyes I. El modelo de Buswell. Aplicación y comparación. Principales factores que influyen en su aplicación. *Virtual Pro.* 2016; 168: 1900-6241
 25. Zahan Z, Othman MZ, Muster TH. Anaerobic digestion/co-digestion kinetic

potentials of different agro-industrial wastes: A comparative batch study for C/N optimisation. Waste Manag. 2018;71:663–74.



NANOFLUIDOS, SINTESIS Y ESTABILIDAD - BREVE REVISION

NANOFLUIDS, SYNTHESIS AND STABILITY - SHORT REVIEW

^{1,3}Jorge Silva-Yumi*, ^{2,3}Telmo Moreno Romero, ^{2,3}Gabriela Chango Lescano

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Química, Riobamba, Ecuador

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Mecánica, Riobamba, Ecuador

³ Grupo de Investigacion y Desarrollo Tecnológico de Energías Renovables.(GIDETER), Riobamba, Ecuador

E-mail: *jorge.silvay@esPOCH.edu.ec

Resumen

Los nanofluidos constituyen una alternativa para el uso más eficiente de energía pues permiten generar o mejorar las propiedades térmicas entre otras de los fluidos tradicionales, son definidos como fluidos denominados base, como: agua, etilenglicol, aceites, etc., que contienen nanopartículas en suspensión, como: óxido de aluminio, óxido de silicio, óxido de titanio, nanopartículas metálicas, nanotubos de carbono, grafeno, carburos, etc. Los nanofluidos se pueden sintetizar por dos métodos, se pueden obtener las nanopartículas por separado y luego preparar el nanofluido o se puede preparar simultáneamente las nanopartículas y el nanofluido, un factor importante a considerar en la obtención de nanofluidos es su estabilidad. La estabilidad se puede lograr mediante tratamiento físico o tratamiento químico mediante la utilización de surfactantes. Existen muchos estudios acerca de nanofluidos sin embargo, la mayoría se obtienen con nanopartículas sintéticas, quedando el uso de nanopartículas naturales como un campo por explorar al igual que otros surfactantes para mejorar su estabilidad.

Palabras claves: nanofluidos, nanofluidos híbridos, nanopartículas, nanorefrigerantes.

Abstract

Nanofluids constitute an alternative for the most efficient use of energy as they allow generating or improving thermal properties among others of traditional fluids, they are defined as so-called base fluids, such as: water, ethylene glycol, oils, etc., which contain nanoparticles in suspension, such as: aluminum oxide, silicon oxide, titanium oxide, metal nanoparticles, carbon nanotubes, graphene, carbides, etc. Nanofluids can be synthesized by two methods, the nanoparticles can be obtained separately and then the nanofluid is prepared or both nanoparticles and the nanofluid can be prepared simultaneously, an important factor to consider in obtaining nanofluids is their stability.

Stability can be achieved by physical treatment or chemical treatment using surfactants. There are many studies about nanofluids, however, most are obtained with synthetic nanoparticles, leaving the use of natural nanoparticles as a field to be explored, as well as other surfactants to improve their stability.

Keywords: nanofluids, hybrid nanofluids, nanoparticles, nano refrigerant

I. INTRODUCCIÓN

La preocupación mundial por el uso de una energía sostenible, que sea amigable con el ambiente, así como, su uso eficiente que no implique solo el ahorro sino la optimización de equipos y sistemas ha generado el desarrollo de los nanofluidos (1), los que permiten mejorar de alguna manera la eficiencia energética por las características que presentan, como: mejor conductividad térmica y mejor transferencia de calor (2) respecto a los fluidos convencionales.

Los nanofluidos son definidos como fluidos denominados base que contienen dispersas nanopartículas (3) metálicas, óxidos, nanotubos de carbono, grafeno, óxido de grafeno, etc.

Dentro de los nanofluidos se incluyen: nanolubricantes que corresponden a lubricantes producidos por la dispersión de nanopartículas en aceites lubricantes convencionales (4), nanorefrigerantes, que son también mezclas estables de nanopartículas y refrigerantes enfocados

en mejorar las características de transferencia de calor (5).

Los nanofluidos se usan por sus beneficios en la transferencia de calor en refrigeración de motores, colectores solares, sistemas térmicos fotovoltaicos, refrigeración de componentes electrónicos, en el área de alimentos en unidades de procesamiento térmico, etc. El objetivo de esta investigación es realizar una revisión sintética de los nanofluidos, determinar el tipo de nanopartículas utilizadas en su síntesis, así como, los fluidos base y los surfactantes utilizados para lograr una mejor estabilidad de las nanopartículas dispersas con el fin de establecer nuevas áreas de investigación.

II. METODOLOGÍA

La revisión se realizó durante el periodo 2019-2020, se utilizó la base de datos ScienceDirect para la búsqueda de los artículos de revisión y de investigación mediante la utilización de las palabras clave: nanofluids, hybrid nanofluids y nanorefrigerants, review nanofluids,

review hybrid nanofluids y review nanorefrigerants.

Se seleccionaron 43 artículos a partir de los cuales se ha sintetizado y sistematizado la información que se presenta en la presente revisión. Se inicia con la definición de los nanofluidos y nanofluidos híbridos, posteriormente se presentan los métodos de síntesis, así como, las nanopartículas y fluidos base utilizados, finalmente se menciona los tensoactivos que permiten lograr una mejor estabilidad de los nanofluidos.

III. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Los nanofluidos son suspensiones estables y uniformes constituidos por fluidos denominados base, como: agua, etilenglicol, aceites, etc., que contienen dispersas nanopartículas (3). Las nanopartículas utilizadas son óxidos de: aluminio (4), cobre, titanio, zirconio, wolframio, zinc, silicio (6), nanopartículas metálicas de cobre, plata, oro, hierro (7), nanotubos de carbono (8), grafeno funcionalizado (9) óxido de grafeno reducido (10) óxido de galio (11), óxido de zinc (12), entre otras.

Los nanofluidos muestran propiedades térmicas significativamente mejores que las de los fluidos base. Las

nanopartículas ayudan a mejorar la conductividad térmica, debido a que cambian notablemente las propiedades de transporte y las características de transferencia de calor de la suspensión (13), el coeficiente de transferencia de calor (10), así como, la eficiencia térmica (14) sin embargo, una de las desventajas de los nanofluidos es que exhiben altas viscosidades debido a la presencia de las nanopartículas, lo que requiere mayor potencia de bombeo en los equipos.

Los nanofluidos han encontrado aplicaciones relevantes en procesos de transferencia de calor de varios sistemas, han sido empleados en colectores solares (8,10), intercambiadores de calor, sistemas fotovoltaicos térmicos (15,16), sistemas de aire acondicionado (17), conductividad térmica (18), enfriamiento de chips electrónicos, motores de automóviles (como lubricantes y refrigerantes), refrigeradores y plantas de energía nuclear (como refrigerantes para barras de combustible nuclear) (19).

NANOFLUIDOS HÍBRIDOS

Son una nueva clase de nanofluidos que contienen dos o incluso tres diferentes tipos de nanopartículas en un fluido base (6).

Al igual que en los nanofluidos simples se utilizan diferentes nanopartículas para su elaboración (20), entre las combinaciones de nanopartículas utilizadas se pueden mencionar Ag-MWCNT (plata - nanotubos de pared múltiple) (21) SWCNT-MgO (nanotubos de pared simple - óxido de magnesio), MWCNT-MgO, MWCNT-Fe₃O₄, Fe₃O₄-grafeno, Al₂O₃-Cu, Al₂O₃-Ag, (22), Cu-TiO₂, (23).

A diferencia de los fluidos convencionales como aceite, agua y glicoles, así como, de los nanofluidos basados en un solo tipo de nanopartículas, los nanofluidos híbridos presentan mejores propiedades termofísicas, así como, un mejor rendimiento de transferencia de calor, especialmente en las áreas de automoción, electromecánica, procesos de fabricación y energía solar (6,23).

PREPARACIÓN DE NANOFLUÍDOS

Los nanofluidos se preparan por dos métodos: el método de un paso y el método de dos pasos (24,25).

Método de un paso

Implica la síntesis y dispersión de las nanopartículas en el fluido base de

manera simultánea, en una sola etapa (26).

Método de dos pasos

Las nanopartículas son sintetizadas por cualquiera de los enfoques: bottom up (de abajo hacia arriba); basado en métodos químicos y biológicos, o top down (de arriba hacia abajo); el cual implica procesos de miniaturización o descomposición de estructuras macroscópicas, posteriormente estas nanopartículas pueden ser dispersadas en cualquier fluido base (26).

En los dos métodos de preparación de nanofluidos es necesario asegurarse que las nanopartículas se encuentren dispersas homogéneamente, y que el nanofluido muestre características de estabilidad y las propiedades deseadas, para esto se realizan las pruebas de caracterización correspondiente como: medición de velocidad de sedimentación, medición del potencial zeta, medición de absorbancia o transmitancia y/o análisis por dispersión dinámica de la luz.

NANOPARTÍCULAS UTILIZADAS PARA NANOFLUÍDOS

Oxidos

Son resistentes a la oxidación, son químicamente estables, la densidad de algunos es baja lo que permite su fácil dispersión en los fluidos base, como: agua, etilenglicol, aceites, etc., sin embargo, tienen una baja conductividad térmica si se los compara con los metales (27). Se han utilizado óxido de aluminio o alúmina (28,29) debido su alta conductividad térmica y baja densidad, óxido de calcio (30), óxido de galio (11), óxido de titanio, óxido de hierro (31,32) óxido de cobre (33), óxido de zirconio, wolframio, zinc, silicio (6).

El óxido de silicio por ejemplo mejora significativamente el coeficiente de transferencia de calor del refrigerante R134a hasta 163,2% con una concentración de partículas de 0,4% (34). Con óxido de hierro se obtiene nanofluidos magnéticos ya que las nanopartículas que los constituyen corresponden a nanopartículas magnéticas y por tanto responden a un campo magnético.

Nanopartículas metálicas

Los metales generalmente tienen una conductividad térmica más alta que los fluidos. Por lo tanto el uso de nanopartículas metálicas en un fluido

produce un buen nanofluido termoconductor (8).

Se han empleado nanopartículas metálicas de cobre (35), plata (6,7,36) y oro (7). En el caso de las partículas metálicas de plata que tienen una alta conductividad térmica, su conductividad eléctrica puede hacerlas no tan útiles para aplicaciones de enfriamiento electrónico (37).

Materiales de carbono

Se ha evaluado la utilización de nanotubos de carbono (8,35), grafeno (38), óxido de grafeno reducido (10) incluso nanopartículas de diamante debido a su alta conductividad térmica (la más alta de cualquier material) y su insignificante conductividad eléctrica (0.01 nS/m) (37).

Nanotubos de carbono de paredes múltiples dispersos en agua destilada utilizados en un termosifón y un colector solar de placa plana de circulación forzada muestran una mejora de la eficiencia exergética y la eficiencia energética del sistema (8).

Un nano-refrigerante preparado con nanopartículas de grafeno tiene un coeficiente de fricción más bajo y una conductividad térmica más alta. La adición de 30 mg/L de grafeno a un refrigerante de un refrigerador doméstico incrementa la velocidad de

enfriamiento del compartimento de alimentos frescos en un 5,6% y la velocidad de enfriamiento del congelador en un 4,7% (39).

Nanofluidos híbridos a base de carbón activado-óxido de grafeno/etilenglicol mostraron un aumento de la conductividad térmica en comparación con el fluido base, además la conductividad eléctrica también muestra un aumento significativo (38).

Otras nanopartículas

Se ha evaluado la utilización de nanocarburo de silicio (SiC) como aditivo para mejorar la conductividad térmica del nanofluido resultante a base de agua (15,16), que se caracterizan por su alta conductividad térmica.

Se han utilizado también puntos cuánticos “quantum dots” de silicio para la obtención de nanofluidos orientados a la extracción de petróleo obteniéndose una mayor (40).

FLUIDOS BASE

Agua, aceite, alcohol, querosene son algunos de los líquidos base utilizados para la elaboración de nanofluidos.

El agua y los glicoles son los líquidos base más estudiados, los glicoles como el etilenglicol y el propilenglicol tienen puntos de congelación más bajos que el

agua y se utilizan solos o en mezcla con el agua. Por lo general se han utilizado tanto etilenglicol como propilenglicol (16) debido a que están disponibles de manera muy accesible y tienen costos razonables. A más del agua y los glicoles se utilizan también aceite de motor, querosene, aceite vegetal, parafina, entre otros.

Los fluidos convencionales de transferencia de calor, como el agua y el aceite, tienen baja conductividad térmica, lo que es un impedimento para mejorar la eficiencia de todos los intercambiadores de calor (15).

Como una alternativa a los lubricantes convencionales han surgido los bio lubricantes, que son menos tóxicos que los aceites minerales, sin embargo, las propiedades lubricantes de los bio-lubricantes son ligeramente menores que las de los aceites minerales y tienen una pobre estabilidad oxidativa que restringe su uso a temperaturas elevadas, el aceite de salvado de arroz (30) es uno de los fluidos base usado para obtener lubricantes biodegradables.

Estabilidad

Si bien los nanomateriales son considerados materiales con dimensiones en la escala de 1 a 100 nm, dentro de este rango por los diferentes



procesos de síntesis se pueden obtener diferentes tamaños de nanopartículas. La forma, el tipo y el tamaño de las nanopartículas son factores clave en la estabilidad de los nanofluidos y tienen un impacto directo en el período de estabilidad, así como, en el tipo y la naturaleza del líquido base utilizado (15).

El desafío en la preparación de nanofluidos es obtener una suspensión estable evitando la aglomeración de las nanopartículas, ya que la conductividad térmica depende de la estabilidad de la dispersión las nanopartículas adicionadas, la deposición de las nanopartículas reduce la conductividad térmica de los nanofluidos y por tanto la transferencia de calor (15).

Es necesario que las nanopartículas permanezcan en suspensión por un considerable lapso de tiempo, sin embargo, debido a su gran área superficial e inestabilidad por efecto de la no saturación de los átomos más externos (41) estas tienen una alta tendencia a aglomerarse por acción de las fuerzas de Van der Waals (8), especialmente cuando estas dominan sobre las fuerzas de repulsión. La agregación de las nanopartículas puede provocar la posterior sedimentación y generar problemas durante la operación

de los equipos en los cuales se utilicen estos nanofluidos.

La variable clave para lograr un nanofluido estable es evitar la aglomeración, la cual se puede lograr mediante tratamiento físico o químico. En el tratamiento físico la dispersión se puede lograr de manera mecánica a través del uso de ultrasonidos (37), sin embargo, se ha demostrado que el uso de vibración ultrasónica para formar una suspensión estable de nanopartículas puede producir una suspensión que no es completamente estable (15), otra manera de lograr la dispersión es variar o generar carga superficial en las nanopartículas de tal manera que se produzca la repulsión por carga evitando la aglomeración.

La dispersión química se realiza mediante la adición de surfactantes o polímeros (19,37) o mediante la variación del pH del medio. La adición de surfactantes (Tabla 1) permite mejorar la estabilidad de las nanopartículas y por tanto la conductividad térmica y la transferencia de calor (19).

Los tensioactivos son generalmente compuestos orgánicos que reducen la tensión superficial entre dos líquidos o un líquido y un sólido, la estabilidad del nanofluido depende del tensioactivo utilizado (15).

Tabla 1 Surfactantes utilizados para estabilizar nanopartículas en suspensión.

Nombre	Ref.
Goma Arábica	(21)
Oleato de potasio	(36)
Ácido oleico	(32)
Dodecil betaina	(42)
Dodecil sulfato de sodio (SDS)	(15,19,42)
Dodecilbenceno sulfonato de sodio	(15,42)
Salicilato de sodio	(21)
Desoxicolato de sodio	(15)
Bromuro de cetil trimetil amonio	(15)
Cloruro de cetil trimetil amonio	(21)
Bromuro de dodecil trimetilamonio	(11)
Polivinilpirrolidona	(11)
Cetil cetil amonio	(15)
Desoxicolato de sodio	(15)
Triton X-100	(43)
Polisorbato 20	(19,43)
Polisorbato 80	(43)
Dibromuro de 1,2-bis (cetiltrimetilamonio) etano	(7)
Dibromuro de 1,3-bis (cetildimetilamonio) propano	
Dibromuro de 1,4-bis (cetildimetilamonio) butano	
Dibromuro de 1,6-bis (cetildimetilamonio) hexano	
Dibromuro de 1,8-bis (cetildimetilamonio) octano	

Si bien la tendencia es que la adición de surfactantes en los nanofluidos conduce a una mejora en su estabilidad, la presencia de estos puede también disminuir la conductividad térmica (15,19), en especial cuando se aumenta su concentración debido a que se forma una capa delgada sobre las nanopartículas que dificulta el rendimiento de la transferencia de calor del nanofluido (19).

Por otra parte el uso de tensoactivo está restringido a aplicaciones de baja temperatura porque a alta temperatura, se pueden formar burbujas que afectan

significativamente la eficiencia de transferencia de calor (8).

IV. CONCLUSIONES

Efectivamente los nanofluidos simples o híbridos constituyen una alternativa para lograr una mayor eficiencia energética, es necesario su comprensión y la ampliación de experiencias, si bien existe un amplio espectro de nanomateriales utilizados en la obtención de nanofluidos, su naturaleza es principalmente sintética. No se encontró la utilización de nanopartículas naturales como alofán, imogolita, halloysita o arcillas, por lo que se puede establecer que existe un campo de estudio aún por explorar. De la misma manera en el caso de los surfactantes queda un amplio número de compuestos tanto sintéticos como naturales a evaluar.

V. AGRADECIMIENTO

Al Instituto de Investigaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

VI. CONFLICTO DE INTERESES

No existen intereses particulares por parte de los autores.

VII. REFERENCIAS

1. Azmi WH, Sharif MZ, Yusof TM, Mamat R, Redhwan AAM. Potential of nanorefrigerant and nanolubricant on energy saving in refrigeration system – A review. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2017;69(October 2016):415–28. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.207>
2. Chakraborty S, Panigrahi PK. Stability of nanofluid: A review. *Appl Therm Eng*. 2020;174(March).
3. Abbas F, Raza T, Babar H, Mansoor M, Sajjad U, Amer M. Nano fluid: Potential evaluation in automotive radiator. *J ofMolecular Liq*. 2020;297.
4. Sanukrishna SS, Jose Prakash M. Thermal and rheological characteristics of refrigerant compressor oil with alumina nanoparticles—An experimental investigation. *Powder Technol* [Internet]. 2018;339:119–29. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.08.003>
5. Sanukrishna S, Murukan M, Jose PM. An overview of experimental studies on nanorefrigerants: Recent research, development and applications. *Int J Refrig*. 2018;88:552–77.
6. Che Sidik NA, Mahmud Jamil M, Aziz Japar WMA, Muhammad Adamu I. A review on preparation methods, stability and applications of hybrid nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2017;80(August):1112–22. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.221>
7. Li D, Fang W, Feng Y, Geng Q, Song M. Stability properties of water-based gold and silver nanofluids stabilized by cationic gemini surfactants. *J Taiwan Inst Chem Eng*. 2019;97:458–65.
8. Eltaweel M, Abdel-Rehim AA. Energy and exergy analysis of a thermosiphon and forced- circulation flat-plate solar collector using MWCNT/Water nano fluid. *Case Stud Therm Eng*. 2019;14(February):100416.
9. Paul G, Shit S, Hirani H, Kuila T, Murmu NC. Tribological behavior of dodecylamine functionalized graphene nanosheets dispersed engine oil nanolubricants. *Tribol Int* [Internet]. 2019;131:605–19. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.11.012>
10. Xu X, Xu C, Liu J, Fang X, Zhang Z. A direct absorption solar collector based on a water-ethylene glycol based nanofluid with anti-freeze property and excellent dispersion stability. *Renew Energy* [Internet]. 2019;133:760–9.

11. El-salamony RA, Morsi RE. Stable gallium oxide@ silica/polyvinyl pyrrolidone hybrid nanofluids: Preparation, characterization, and photo-activity toward removal of malachite green dye. *J Mol Liq.* 2018;271(1):589–98.
12. Kumar M, Sawhney N, Sharma AK, Sharma M. Thermo-physical profile of zinc oxide nanoparticles dispersed in aqueous solution of propylene glycol. *J Mol Liq* [Internet]. 2018;249:650–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2017.11.095>
13. Said Z, Saidur R. Thermophysical Properties of Metal Oxides Nanofluids. *Nanofluids Thermophys Prop Met Oxides Nanofluids.* 2017;
14. Liu Z, Yan Y, Fu R, Alsaady M. Enhancement of solar energy collection with magnetic nano fluids. *Therm Sci Eng Prog.* 2018;8(March):130–5.
15. Al-Waeli AHA, Chaichan MT, Kazem HA, Sopian K. Evaluation and analysis of nanofluid and surfactant impact on photovoltaic-thermal systems. *Case Stud Therm Eng.* 2019;13(November 2018):100392.
16. Al-Waeli AHA, Chaichan MT, Sopian K, Kazem HA. Influence of the base fluid on the thermo-physical properties of PV/T nanofluids with surfactant. *Case Stud Therm Eng* [Internet]. 2019;13. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.10.001>
17. Ganvir RB, Walke P V, Kriplani VM. Heat transfer characteristics in nanofluid — A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2017;75(November 2016):451–60.
18. Taw MM. Experimental studies of nanofluid thermal conductivity enhancement and applications: A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2017;75(November 2016):1239–53.
19. Chakraborty S, Sengupta I, Sarkar I, Pal SK, Chakraborty S. Effect of surfactant on thermo-physical properties and spray cooling heat transfer performance of Cu-Zn-Al LDH nanofluid. *Appl Clay Sci.* 2019;168(June 2018):43–55.
20. Ranga Babu JA, Kumar KK, Srinivasa Rao S. State-of-art review on hybrid nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev.* 2017;77(April):551–65.
21. Sun B, Zhang Y, Yang D, Li H. Experimental study on heat transfer characteristics of hybrid nano fluid impinging jets. *Appl Therm Eng.* 2019;151(July 2018):556–66.
22. Humnic G, Humnic A. Hybrid nanofluids for heat transfer applications – A state-of-the-art review. *Int J Heat Mass Transf* [Internet]. 2018;125:82–103. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.059>



23. Sundar LS, Sharma K V., Singh MK, Sousa ACM. Hybrid nanofluids preparation, thermal properties, heat transfer and friction factor – A review. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2017;68(August 2016):185–98. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.108>
24. Leong KY, Ahmad KZK, Chyuan H, Ghazali MJ, Baharum A. Synthesis and thermal conductivity characteristic of hybrid nano fluids – A review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2017;75(May 2015):868–78.
25. Dhinesh Kumar D, Valan Arasu A. A comprehensive review of preparation, characterization, properties and stability of hybrid nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2018;81(August 2016):1669–89. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.257>
26. Babar H. Towards hybrid nano fluids: Preparation, thermophysical properties, applications, and challenges. *J ofMolecular Liq*. 2019;281:598–633.
27. Suganthi K, Rajan K. Metal oxide nano fluids: Review of formulation, thermophysical properties, mechanisms, and heat transfer performance. *Renew Sustain Energy Rev*. 2017;76(February):226–55.
28. Saghir MZ, Ahadi A, Mohamad A, Srinivasan S. Water aluminum oxide nanofluid benchmark model. *Int J Therm Sci* [Internet]. 2016;109:148–58. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.06.002>
29. Ho CJ, Liao J, Li C, Yan W, Amani M. Experimental study of cooling characteristics of water-based alumina nano fluid in a minichannel heat sink. *Case Stud Therm Eng*. 2019;14(February):1–9.
30. Sunil J, Vignesh J, Vettumperumal R, Maheswaran R, Raja RAA. The thermal properties of CaO-Nanofluids. *Vacuum*. 2019;161(December 2018):383–8.
31. Goharkhah M, Ashjaee M, Shahabadi M. Experimental investigation on convective heat transfer and hydrodynamic characteristics of magnetite nano fluid under the influence of an alternating magnetic field. 2016;99:113–24.
32. Agnihotri P, Lad VN. Magnetic nanofluid: synthesis and characterization. *Chem Pap* [Internet]. 2020;74(9):3089–100. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11696-020-01138-w>
33. Khan MS, Abid M, Ali HM, Amber KP, Bashir MA, Javed S. Comparative performance assessment of solar dish assisted s-CO₂ Brayton cycle using nanofluids. *Appl Therm Eng* [Internet]. 2019;148:295–306. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.11.021>

34. Sanukrishna SS, Shafi M, Murukan M, Jose Prakash M. Effect of SiO₂ nanoparticles on the heat transfer characteristics of refrigerant and tribological behaviour of lubricant. *Powder Technol.* 2019;356:39–49.
35. Che Sidik NA, Witri Mohd Yazid MNA, Mamat R. Recent advancement of nanofluids in engine cooling system. *Renew Sustain Energy Rev.* 2017;75(April 2015):137–44.
36. Parametthanuwat T, Bhuwakietkumjohn N, Rittidech S, Ding Y. Experimental investigation on thermal properties of silver nanofluids. 2015;56:80–90.
37. Mashali F, Languri EM, Davidson J, Kerns D, Johnson W, Nawaz K, et al. Thermo-physical properties of diamond nanofluids: A review. *Int J Heat Mass Transf* [Internet]. 2019;129:1123–35. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.10.033>
38. Yarmand H, Gharehkhani S, Shirazi SFS, Amiri A, Montazer E, Arzani HK, et al. Nanofluid based on activated hybrid of biomass carbon/graphene oxide: Synthesis, thermo-physical and electrical properties. *Int Commun Heat Mass Transf* [Internet]. 2016;72:10–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.01.004>
39. Yang S, Cui X, Zhou Y, Chen C. Study on the effect of graphene nanosheets refrigerant oil on domestic refrigerator performance. *Int J Refrig* [Internet]. 2020;110:187–95. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.11.008>
40. Zhou Y, Wu X, Zhong X, Zhang S, Pu H, Zhao JX. Development of silicon quantum dots based nano-fluid for enhanced oil recovery in tight Bakken cores. *Fuel.* 2020;277(April).
41. Sezer N, Atieh MA, Koç M. A comprehensive review on synthesis, stability, thermophysical properties, and characterization of nanofluids. *Powder Technol* [Internet]. 2019;344:404–31. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.016>
42. Kim S, Tserengombo B, Choi S, Noh J, Huh S. Experimental investigation of dispersion characteristics and thermal conductivity of various surfactants on carbon based nanomaterial. *Int Commun Heat Mass Transf.* 2018;91(December 2017):95–102.
43. Gao T, Li C, Zhang Y, Yang M, Jia D, Jin T, et al. Dispersing mechanism and tribological performance of vegetable oil-based CNT nanofluids with different surfactants. *Tribology Int.* 2019;131(August 2018):51–63.



Entendiendo las interacciones histológicas, citológicas, y moleculares entre el hongo *P. striiformis tritici* y el trigo.

Understanding histological, cytological and molecular interactions between the *P. striiformis tritici* fungus and wheat.

Valeria Moreno Heredia

Investigadora Independiente, Riobamba, Ecuador

E-mail: valeria.morenoheredia@uqconnect.edu.au

Resumen

La roya amarilla es causada por el hongo *Puccinia striiformis f.sp.tritici* (*Pst*), el cual debido a su gran capacidad migratoria, adaptación a diferentes ambientes, y niveles altos de mutación; es la enfermedad más devastadoras del trigo a nivel mundial. Debido a esto, varias estrategias han sido implementadas para controlar la enfermedad, siendo la mejor, el mejoramiento genético. La clave para desarrollar cultivares resistentes, es el entendimiento de las interacciones entre el trigo y *Pst*. Por lo tanto, este trabajo sintetiza las investigaciones más importantes realizadas en los últimos 30 años, en cuanto a interacciones celulares, histológicas y moleculares entre el trigo y *Pst*. Esto permitirá un entendimiento más profundo y completo de la interacción entre los genes de resistencia y virulencia, en la enfermedad de la roya. Los resultados revelaron que la fase temprana de infección en cultivares susceptibles y resistentes, es igual cualitativamente, pero no cuantitativamente. Sin embargo, una diferencia clara a nivel histológico y molecular, en cuanto a la cantidad y al tipo de genes expresados, empieza 48 horas post infección. También, se halló que el haustorio además de absorber nutrientes del huésped, también manipula el metabolismo de éste para su beneficio y puede elaborar algunos nutrientes por sí mismo.

Palabras Clave: haustorio, *Puccinia striiformis f.sp.tritici*, histológico, genes de resistencia, genes de virulencia

Abstract

Yellow rust is caused by the fungus *Puccinia striiformis f.sp.tritici* (*Pst*), which due to its great migratory capacity, adaptation to different environments, and high levels of mutation; is one of the most devastating wheat diseases worldwide. Due to this, several strategies have

been implemented to control the disease, the best being genetic improvement. The key to develop resistant cultivars is understanding the interactions between wheat and Pst. Therefore, this work synthesizes the most important investigations carried out in the last 30 years regarding: cellular, histological, and molecular interactions between wheat and Pst. This will allow a deeper and more complete understanding of the interaction between resistance and virulence genes in the yellow rust disease. The results of this work revealed that the early stage of infection, in susceptible and resistant cultivars, is the same qualitatively, but not quantitatively. However, a clear difference at the histological and molecular level, in terms of the amount and type of genes expressed, begins 48 hours after infection. It was also found that the haustorium, in addition to absorbing nutrients from the host; can also manipulate its metabolism to benefit itself, and can make some nutrients on its own.

Keywords: *haustorio, Puccinia striiformis f.sp.tritici, histological, resistance genes, virulence genes.*

I. INTRODUCCIÓN

Los cereales contribuyen el 50% de las calorías diarias necesarias para la población mundial (1). El trigo en particular, es el cereal más cultivado en todo el mundo. Ocupa un área total de 219 millones de ha/año, es decir 42 y 57 millones de ha/año más que el maíz y el arroz, respectivamente (2). En 2019 la producción global de trigo fue de 763 millones de toneladas, un 4.2% más que en 2018 y se estima que la producción tendrá que duplicarse para el año 2050, dado el aumento de la población a 10 billones y un posible crecimiento económico (1,3). Actualmente, este crecimiento se ve

amenazado por el calentamiento global, reducción de agua, disminución de tierra arable y un aumento en pestes. Por ello, es importante aumentar el rendimiento del grano por unidad de área de tierra (1). Una herramienta para lograr este objetivo es el control de enfermedades. Anualmente se obtiene cerca de USD \$ 50 billones por la comercialización del trigo, pero enfermedades como la roya amarilla causan pérdidas de 5.47 millones de toneladas de trigo al año, equivalentes a USD \$979 millones de dólares (4,5). Esto la convierte en la enfermedad del trigo más importante en términos económicos. El agente causal de la

roya amarilla o estriada en el trigo, es el hongo *Puccinia striiformis* f.sp.tritici (Pst). Este posee una gran capacidad de dispersión, adaptación a diferentes ambientes, altas tasas de mutación de razas y diversidad genética (6). Lo que ha hecho posible la distribución mundial de Pst, causando pérdidas importantes en varios continentes. Actualmente la estrategia más económica y amigable con el medio ambiente, es el control genético (7). El control genético crea plantas resistentes, a una o varias razas del hongo *Pst*. Sin embargo, mantener estas nuevas razas resistentes a nivel regional y continental requiere un mejor entendimiento de las interacciones huésped-patógeno (8). Esto sin mencionar que el hongo *Puccinia striiformis*, en general, posee el ciclo de vida más complejo dentro de todos los hongos patógenos de las plantas. *Pst* al ser un biotrofo obligado, no puede ser cultivado sintéticamente. Por lo tanto, el estudio de los cambios histológicos, citológicos y moleculares tanto en Pst como en la planta durante el proceso de infección, es complicado (9). En vista de esto, el objetivo de este artículo es recopilar investigaciones de los últimos treinta años en cuanto a interacciones histológicas,

citológicas, y moleculares entre el trigo y *Pst*. Este estudio beneficiará a investigadores, profesores, agricultores, estudiantes y personas interesadas en mantener la seguridad alimentaria del trigo, dada su importancia nutricional, económica y científica a nivel mundial.

II. METODOLOGIA

En este artículo se realizó una búsqueda sistemática de artículos científicos, reportes, y libros realizados en los últimos 30 años, por universidades y asociaciones profesionales. Además, se buscó que las fuentes de investigación sean de carácter nacional e internacional. A nivel internacional se investigó en las revistas: Nature, Science, APS, Frontiers, Plos; mientras que a nivel regional en las revistas: Scielo, Redalyc y Latindex. También se utilizaron bases de datos y buscadores prestigiosos a escala global como: Elsevier, NCBI, Springer, Pubmed, Librería Wiley, y Google Académico.

III. DESARROLLO Y

DISCUSIÓN

INTERACCIONES HISTOLÓGICAS Y CITOLÓGICAS

Interacciones compatibles e incompatibles entre el trigo y *Puccinia striiformis* f.sp.tritici

Existen dos tipos de interacciones trigo *Pst*: incompatibles y compatibles. En la interacción incompatible, el producto de un gen de resistencia (R) de la planta, reconoce un producto de un gen de avirulencia (avr) del patógeno, y como resultado la planta desencadena una respuesta hipersensible (RH) que termina en muerte celular (10). En las interacciones compatibles, la planta carece de genes de resistencia y por lo tanto su defensa es menos efectiva. La resistencia desplegada por cultivares resistentes puede ser cualitativa (resistencia vertical) o cuantitativa (resistencia horizontal) (7).

Resistencia Cualitativa

Un ejemplo de esta resistencia fue encontrado en el cultivar resistente Suwon 11, el cual desplegó una respuesta hipersensitiva cuando se lo puso en contacto con el patógeno CY23 (11). Esta reacción tuvo efecto 18 horas después de la infección, y a partir de 72 horas post infección(hpi) casi todos los sitios de infección poseían células del huésped con necrosis. Dos días después, un gran número de células huésped murieron, pero la propagación del hongo fue detenida (11). Algunos estudios histológicos y citológicos han revelado que las plantas de

trigo resistentes secretan más lignina, quitinasa, tionina y glicoproteínas ricas en hidroxiprolina, que aquellas susceptibles (12-14). Igualmente sucede con las especies reactivas de oxígeno (ROS): H_2O_2 y O_2^- . Estas se encuentran en mayor medida en cultivares resistentes hasta 96 horas post infección (hpi) (13). Sin embargo, se encontró que, en la fase temprana de infección, las interacciones compatibles e incompatibles, muestran un crecimiento similar del hongo. No es hasta 48hpi, que la inhibición del crecimiento del hongo es significativamente mayor en la interacción incompatible (cultivares resistentes). En las plantas resistentes, el citoplasma de la hifa se llena de sacos y parches dispersos de electrones. El cuerpo haustorio empieza a rodearse de material denso en electrones, mientras que el citoplasma de las células madre haustorio es vacuolado. Los orgánulos del citoplasma se agregan y se desintegran; mientras que la capa alrededor del cuerpo haustorio se ensancha de forma irregular, acumulando depósitos granulares. Finalmente, esta membrana se arruga y se vuelve necrótica (12,14).

Resistencia Cuantitativa

Esta resistencia también conocida como resistencia de plantas adultas (RPA), puede

desencadenar una respuesta de hipersensibilidad. Sin embargo, en términos generales utiliza estrategias más sutiles que la muerte celular. Por ejemplo, los genes de resistencia *Yr18* y *Yr29* no están asociados con una respuesta hipersensible (RH) significativa. Pero, el cultivar *Xingzi 9104* posee un gen de resistencia de RPA que es asociado con una RH continua y una producción localizada de ROS; además de un retardo en la formación de haustorio e inhibición considerable en la formación de hifas secundarias. Esto resulta en una disminución de microcolonias en plantas adultas (15). La resistencia cuantitativa también es conocida como resistencia de plantas adultas a temperaturas altas (HTAP). Ésta es usualmente nula o baja en plantas jóvenes, pero existen excepciones. El gen *Yr36* se expresa en plantas jóvenes y adultas, pero es activado solamente a temperaturas altas (33°C en el día y 12°C la noche). Al estudiar el gen *Yr36* con el patotipo *CYR29*, las observaciones histológicas mostraron que las plantas con el gen *Yr36* podían detener el crecimiento de hifas secundarias, las células del huésped mostraban necrosis y muerte celular, y las especies oxidativas reactivas

se acumulaban a niveles importantes una vez que las hifas empezaron a extenderse (16). Otro estudio comparó las respuestas del cultivar *Avocet S* (susceptible) con el cultivar *Kariega* (resistencia completa de planta adulta), luego de una infección con el patotipo *6E22* (17). Cuatro días después de la inoculación, los primeros sitios necróticos fueron observados en *Kariega*, pero no en *Avocet S*. Cinco días post infección, las células mesófilas en *Kariega* mostraron lignificación, mientras que las células de *Avocet S*, no (Refiérase a la Figura 1). Seis días después de la infección, el cultivar susceptible finalmente mostró células necróticas. El octavo día, el número de colonias en *Avocet S* mostró un crecimiento descomunal, tanto que no se pudo cuantificar el número de esporas en la hoja bandera.

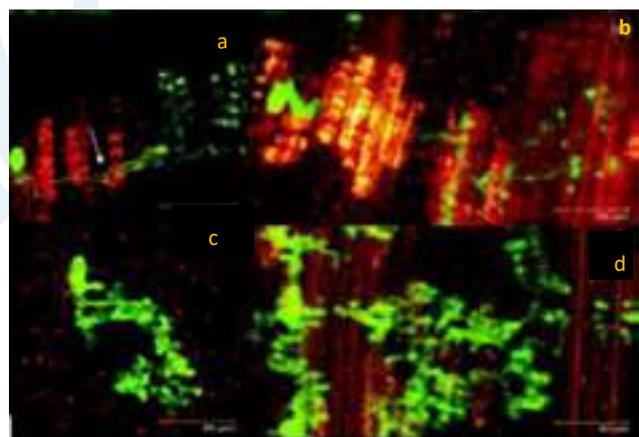


Figura 1. El hongo fue coloreado con Uvitex y analizado con microscopia de escaneo laser confocal. La vecinidad inmediata al hongo esta mostrada en verde. Tejido necrótico apareció 5dpi en *Kariega*, mostrado en rojo amarillento (a), pero

no en *Avocet S* (c). Las células necróticas rodearon al hongo completamente 7dpi en *Kariaga* (b), mientras que *Avocet S* presento pocas células necróticas dispersas (d) (Modificado de Moldenhauer et al., 2006).

INTERACCIONES MOLECULARES

Genes up-regulados en el trigo durante interacciones compatibles e incompatibles trigo-*Pst*.

El uso de la mayoría de técnicas moleculares y genéticas para estudiar las interacciones trigo-*Pst* son limitadas. Esto debido a la difícil tarea de transformar el trigo por su complejo genoma hexaploide y a la imposible tarea de cultivar a *Pst* en un medio sintético. Sin embargo, algunas técnicas han logrado elucidar las funciones de ciertos genes involucrados en la interacción trigo-*Pst*, basándose en estudios transcriptómicos. Un estudio utilizó la tecnología ADNc-AFLP, para detectar genes diferencialmente expresados durante la interacción incompatible trigo-*Pst*, y la comparó con su estudio previo donde investigó las interacciones compatibles (11). En la interacción incompatible se identificaron 1787 transcritos up-regulados y 650 down-regulados, y se obtuvieron 255 secuencias confiables, de los cuales 113

tenían funciones putativas identificadas. El 7.4% (19) fueron del hongo *Pst*, 129 del trigo, y los restantes no tenían un origen claro. En la interacción compatible 966 transcritos fueron up-regulados y 1340 down-regulados, y se identificaron 186 fragmentos de transcritos confiables, 32(17%) provenientes de *Pst* y 87(47%) del trigo (18). Ya que la interacción compatible muestra más genes desactivados en el huésped, que la interacción incompatible, podemos sugerir que el patógeno tiene la capacidad de suprimir las defensas del huésped. Debido a esto, dos veces más genes fueron desactivados en las plantas susceptibles que en las resistentes. En la interacción incompatible, 45 de los 129 genes identificados del trigo poseían alta homología compartida con genes de metabolismo y fotosíntesis, 18 con genes de defensa de enfermedades; 17 en la transducción de señales, y los restantes 33 eran genes implicados en transcripción, procesos de transporte, metabolismo de proteínas y estructura celular (11). Mientras que en la interacción compatible se detectaron genes implicados en la energía, transducción de señales, defensa de enfermedades, y metabolismo (18).

La falta de expresión de genes de estructura celular, procesos de transporte y transcripción, en la interacción compatible; indicarían que los genes de resistencia, son los encargados de codificar estos transcritos. Interesantemente, 161 de los 255 genes identificados en i.incompatibles, también fueron inducidos en i.compatibles; mientras que 94 fueron expresados específicamente en i. incompatibles (11). Por lo cual, el autor determinó que 161 transcritos, corresponden a la defensa basal de la planta. También, encontraron que los genes implicados en la transducción de señales, y defensa de enfermedades alcanzaron su punto máximo de expresión de 12 a 24 horas post inoculación (hpi), en interacciones compatibles e incompatibles (18,11). Mientras que los genes de resistencia fueron altamente expresados de 48 a 72hpi, pero vuelven a niveles basales 120hpi (11). Esto sugiere que la respuesta a un ataque de *Pst*, en la etapa inicial, es similar en interacciones compatibles e incompatibles el primer día, pero empiezan a diferir dos días después y vuelven a ser similares el quinto día de la interacción.

Perspectiva molecular de la Resistencia Cualitativa.

Generalmente, esta resistencia confiere inmunidad a un solo patotipo de *Pst*, y se presenta en todas las etapas de crecimiento de la planta. Esta es gobernada por genes mayores, que en su mayoría pueden adaptarse a *Pst* en unos pocos años (19).

Las líneas casi isogénicas *Yr1* y *Yr10* fueron estudiadas con la técnica DDRT-PCR, para identificar los genes que se expresaban en diferentes tiempos, a partir de una infección de *Pst*. Treinta y tres de los genes encontrados fueron analizados más a fondo con qRT-PCR, y 14 produjeron niveles reproducibles de inducción o represión. Entre estos se encontraron una enzima conjugadora de ubiquitina y una proteína tipo ciclofilina. Estos genes podrían estar involucrados en la ubiquitinilación, muerte celular programada, actividades anti fúngicas, respuestas a resistencia de enfermedades, y respuestas relacionadas con la patogénesis. Adicionalmente, se encontró que los genes a cargo de la degradación de proteínas, mediada por ubiquitina, se regulan en el trigo como respuesta a una infección de un patógeno a virulento de la roya amarilla (20). En otro estudio se identificaron los transcritos asociados a *Yr5*. Mediante un

GeneChip, se encontró que la presencia de *Yr5*, activa transcritos de defensa y vías de señalización comunes en una respuesta mediada por los genes R (21). Esta respuesta incluye la señalización de la proteína quinasa y la producción de especies reactivas de oxígeno que conducen a una RH.

Perspectiva molecular de la Resistencia Cuantitativa.

La resistencia cualitativa al estar gobernada por un conjunto de genes menores, puede resistir varios años (22). Además, a diferencia de los genes de resistencia vertical quienes únicamente actúan mediante una respuesta hipersensitiva (RH); los genes de resistencia horizontal desencadenan otras respuestas, además de la (RH).

En otro estudio se demostró que Xingzi9104 poseía genes involucrados en ROS, biosíntesis de fenilpropanoide, fotosíntesis y metabolismo de tiamina; los cuales participan en la regulación de la lignificación y formación de azúcar (23). En un estudio diferente, se comparó diferentes genes (*Yr18*, *Yr29*, y *Yr39*) de resistencia HTAP o APR (24). Se encontró que todos los genes, expresaron un transcrito en común, el cual era una

proteína de la capa de no-clatrina, cuya función putativa es la de transporte de sustancias anti-fúngicas a través de la membrana celular para hacer contacto directo con el haustorio o hifa.

Estrategias de patogenicidad de Pst en el trigo.

El haustorio es un sitio concertado de interacción entre el huésped y el patógeno, por lo que descubrir sus funciones es esencial para entender los mecanismos de supervivencia de Pst dentro del huésped.

El haustorio es ampliamente reconocido por su función en la absorción de nutrientes, pero estudios recientes han demostrado que el haustorio no solamente toma nutrientes del huésped, sino que manipula al huésped para su beneficio. Por ejemplo: TaAMT2; 3a, es un transportador de amonio tipo AMT2 del trigo, pero se demostró que al silenciar el gen TaAMT2; 3a, el número y longitud de hifas, así como las células madre haustorio, decreció. Sin embargo, en las plantas donde TaAMT2; 3a, no fue silenciado, Pst indujo a este transportador, para obtener nitrógeno. También se ha demostrado que Pst puede secretar efectores que son transportados fuera de la membrana extrahaustorial (25). La proteína Pst_12806 es translocada del haustorio a los cloroplastos, donde interactúa

con el C-terminal del dominio Rieske de la proteína TaISP del trigo. Esta interacción resulta en una reducción de la velocidad de transporte de electrones, reducción de fotosíntesis, y la producción de ROS derivada de cloroplastos (26). No solo esto, se ha encontrado que Pst puede producir ciertos nutrientes por sí mismo a través de la síntesis de novo. Los genes asociados con la vía de biosíntesis de tiamina, son masivamente up-regulados en Pst durante la infección. El pirofosfato de tiamina (Vitamina B1), actúa como cofactor en varias enzimas del metabolismo central del carbono: alfa-cetoglutarato deshidrogenasa (α -KGDH) en el ciclo de Krebs; transcetolasa en el PPS no oxidativo; y piruvato deshidrogenasa (PDH) que conecta el glucólisis y el ciclo de Krebs (24).

IV. CONCLUSIONES

Las interacciones trigo-Pst compatibles e incompatibles, en la fase temprana de infección (12-24hpi), son similares en cuanto a los componentes que intervienen, pero difieren en la cantidad de los mismos. Sin embargo, la diferencia a nivel histológico y molecular se hace evidente 48 horas post infección. Y, regresan a niveles similares 72hpi. También,

contrario al conocimiento común; algunas moléculas y efectores tanto del huésped como del parásito pueden atravesar la membrana extrahaustorial, ya sea para atacar o defenderse.

Igualmente, se encontró que ciertos genes de resistencia cuantitativa también pueden expresar una respuesta hipersensitiva (RH), tal como lo hacen los genes de resistencia cualitativa, pero en menor medida. Además, se halló que el haustorio no solamente actúa como una herramienta pasiva de absorción de nutrientes, sino que puede manipular el metabolismo del huésped para su beneficio, y puede proveer nutrientes esenciales para sí mismo.

V. RECOMENDACIONES

Se recomienda investigar más a fondo los genes que causan que las interacciones compatibles e incompatibles difieran a partir del segundo día. Determinarlo podría ser ventajoso, ya que se podría acelerar el tiempo de reacción, y el hongo no tendría oportunidad de desarrollarse. Además, se recomienda estudiar otros mecanismos mediante los cuales el hongo pueda burlar y manipular las defensas de la planta. Esto implicaría estudiar grandes poblaciones de genes de resistencia, así como de diversas

razas del hongo Pst. Los estudios poblacionales, no solo a nivel regional sino global, favorecerían el control de la enfermedad.

VI. REFERENCIAS

1. Singer SD, Foroud NA, Laurie JD. Molecular Improvement of Grain: Target Traits for a Changing World. Encyclopedia of Food Security and Sustainability [Internet]. 2019 [citado 23 Abril 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/cereal-crop>
2. Abbate PE, Cardos MJ, Campaña LE. Manual de cultivo de trigo. [Internet]. 1^{ra} ed, Argentina: International Plant Nutrition Institute. 2017 [4 Mayo 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/320465244_El_trigo_su_difusion_importancia_como_alimento_y_consumo
3. FAO [Internet]. Estados Unidos. 2020 [actualizada en 2 Junio 2020; acceso 5 Julio 2020]. [approx. 4 pantallas]. Disponible en: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.
4. CGIAR [Internet]. Mexico. 2017. [actualizada en 21 Agosto 2018; acceso 5 Julio 2020]. [approx. 2 pantallas]. Disponible en: <https://wheat.org/wheatin-the-world/>.
5. Solh M, Nazari K, Tadesse W, Wellings CR. The growing threat of stripe rust worldwide. Proceedings of the GBR1 2012 Technical Workshop; 2012 Sep 1-4; Beijing, China: Borlaug Global Rust Initiative.
6. Carmona M, Sautua F. Roya amarilla del trigo: Nuevas razas en el mundo, monitoreo y uso de fungicidas. FAUBA; 2016; Argentina. Disponible en: http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/wpcontent/uploads/2016/03/CARMONASAUTUA_Royaamarilla2017_FAUBA.pdf
7. Buerstmayr M, Matiasch L, Mascher F, Vida G, Ittu M, et al. Mapping of quantitative adult plant field resistance to leaf rust and stripe rust in two European winter wheat populations reveals colocation of three QTL conferring resistance to both rust pathogens. Theoretical and Applied Genetics. 2014; 127:2011-2028.
8. Sharma-Poudyal D, Chen XM, Wang A, Zhan GM, Kang ZS, et al. Virulence

characterization of international collections of the wheat stripe rust pathogen, *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*. The American Phytopathological Society. 2013; 97:379-386.

9. Kang Z, Tang C, Zhao J. Wheat *Puccinia striiformis* Interactions. En: Chen, X., Kang, Z. Stripe Rust Washington, USA: Springer Science+Business Media B.V; 2017. p. 197-198.

10. Flor HH. The complementary gene systems in flax and flax rust. *Advances in Genetics*. 1956; 8:29–54.

11. Wang X, Liu W, Chen X, Tang C, Dong Y, et al. Differential gene expression in incompatible interaction between wheat and stripe rust fungus revealed by cDNA-AFLP and comparison to compatible interaction. *BMC Plant Biol*. 2010;10:9.

12. Kang Z, Wang Y, Huang L. Histology and ultrastructure of incompatible combination between *Puccinia striiformis* and wheat cultivars with resistance of low reaction type. *Sci Agric Sin* 2003; 36: 1026–31.

13. Wang C, Huang L, Buchenauer H, Han QM, Zhang HC, et al. Histochemical studies on the

accumulation of reactive oxygen species (O₂⁻ and H₂O₂) in the incompatible and compatible interaction of wheat-*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Physiol Mol Plant Pathol*. 2007; 71:230–9.

14. Zhang H, Han Q, Wang C, Wang CF, Huang L, et al. Histology and ultrastructure of resistant mechanism of a new wheat material Yilipu to *Puccinia striiformis*. *Acta Phys Sin* 2008; 38: 153–64.

15. Zhang H, Wang C, Chen Y, Chen X, Han Q, et al. Histological and cytological characterization of adult plant resistance to wheat stripe rust. *Plant Cell Rep*. 2012; 31:2121–37.

16. Li H, Ren B, Kang ZS, Huang LL. Comparison of cell death and accumulation of reactive oxygen species in wheat lines with or without Yr36 responding to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* under low and high temperatures at seedling and adult-plant stages. *Protoplasma*. 2016; 253:787–802.

17. Moldenhauer B, Moerschbacher A, Van Der Westhuizen A. Histological investigation of stripe rust (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) development in resistant and susceptible wheat cultivars. *Plant Pathology*. 2006; 55: 469-474.

18. Wang X, Tang Ch, Zhang G, Li Y, Wang C, et al. cDNA-AFLP analysis reveals differential gene expression in compatible interaction of wheat challenged with *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *BMC Genomics*. 2009;10(289).
19. Priyamvada A, Saharan MS, Tiwari R. Durable resistance in wheat. *Journal of Genetics and Molecular Biology*. 2011. 3:108–114.
20. Bozkurt O, Unver T, Akkaya MS. Genes associated with resistance to wheat yellow rust disease identified by differential display analysis. *Physiol Mol Plant Pathol*. 2008;71:251–9.
21. Coram T, Wang M, Chen X. Transcriptome analysis of the wheat *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* interaction. *Mol Plant Pathol*, 2008; 9:157–169.
22. Parlevliet JE. Resistance of the nonrace-specific type. En Roelfs AP, Bushnell WR (Ed.), *The Cereal Rusts: Diseases, Distribution, Epidemiology, and Control*. New York, USA: Academic Press. 1985. p.501–525.
23. Hao Y, Wang T, Wang K, Wang X, Fu Y, et al. Transcriptome analysis provides insights into the mechanisms underlying wheat plant resistance to stripe rust at the adult plant stage. *PLoS One*, 2016;11.
24. Chen X, Coram T, Huang X, Wang M, Dolezal A. Understanding Molecular mechanisms of durable and non-durable resistance to stripe rust in wheat using transcriptomics approach. *Curr Genomics*. 2013; 14:111-126.
25. Jiang J, Zhao J, Duan W, Tian S, Wang X, et al. TaAMT2;3a, a wheat AMT2-type ammonium transporter, facilitates the infection of stripe rust fungus on wheat. *BMC Plant Biology*. 2019;19
26. Xu Q, Tang C, Wang X, Sun S, Zhao J, et al. An effector protein of the wheat stripe rust fungus targets chloroplasts and suppresses chloroplast function. *Nature Communications*, 2019;10:27.
27. Garnica D, Upadhyaya N, Dodds P, Rathjen J. Strategies for wheat stripe rust pathogenicity identified by transcriptome sequencing. *Plos One*. 2013; 8.

EVOLUCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA EVOLUTION AND IDENTIFICATION OF AQUATIC MACROINVERTEBRATES AS BIOINDICATORS OF WATER QUALITY

Liz Ortiz Contreras*, Bori Ortega, Patricio Méndez, Patricio Tierra.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch)
Extensión Morona Santiago, Facultad de Ciencias, Macas, Ecuador

* liz.ortiz@espoch.edu.ec

Resumen

El presente trabajo de revisión bibliográfica muestra una recopilación de los bioindicadores de la calidad del agua, sus principales ventajas y desventajas; se detalla los tipos de bioindicadores por ejemplo bacterias, protozoos, fitoplancton, macrófitas, peces y macroinvertebrados acuáticos.

La importancia de este artículo radica en la recolección de macroinvertebrados, en el caso de ambientes con aguas corrientes o dormidas no muy profundas, se utiliza una red, mientras que en ambientes de aguas corrientes o tranquilas pero profundas, se recomienda el uso de dragas.

Luego de la recolección se debe mantener en envases apropiados, hasta que con la ayuda de un microscopio se pueda identificar los tipos de Bioindicadores que se colectó.

Se puede decir que el uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua está generalizándose en todo el mundo, por lo que su evolución ha incrementado al tener especies taxonómicas determinadas para diferentes estados de calidad.

Es por ello que el objetivo de esta investigación es dar a conocer la importancia evolutiva que tienen los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua, así como las ventajas y desventajas que presenta la utilización de bioindicadores, en comparación con métodos físico-químicos.

Palabras clave

Bioindicador, macroinvertebrados, evolución, calidad del agua, monitoreo.

Abstract

This bibliographic review work presents a compilation of the bioindicators of water quality, its main advantages and disadvantages; the types of bioindicators are detailed, for example bacteria, protozoa, phytoplankton, macrophytes, fish and aquatic macroinvertebrates. It is important to know how the collection of macroinvertebrates is carried out, in the case of environments with running or sleeping waters, not very deep, a net is used, while for environments with currents or calm but deep waters, the use of dredgers is. It is recommended that, after collection, it should be kept in appropriate containers until the types of bioindicators that were collected can be identified with the help of a microscope. It can be said that the use of aquatic macroinvertebrates as indicators of water quality is very widespread throughout the world, so their evolution has increased as they already have taxonomic species determined for different quality states. That is why the objective of this research is to know the evolutionary importance of aquatic macroinvertebrates as indicators of water quality, at the same time the advantages and disadvantages of the use of bioindicators, compared to physical-chemical methods.

Keywords

Bioindicator, macroinvertebrates, evolution, water quality, monitoring.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas hídricos están sometidos a constante movimiento de agua en donde se lleva consigo material particulado, sustancias provenientes de varias industrias o actividades antropogénicas (1), incluso sustancias de origen natural, las cuales consiguen ocasionar una sustancial alteración dentro de la biota

que existe en los diferentes efluentes hídricos (2).

Para mitigar estas alteraciones existen estudios que confirman que la presencia de bosques en zonas de ribera ayuda a amortiguar el impacto negativo que generan las prácticas ganaderas sobre las microcuencas y mejoran los servicios ambientales que estas prestan (3).



Para determinar la calidad del agua, se debe realizar monitoreos físico-químicos o biológicos.

Las variables físico-químicas nos darán información de un lugar de referencia en un determinado tiempo (4), debido a que realiza una correlación entre los parámetros del agua y las actividades realizadas por el ser humano (5).

Otro factor que influencia en algunos parámetros físico-químicos, sobre todo en la temperatura, conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos, es el gradiente altitudinal (6).

Por otro lado, tenemos el análisis biológico del agua, el cual nos proporcionará un resultado más exacto de lo que sucede en un río, caudal, estuario, etc., (7).

En general los macroinvertebrados acuáticos constituyen un importante componente de la estructura en la comunidad biológica asociada a ambientes lóticos, pues desempeñan un rol crítico en el ecosistema, a través del mantenimiento de la estabilidad de la red trófica y balance de los ciclos biogeoquímicos (8) (9).

II. METODOLOGÍA

Se evaluó la información de varios investigadores y de varias revistas como Scielo, Dialnet, Scopus y Redalyc.

Las principales palabras claves utilizadas para la búsqueda de la información fueron: calidad del agua, bioindicadores y macroinvertebrados, con un total de 80 artículos recopilados, publicados desde el año 2010 al presente, de los cuales 39 de estos artículos fueron los más relevantes.

En el texto se describen temas tales como los bioindicadores, sus ventajas y desventajas; organismos utilizados como bioindicadores entre ellos: bacterias, protozoos, fitoplancton, macrófitas, peces y macroinvertebrados acuáticos, profundizando en su recolección y evolución.

III. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

3.1 BIONDICADORES

Se desarrollan de acuerdo al medio donde viven, pueden variar en relación con las alteraciones ambientales (10), es decir, las respuestas biológicas son observadas frente a una perturbación ecológica y están referidos como organismos o sistemas biológicos (11) que sirven para evaluar variaciones en la calidad ambiental (12). La sensibilidad propia de cada uno de los organismos a la contaminación se utiliza para asignarle un valor de un índice biológico (13).

VENTAJAS QUE PRESENTAN LOS BIOINDICADORES

Una de las principales ventajas que presentan los bioindicadores, es que, al poseer ciclos de vida largos, brindan un amplio conocimiento de los contaminantes a lo largo del tiempo, pues poseen diferentes tipos de respuestas a los gradientes ambientales. Mencionando que el muestreo se realiza de una forma sencilla y económica (14).

En conclusión, se puede decir que gracias a los procesos de acumulación de los organismos biológicos se pueden obtener panoramas completos de la interacción y efectos de los contaminantes en los ecosistemas y poblaciones acuáticas, características que no se pueden obtener con los análisis físico-químicos (15).

DESVENTAJAS QUE PRESENTAN LOS BIOINDICADORES

Según (Springer, 2010), “Una limitación que presenta este tipo de monitoreo es justamente al momento de determinar la calidad de agua para consumo humano, porque no necesariamente detecta la presencia de patógenos o condiciones químicas potencialmente peligrosas para la salud humana”. La evaluación de la calidad ambiental ya sea del agua, aire o suelo,

con bioindicadores es un procedimiento que no nos permite cuantificar algunas variables, donde se hace necesarios estudios adicionales que rectifiquen la relación entre variables bióticas y abióticas; ya que el procedimiento indirecto requiere se demuestre la relación causa-efecto entre variables. Los bioindicadores no generan datos cuantitativos, por lo que no se compara con métodos físico químicos (17).

3.2.ORGANISMOS UTILIZADOS COMO BIOINDICADORES

Los organismos que se utilizan como bioindicadores de la calidad del agua son las Bacterias, protozoos, Fitoplancton, macrófitas, peces y macroinvertebrados acuáticos.

BACTERIAS

Este tipo de indicadores se utiliza especialmente para determinar la calidad de los cuerpos hídricos receptores de descargas provenientes de aguas de uso doméstico y que pueden conllevar a la propagación de enfermedades (18), por lo cual es necesario establecer los índices de contaminación fecal mediante el conteo de coliformes, estreptococos, etc. (15).

PROTOZOOS

Los protozoos son protistas microscópicos que generalmente son



unicelulares, poseen un flagelo o cola (19), lo que les permite poseer movilidad, la mayoría de estos microorganismos son aeróbicos heterótrofos, sin embargo, existen algunos que son anaeróbicos (20).

FITOPLANCTON

Al hablar de Fitoplancton nos referimos a la comunidad planctónica, con el predominio de: diatomeas y dinoflagelados, siendo estos representantes de la cadena alimenticia, pues se sabe que la productividad primaria no solo es importante para el equilibrio y regulación de los ecosistemas, sino también para un desarrollo sustentable (21) (22).

Este grupo de bioindicadores es importante pues responde rápidamente a los cambios que pueden ocurrir en las masas de agua por procesos naturales o antrópicos.

MACRÓFITAS

Debido a la habilidad que tienen las macrófitas acuáticas para asimilar contaminantes (cloruros, sulfatos, nitratos, carbonatos, amoníaco), estas se han empleado en la detección y remoción de sustancias en efluentes de aguas residuales domésticas e industriales (23).

PECES

Son considerados un grupo de bioindicadores fáciles de muestrear por cualquier grupo interesado, al presentar una gran movilidad dentro del ecosistema acuático debido a que son capaces de huir de la contaminación y regresar cuando esta ha desaparecido, es decir, que cuando existe una gran densidad de especies de peces denota un ecosistema poco alterado (15).

MACROINVERTEBRADOS

ACUÁTICOS

Se denominan macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados con un tamaño superior a 500 μm , entre los que se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, entre los que se encuentran los cangrejos (24).

Los géneros de insectos acuáticos que se destacan, por su abundancia y distribución, son los siguientes: efemerópteros, plecópteros, odonatos, hemípteros, coleópteros, Tricópteros y dípteros (7).

3.3. RECOLECCIÓN DE MACROINVERTEBRADOS

Para obtener el conteo de macroinvertebrados por unidad de área se utiliza la red "Surber", la misma que esta provista de un marco metálico, el

cual sujeta una red de nylon muy fina donde se quedan atrapados los bichos luego de remover manualmente y contra corriente el sustrato que se encuentra dentro del marco metálico (26).

Una vez realizado la identificación con ayuda de las clases taxonómicas y la experiencia del investigador, se procede a guardar definitivamente los macroinvertebrados identificados en frascos de vidrio muy pequeños con alcohol al 90% para su preservación definitiva (26).

Estos animales deben estar correctamente identificados con una etiqueta en el interior del frasco, la misma que deberá contener la información correspondiente al sitio de colección, la fecha, condiciones del lugar donde fue colectado y su respectiva clasificación taxonómica (27).

3.4. EVOLUCIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS

Se ha discutido sobre el nivel taxonómico más adecuado para estudios de bioindicadores, si bien es cierto que el nivel preferible sería el de especie, la taxonomía de ciertos grupos hace el trabajo prácticamente inviable en muchos países, en gran parte por el coste económico que ello comporta

(28). Especialmente en los dípteros, el trabajo de preparación e identificación, incluso a nivel de género, permite que su estudio sea económicamente muy costoso. Por ello un buen equilibrio entre calidad de los resultados y tiempo requerido para obtenerlos se da utilizando como nivel taxonómico la familia (29).

A lo largo del proceso de investigación se ha logrado identificar que las especies *Atopophlebia*, *Hagenulopsis*, *Hydrosmilodon* correspondientes al género Ephemeropteros (30) y las especies *Plectrocnemia geniculata*, *Rhyacophila denticulata*, *Sericostoma selysii* del género Tricópteros (31) son muy sensibles a la contaminación, en cambio que los Plecópteros son bioindicadores muy buenos para aguas sin contaminación (32).

Por otro lado, los Dípteros han sido identificados en su gran mayoría en aguas totalmente contaminadas, en aguas que tienen descargas domésticas y comerciales totalmente directas.

La familia Chironomidae ha sido caracterizada como tolerante a la contaminación debido a sus hábitos alimentarios saprófagos y en consecuencia su presencia está asociada a altas concentraciones de materia orgánica y bajos niveles de oxígeno.



Las quebradas andinas albergan una significativa porción de la diversidad del orden Coleóptera en Sudamérica, de tal manera que pueden representar más del 50% de la fauna conocida a nivel genérico en América del Sur (33).

Por su parte, los Tricópteros estuvieron bien representados por larvas y pupas, las cuales viven en diversos ambientes acuáticos y la mayoría construyen refugios fijados al sustrato o refugios portátiles de una variedad de formas y materiales (34).

Según (Springer, 2010), estos insectos acuáticos, además de ser diversos, son capaces de colonizar diferentes tipos de sustratos (roca, arena, grava, hojarasca), tanto en ríos de corrientes rápidas y turbulentas como en ríos de agua tranquila (36).

IV. DISCUSIÓN

El uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua de los ecosistemas está generalizándose en todo el mundo.

Los beneficios del uso de herramientas biológicas y no solo las características fisicoquímicas del agua para la medida de su calidad han sido explicadas también en muchos libros, manuales, y forma parte de la legislación de muchos estados (37).

Particularmente interesante es el proceso abierto en la Unión Europea donde la indicación biológica es el núcleo de todo el sistema de monitoreo y evaluación de la calidad del agua de sus 27 países, dando incluso a luz a un nuevo concepto, el “Estado Ecológico”, y ello ha significado una revolución en la forma como los gobiernos europeos deben contemplar los indicadores biológicos de calidad del agua (38).

Sin embargo, en Latinoamérica se ha podido evidenciar la gran acogida a esta alternativa y eso se ha visto plasmado en 39 artículos científicos en los que hemos basado esta investigación, por lo tanto, su uso se recomienda en muchos de los protocolos de estudio de los países que los utilizan como indicadores de calidad biológica de forma reglamentada. En las circunstancias actuales, puede ofrecer más ventajas en América del Sur (39).

V. CONCLUSIONES

La importancia evolutiva de utilizar macroinvertebrados, radica en que a lo largo del tiempo se ha podido identificar especies como bioindicadores de la calidad del agua, como por ejemplo las especies *Atopophlebia*, *Hagenulopsis*, *Hydrosmilodon* correspondientes al género Ephemeropteros y las especies *Plectrocnemia geniculata*, *Rhyacophila*



denticulata, *Sericostoma selysii* correspondientes al género Tricópteros, son muy sensibles a la contaminación, en cambio que los Plecópteros son bioindicadores muy buenos para aguas sin contaminación.

La principal ventaja de trabajar con monitoreos biológicos es que, al tener ciclos de vida largos, los bioindicadores integran los efectos de la contaminación en el tiempo, lo que nos da una visión general de lo que está sucediendo en ese lugar, a diferencia de cuando realizamos monitoreos fisicoquímicos que nos indica los efectos de la contaminación que tiene el recurso hídrico únicamente en ese instante.

Una desventaja de trabajar con bioindicadores es que no detecta presencia de patógenos o condiciones químicas peligrosas, es decir no es apto para determinar la calidad de agua para consumo Humano, mientras que por métodos físico químicos si se puede realizar dicha detección.

VI. REFERENCIAS

1. Oscoz J, Campos F, Escala MC. Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnetica*. 2006;25(3):10.
2. Gustavson S, Cosme L, Trama F. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua en la microcuenca San Alberto, Oxapampa,

- Perú. 2013;03(02):16. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5124791.pdf>
3. Ramírez J, Giraldo L, Zuñiga M, Ramos B, Chr  J. Influencia de la ganadería en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en microcuencas de los Andes centrales de Colombia. *Rev Biol Trop*. 2018;66(3):1244.
 4. Vimos D. Influencia de las condiciones hidráulicas e hidrológicas en la variación espacial y temporal de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los ríos altoandinos de cabecera al sur del Ecuador [Internet]. Universidad Polit cnica de Valencia; 2017. Available from: <http://hdl.handle.net/10251/8621>
 5. Aveiga A, Noles P, De la Cruz A, Peñarrieta F, Alcántara F. Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí. *Enfoque UTE*. 2019;10(3):30–41.
 6. Huanach n A, Huamantinc  A. Composición y estructura de la comunidad de coleópteros acuaticos (Insecta: Coleoptera) a lo largo de un gradiente altitudinal, Cusco, Perú. *Rev Peru Biol*. 2018;25(2):131.
 7. Yépez  , Yépez  , Urd nigo J, Morales D, Guerrero N, TayHing C. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Cienc y Tecnol*. 2017;10(1):8.
 8. Peña S, Bohórquez H, Barrera A, Salamanca S, Jiménez D, Botello W. Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calabozza (Yopal, Casanare). *Entre Cienc e Ing*. 2019;13(25):14.
 9. Murillo S, Mendoza A, Restrepo E, Rodriguez M. Utilización de macroinvertebrados acuáticos como herramienta para determinar la calidad del agua en la quebrada Santo Tomás, municipio de Pensilvania, Colombia. *Rev la Acad Colomb Ciencias Exactas, Físicas y Nat*. 2018;42(164):212.
 10. Toledo M. "Determinación De La Calidad Del Agua Acuáticos Como Bioindicadores En La Microcuenca Del Río Chimborazo ". 2015;
 11. Herrera H. Camarones Penaeidos y carideos como bioindicadores de contaminación y su relación con variaciones en la Físicoquímica de los sedimentos en la laguna Madre, Tamaulipas, México. *Univ Autónoma nuevo León*. 2019;52(81):88.

12. Gamboa M, Reyes R, Arrivillaga J. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. 2008.
13. Castillo M. Determinación de la calidad de agua mediante indicadores físico, químicos y Biológicos en los bofedales de la reserva de producción de Fauna Chimborazo. 2018;
14. Prat N, Ríos B, Acosta R, Rieradevall M. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua. *J Chem Inf Model*. 2009;53(January):160.
15. Padilla L. Caracterización de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores mediante índices para evaluar la calidad del agua en el río Coca parroquia San José de Guayusa. 2017;
16. Springer M. Biomonitorio Acuático. *Rebiol*. 2010;58(2):75–89.
17. Cutipa M. “Evaluación de la calidad de aire en la zona de uso turístico y recreativo- sector Huampal del Parque Nacional Yanachaga Chemilén Usando *Xanthoria parietina*, Como Bioindicadores. Univ Priv Tacna. 2019;
18. Buñay M. Estudio de la calidad del agua de la micro cuenca del Río Tingo mediante la utilización de un índice de calidad del agua (WQI) y la identificación de macro invertebrados como bioindicadores, para el GAD Provincial de Chimborazo. Esc Super Politécnica Chimborazo. 2016;Bachelor:139.
19. Ymas I, Revilla L, Prieto D. Evaluación de la contaminación de la Presa Ejército Rebelde, Ciudad de La Habana, Cuba, mediante el empleo de protozoos como bioindicadores. 2009;37–42.
20. Beltrán T, Campos C. Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja. Univ Nac del Cent del Perú. 2016;206.
21. Saransig R. Estudio de la Calidad de Agua en los Afluentes de la Microcuenca alta del Río Guargualla para determinar las causas de la degradación y Alternativas de manejo. Esc Super Politécnica Chimborazo. 2009;45(1):1–19.
22. Falero S. Variación espacio- temporal trimestral de fitoplancton marino en la plataforma albacora del lote Z1, Provincia de Tumbes-Tumbes, Perú. Univ Ricardo Palma. 2019;



23. Martelo J, Lara J. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ing y Cienc.* 2012;8(15):221–43.
24. Resh V. ¿Qué grupo es el mejor? Atributos de diferentes conjuntos biológicos utilizados en programas de biomonitoreo de agua dulce. Springer. 2008;(2008):131–8.
25. Camargo J, A A. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas Rev científica y técnica Ecol y medio Ambient.* 2005;14(3):10.
26. Molano M, García D. Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, en el cauce del río Guachicos, que surte el acueducto del municipio de Pitalito. *J Chem Inf Model.* 2019;53(9):1689–99.
27. Yungán J. Estudio de la calidad de agua en los afluentes de la microcuenca del Río Blanco para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo. ESPOCH. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2010.
28. Yumbo K, Iler V, Espinoza W, Campos D, Castro R, Chirinos D. Determinación de la calidad de aguas mediante indicadores biológicos y físico-químicos en el Río Pajan, Manabí, Ecuador. *Investigatio [Internet].* 2018;(10):32–40. Available from: <http://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/184>
29. González S, Ramírez Y, Meza A, Dias L. Diversidad De macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín Científico Cent Museos Mus Hist Nat.* 2012;16(2):135–48.
30. Flowers R., De la Rosa C. Ephemeroptera. *Greenl Entomofauna.* 2015;83–4.
31. Basaguren A, Orive E. Los insectos tricópteros como indicadores de la calidad del agua de los ríos de Bizkaia, cuenca del Nerbion. *Kobie Ciencias Nat.* 1991;20:39–44.
32. Ramírez A, Gutiérrez P. Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: Avances recientes y direcciones futuras. *Rev Biol Trop.* 2014;62:9–20.

33. Zúñiga M, Chará J, Giraldo L, Serna A, Pedraza X. Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la región andina colombiana , con énfasis en la entomofauna. *Dugesiana*. 2013;20(2):263–77.
34. Valerio M, Tafur C. Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos en la microcuenca del río Tablachaca (Ancash, Perú). *Rebiol*. 2015;35(2):75–89.
35. Springer M. Trichoptera. *Rev Biol Trop*. 2010;58(4):51.
36. Rodríguez J, Rojas J, Gómez J. Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la microcuenca Dalí-Otún, Departamento de Risaralda, Colombia. *Hidrobiologica*. 2016;26(3):359–71.
37. Cuarán D, Ruiz K. Evaluación del estado trófico en relación a los parámetros físico-químicos y macroinvertebrados bentónicos del lago San Pablo, cantón Otavalo. Universidad Técnica del Norte; 2019.
38. Meza A, Rubio J, Dias L, Walteros J. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasía*. 2012;34(2):443–56.
39. Machado V, Granda R, Endara A. Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos para evaluar la calidad del agua del río Sardinas, Chocó Andino ecuatoriano. *Enfoque UTE*. 2018;9(4):154–67.

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO UPANO PARA ANÁLISIS DE INUNDACIONES

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE UPANO RIVER SUB- BASIN FOR FLOOD ANALYSIS

¹Diego Shagui Miranda*, ¹Mayra Chucay Chacha, ¹Jose Negrete Costales

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Facultad de Ciencias de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Morona Santiago, Macas, Ecuador.

E-mail: diego.shagui@esPOCH.edu.ec

Resumen

La finalidad del presente trabajo es analizar las características morfométricas que presenta la subcuenca del río Upano con ayuda de herramientas SIG, la cual se encuentra ubicada en la Amazonía ecuatoriana en la Provincia de Morona Santiago. Para el análisis del estudio se tomó en consideración nueve parámetros morfométricos: área, perímetro, longitud axial, longitud del cauce principal, longitud total de drenaje, ancho promedio, factor forma, coeficiente de compacidad de Gravelius o índice de Gravelius, densidad de drenaje y sus resultados fueron calculados por medio del software ArcGIS® mediante la herramienta ArcMap®. El área de la subcuenca comprende aproximadamente 6075,54 km² y su cauce principal de 266,73 km de longitud. El coeficiente de compacidad está relacionado con el tiempo de concentración siendo un valor adimensional, teniendo como resultado 1,35 lo cual presenta una forma de oval redonda a oval oblonga. A partir de dicho resultado se realizó una interpretación ambiental por medio del índice de Gravelius y se pudo determinar que la subcuenca del Río Upano es mediana a tendencia a inundaciones.

Palabras claves: características morfométricas, subcuenca, parámetros, índice de Gravelius, densidad de drenaje.

Abstract

The purpose of this work is to analyze the morphometric characteristics that the Upano River sub-basin presents with the help of SIG tools, which is located in the Ecuadorian Amazon in the Morona Santiago Province. For the analysis of the study, nine morphometric parameters were taken into consideration: area, perimeter, axial length, length of the main channel, total drainage length, average width, shape factor, Gravelius coefficient of compactness or Gravelius index, Drainage density and their results were calculated using ArcGIS® software using the ArcMap® tool. The area of the sub-basin comprises approximately 6075.54 km² with its main channel 266.73 km long. The compactness coefficient is related to the concentration time, being a dimensionless value, resulting in 1.35 which presents a round oval to oblong oval shape. From this result, an environmental interpretation was made using the Gravelius index and it was determined that the sub-basin of the Upano River is medium with a tendency to floods.

Keywords: *morphometric characteristics; sub-basin, parameters, Gravelius index, drainage density.*

I. INTRODUCCIÓN

Al inicio de la civilización, el ser humano tuvo la incertidumbre de conocer y predecir algunos sucesos propios de la naturaleza con el propósito de aprovechar y manejar de mejor manera los recursos naturales (1) y con el paso del tiempo, el hombre al incorporar la ciencia y la tecnología pudo lograr establecer hasta cierto punto dichos fenómenos (2).

Actualmente el estudio de las cuencas y subcuencas hidrográficas representa una fuente importante de información (3) que proporciona la base para la planificación del manejo de los recursos

naturales (4), incluyendo estudios hidrológicos, sociales y ecológicos (5).

El funcionamiento de una subcuenca es similar al de un reservorio debido a que capta la precipitación y una parte de ésta pasa a escurrimiento (6), por lo tanto una subcuenca hidrográfica corresponde al territorio que abarca los ríos secundarios que desembocan en un río principal de una cuenca (7) todo este proceso de transformación depende de las condiciones climáticas y de las características físicas que presente la subcuenca (8), incluyendo la naturaleza del suelo y la cobertura vegetal (9). Por lo tanto el análisis morfométrico de una subcuenca es el estudio de variables



lineales, de superficie, relieve y drenaje (6), que determina a su vez las características físicas que presenta la subcuenca (10).

Hoy en día con la ayuda de herramientas metodológicas como los Sistemas de Información Geográfica (11), y la interpretación de imágenes satelitales hacen posible que se pueda caracterizar las propiedades morfométricas de las subcuencas hídricas (6).

El objetivo del presente trabajo de investigación es analizar las características morfométricas que presenta la subcuenca del río Upano para el análisis de inundaciones, el cual se desarrolló con la ayuda de herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La subcuenca del río Upano se encuentra ubicado en la Amazonía ecuatoriana en la Provincia de Morona Santiago.

El río Upano nace del volcán Sangay que atraviesa de Norte a Sur y luego al

Este forma el Río Santiago con la unión del Zamora (12)

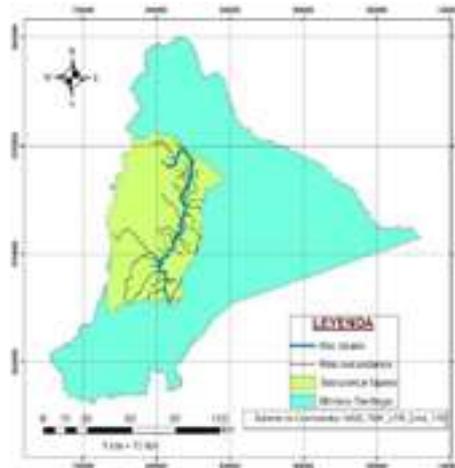


Figura 1. Subcuenca del Río Upano.

La Provincia de Morona Santiago por sus características físicas fluctúa desde los 300 hasta los 2900 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una extensión de 24154,55 km², ubicada en los meridianos 76°05' y 78°58' de longitud occidental paralelos 1°25' y 3°54' al sur de la línea occidental (13).

Su precipitación es de 2500 mm media anual, con una temperatura media de 22°C teniendo un clima tropical y subtropical, las estaciones son poco marcadas distinguiéndose por su cantidad de precipitaciones pluviométricas. La provincia de Morona Santiago abarca un total de 12 cantones (14).

Parámetros morfométricos a considerar en la subcuenca del río Upano

Parámetros de forma

Área [A] (km²): el área de una subcuenca se define como la superficie de proyección horizontal, delimitada por la divisoria de agua (17).

Perímetro [P] (km): es la medición de la línea que encierra el área de la subcuenca por la divisoria de aguas (18).

Longitud axial [La] (km): se determina siguiendo el curso de agua más largo correspondiente al drenaje principal desde la desembocadura hasta su nacimiento en línea recta (19).

Longitud del cauce principal (L): se define como la distancia entre la desembocadura y el nacimiento del cauce siguiendo su trayectoria (20).

Longitud total del drenaje [Ln] (km): corresponde a la sumatoria de la longitud de todas las corrientes que se unen a la subcuenca (21).

Ancho promedio [Ap] (km): se define como la relación entre el área o superficie (A) y la longitud axial de la cuenca (La).

$$Ap = \frac{A}{La} \quad (22)$$

Factor forma (IF): es un factor adimensional que señala como se regula

la concentración del escurrimiento superficial en la subcuenca. Se expresa como la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud axial (23).

$$IF = \frac{Ap}{La} = \frac{A}{La^2} \quad (23)$$

Forma de la subcuenca en relación a la forma Horton

Tabla 1. Relación forma Horton (24,25)

Rango de valores	Forma de la subcuenca
< 0,22	Muy alargada
0,22-0,30	Alargada
0,3-0,37	Ligeramente alargada
0,37-0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45-0,60	Ligeramente ensanchada
0,60-0,80	Ensanchada
0,80-1,12	Muy ensanchada
>1,20	Completamente redonda

Una cuenca con un IF bajo está menos sujeta a eventos torrenciales que una cuenca con el mismo tamaño pero con un IF mayor. Según (26) el máximo valor de este parámetro corresponde a 0,7854 cuando la subcuenca es completamente redonda, y su valor se va acercando a cero a medida que la subcuenca se torna alargada.



Coefficiente de compacidad de Gravelius (Kc): se define como la razón entre el perímetro de la cuenca y el área de la cuenca.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (27)$$

Dónde:

Kc= Coeficiente de compacidad

P= Perímetro

A=Área de la cuenca (km²)

Los valores obtenidos de este índice nunca serán menores a 1, por lo que mientras más cercano es al 1 mostrara una tendencia a concentrar grandes volúmenes de agua (27).

El Kc está relacionado con el tiempo de concentración, es decir el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la subcuenca hasta la desembocadura (28).

Tabla 2. Índice de Gravelius para la evaluación de la forma (29)

Rango de K _C	Forma
1-1.25	Redonda a oval redonda
1.25-1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50-1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Tabla3. Índice de Gravelius para la evaluación de una interpretación ambiental (30)

K _c	Interpretación Ambiental
1-1.25	Alta tendencia a inundaciones
1.25-1.50	Mediana tendencia a inundaciones
1.50-1.70	Baja tendencia a inundaciones
>1.70	Cuencas propensas a la conservación

Parámetro de drenaje

Densidad de drenaje [Dd] (km⁻¹): se define como la longitud total de los cauces dividida entre el área total de drenaje.

$$Dd = \frac{Ln}{A} \quad (6)$$

Dónde:

Ln: longitud total de todos los cauces en km

A: superficie de la cuenca en km²

Tabla 4. Densidad de drenaje (28)

Densidad de drenaje (km/km ²)	Categoría
<1	Bajo
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
>3	Muy alta

Seis de los nueve parámetros establecidos se calcularon mediante el software ArcGIS® por medio de la herramienta ArcMap®. Para calcular los parámetros de área y perímetro se necesitó los comandos de: Calculate Geometry, Measure.

Para este trabajo de investigación no se dispuso de datos de entrada, además no se utilizó imágenes satelitales por la extensa área de estudio y por consiguiente las imágenes no se evidenciaban de manera

III. RESULTADOS

Los resultados morfométricos alcanzados para la subcuenca del río Upano se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultado de los parámetros morfométricos de la subcuenca del Upano

Parámetro morfométrico	Resultado	unidades
Área	6075,54	km ²
Perímetro	376,61	km
Longitud axial	87,43	km
Longitud del cauce principal	266,73	km
Longitud total de drenaje	629,64	km
Ancho promedio	69,49	km
Factor forma	0,79	-
Coefficiente de compacidad de Gravelius	1,35	-
Densidad de drenaje	0,10	km ⁻¹

Luego de realizar los cálculos correspondientes a los parámetros asociados a la forma de la cuenca Tabla 5 el río Upano presenta un área de 6075,54km², un perímetro de 376,61km, una longitud axial de 87,43km, una longitud del cauce principal de 266,73km y un ancho promedio de 69,49km.

El factor forma es un parámetro adimensional por lo que no presenta unidades del cual se obtuvo como resultado un valor de 0,79, por lo tanto la mencionada subcuenca presenta una forma ensanchada en relación a la Tabla 1 en donde se enfatiza la forma de una subcuenca en relación a Horton.

El coeficiente de compacidad (K_c) está relacionado con el tiempo de concentración siendo un valor adimensional que no presenta unidades teniendo como resultado 1,35 lo cual nos representa que el Río Upano presenta una forma de oval redonda a oval oblonga.

Según el índice de Gravelius para la evaluación de la forma Tabla 2, a partir del coeficiente de compacidad podemos realizar una evaluación de una interpretación ambiental Tabla 3, con un valor K_c de 1,35 se determina que el Río Upano es mediana a tendencia a inundaciones.

En el parámetro asociado a la red de drenaje tenemos el parámetro de densidad de drenaje que es un parámetro físico que refleja la dinámica de la cuenca y el tipo de escorrentía superficial obteniendo como resultado un valor de $0,10 \text{ km}^{-1}$ que nos representa una categoría baja de escorrentía según la densidad de drenaje Tabla 4.

IV. DISCUSIÓN

Por medio los resultados del coeficiente de compacidad de Gravelius según la clasificación propuesta por (Meza M, Rodríguez A, Corvacho O, Tapia A., 2014) es considerada de oval redonda a oval oblonga.

Según (Sellers C, Buján S, Corbelle E, Miranda D., 2017) al tener un bajo valor de densidad de drenaje tiende a acumular agua en la superficie de la subcuenca, por lo tanto concuerda con lo que menciona Verdugo, M. en su investigación "Análisis morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el bosque y vegetación protectora Aguarongo (BVPA), influencia en el comportamiento hidrológico" que al tener un bajo valor de densidad de drenaje va a representar un valor característico para ser considerado como mediana en tendencia a inundaciones.

V. CONCLUSIÓN

La subcuenca del río Upano al presentar un valor bajo de la densidad de drenaje hace que tenga un alto tiempo de retención de las precipitaciones, lo que favorece a la formación de los humedales.

La subcuenca estudiada presenta un área de $6075,54 \text{ km}^2$ y un índice de compacidad de $1,35$ lo que se interpreta que es mediana en tendencia a inundaciones.

En la actualidad con el aporte de los Sistemas de Información Geográfica es posible realizar una interpretación de los parámetros morfométricos que intervienen en los estudios de las cuencas y subcuencas, de tal manera que se puede generar respuestas inmediatas.

Este estudio da a conocer aportes considerables e importantes sobre el funcionamiento hidrológico que presenta el río Upano en la Provincia de Morona Santiago, por lo que se podría tomar en consideración los resultados obtenidos para estudios posteriores, teniendo en cuenta que para obtener mejores resultados es adecuado trabajar con áreas pequeñas.

El trabajo de investigación proporciona información relevante a la localidad del Cantón Morona debido a que el Río Upano presenta resultados de mediana en tendencia a inundaciones, por lo

tanto se podrá evidenciar inundaciones siempre y cuando existan precipitaciones considerables.

VI. REFERENCIAS

1. Vásquez C, Herrera D, Gutierrez Y. Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada Tatamaco, del municipio Villavieja del departamento del Huila, mediante el uso de la herramienta HEC-GEOHMS. [Online].; 2014. Available from: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1719/2/DOCUMENTO%20FINAL%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>.
2. Figueroa S, Sánchez G, Vidales A. La ciencia y tecnología en el desarrollo: una visión desde América Latina. [Online].; 2009. Available from: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Mexico/uacp-uaz/20100322012242/CYTED.pdf>.
3. Villota M. Análisis morfométrico de la Cuenca del Río Mulaló utilizando herramientas de SIG. [Online].; 2019. Available from: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/16665/2019mariovillota.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
4. Rodríguez F. Cuencas hidrográficas, descentralización y desarrollo regional participativo. [Online].; 2006. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/666/66612867008.pdf>.
5. Guevara R, Olgún JL, Mancilla O, Barreto O. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquilla, Jalisco-México. [Online].; 2019. Available from: https://www.researchgate.net/publication/338286235_ANALISIS_MORFOMETRICO_D_E_LA_CUENCA_HIDROGRAFICA_DEL_RIO_AYUQUILA_JALISCO-MEXICO.
6. Gaspari F, Rodriguez A, Senisterra G, Denegri G, Delgado M, Basteiro S. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. [Online].; 2012. Available from: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/25777>.
7. Avendaño R. Subcuencas y microcuencas hidrográficas. [Online].; 2016. Available from: <https://es.slideshare.net/kimberlynveronica/subcuencas-y-microcuencas?fbclid=IwAR2HMyyqVk8zsVELZIx7ICpxe5ILyX07xia8u6hpiMbAThPyC9loKiZXDY#:~:text=SUB%20CUENCA%3A%20Son%20los%20r%C3%ADos,alimentan%20a%20los%20r%C3%ADos%20secundarios>.
8. Ramsar M. Manejo de cuencas hidrográficas: Integración de la conservación y del uso racional de los humedales en el manejo de las cuencas hidrográficas. [Online].; 2010. Available from: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-09sp.pdf>.
9. Cruz B, Gaspari F, Rodríguez A, Carrillo F, Téllez J. Investigación y Ciencia. [Online].;

2015. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67441039004>.
10. Cardona BL. Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas. [Online].; 2016. Available from: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>.
 11. Loro M. Cálculo de cuenca vertiente a partir de un DTM. [Online].; 2012. Available from: http://oa.upm.es/19455/1/C%C3%A1lculo_de_cuenca_vertiente_con_ArcGIS_Por_Manuel_Loro_%282012%29_License_Creative_Commons.pdf.
 12. Rostain S, Saulieu Gd. El Pastaza y el Upano, dos rios tropicales que conectan los Andes a la Amazonía. [Online].; 2019. Available from: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers19-08/010076798.pdf.
 13. GADPMS. Información básica de la Provincia de Morona Santiago. [Online].; 2020. Available from: <https://moronasantiago.gob.ec/informacion-de-morona-santiago/#>.
 14. Noguera J. Plan de Marketing Turístico para el Cantón Morona (Macas), provincia de Morona Santiago. [Online].; 2009. Available from: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/1657/1/07326.pdf>.
 15. Juárez I, Crettaz M, Gianello D, Juárez R. Análisis de las características morfométricas de la cuenca hidrográfica del arroyo Santa Bárbara para el diagnóstico ambiental. [Online].; 2017. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Melina_Crettaz_Minaglia/publication/320336304_Aportes_del_analisis_de_las_caracteristicas_morfometricas_de_la_cuenca_hidrografica_del_arroyo_Santa_Barbara_para_el_diagnostico_ambiental/links/59deb38c458515376b29f454/Ap.
 16. IGM. Capas de información geográfica básica del IGM de libre acceso. [Online].; 2017. Available from: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-de-libre-acceso/registro/>.
 17. Aparicio F. Fundamentos de hidrología de superficie. [Online].; 1992. Available from: https://www.academia.edu/8254237/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.
 18. Barrera D, Presutti M. El perímetro de una cuenca hídrica: su tratamiento objetivo en la definición de índices geomorfológicos. [Online].; 2012. Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/84263985.pdf>.
 19. POMCA. Caracterización físico-biota de la cuenca. [Online]. Available from: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5c1a9fcf99956.pdf>.
 20. Gaspari F, Rodríguez A, Senisterra G, Delgado M, Basteiro S. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. [Online].; 2013. Available from: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27877>.

21. Ibáñez S, Moreno H, Gisbert J. Morfología de las cuencas hidrográficas. [Online]. Available from: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>.
22. Anaya O. Caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica Chichao, Distrito de Chinchao, provincia Huanuco, región Huanuco. [Online].; 2012. Available from: https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/CARACTERIZACION%20MORFOMETRICA%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20CHINCHAO%2C%20DISTRITO%20DE%20CHINCHAO%2C%20PROVINCIA%20DE%20HUANUCO%2C.pdf.
23. Jardí M. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. [Online].; 1985. Available from: <https://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/viewFile/45789/56812>.
24. Flores G, Lopez Z, Flores M. Método de análisis morfométrico de la red de drenaje de cuencas. [Online].; 2016. Available from: <https://es.slideshare.net/zulylopezhuachhua/analisis-morfometrico-de-una-cuenca-2>.
25. Strahler A. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Civil Engineering. [Online].; 1957.
26. Londoño C. Cuencas hidrográficas: bases conceptuales-caracterización planificación-administración. [Online].; 2001. Available from: https://www.academia.edu/29394172/CUENCAS_HIDROGR%C3%81FICAS_BASES_CONCEPTUALES_CARACTERIZACION-PLANIFICACION-ADMINISTRACION.
27. Romero A, López F. Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al alto Guadalquivir. [Online].; 1987.
28. Sellers C, Buján S, Corbelle E, Miranda D. Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. [Online].; 2017. Available from: <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>.
29. Meza M, Rodríguez A, Corvacho O, Tapia A. Análisis morfométrico de microcuencas afectadas por flujos de detritos bajo precipitación intensa en la quebrada de Camiña, norte grande de Chile. [Online].; 2014. Available from: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rda/n44/art03.pdf>.
30. Verdugo M. Análisis morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el bosque y vegetación protectora Aguarongo (BVPA), influencia en el comportamiento hidrológico. [Online].; 2017. Available from: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14381/1/UPS-CT007051.pdf>.
31. Rivas D, Moreno M. Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrica de la cuenca del río Metica Auxiliar de investigación. [Online].; 2019. Available from:

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO FUENTE POTENCIAL PARA LA OBTENCIÓN DE NANOCELULOSA

AGROINDUSTRIAL WASTE AS A POTENTIAL SOURCE FOR THE OBTAINING OF NANOCELLULOSE

Jorge Silva-Yumi*, Wendy Peralta Holguin, Carlos Medina Serrano

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Química,
Riobamba, Ecuador

² Grupo de Investigación en Materiales Avanzados, Riobamba, Ecuador

E-mail: *jorge.silvay@esPOCH.edu.ec

Resumen

La presente revisión se enfoca en evaluar la potencialidad de residuos agrícolas producidos en Ecuador (arroz, plátano, maíz, caña de azúcar, piña) como materia prima para la obtención de nanocelulosa. Se realizó una revisión de documentos publicados respecto a la obtención y aplicaciones de nanocelulosa, así como, de las características de los residuos agroindustriales y la producción en Ecuador. La nanocelulosa constituye un nanomaterial versátil, se puede aplicar en áreas como la salud, alimentos, ingeniería, ambiental, electrónica, etc. Las características físico químicas de cada uno de los residuos derivados a partir de la producción de arroz, plátano, maíz, caña de azúcar, piña permite concluir en primera instancia que Ecuador tiene un potencial en la generación de materia para la obtención de nanocelulosa, es necesario sin embargo el desarrollo de investigación básica y aplicada que permita un uso y aprovechamiento de estos residuos con un mayor valor agregado que el que se obtiene actualmente.

Palabras Clave: << Celulosa, nanocelulosa, nanocristales, residuos agrícolas. >>

Abstract

This review focuses on evaluating the potential of agricultural residues produced in Ecuador (rice, banana, corn, sugar cane, pineapple) as raw material for obtaining nanocellulose. A review of published documents regarding the obtaining and applications of nanocellulose was carried out, as well as the characteristics of agro-industrial waste and production in Ecuador. Nanocellulose constitutes a versatile nanomaterial, it can be applied in areas such as health, food, engineering, environmental, electronics, etc. The physical-chemical characteristics of each of the residues derived from the production of rice, banana, corn, sugar cane, pineapple allow

us to conclude in the first instance that Ecuador has a potential in the generation of matter for obtaining nanocellulose, it is However, it is necessary to develop basic and applied research that allows a use and exploitation of these wastes with a greater added value than that currently obtained.

Keywords: << Cellulose, nanocellulose, nanocrystals, agricultural residues. >>

I. INTRODUCCIÓN

En Ecuador el sector agrícola se considera uno de los principales de la economía nacional, pese a esta contribución, la generación de residuos por parte de la agroindustria genera consecuencias ambientales (1).

Debido a las características químicas y biológicas que poseen los residuos agroindustriales, estos se pueden utilizar para diversas aplicaciones como obtención de productos de consumo o extracción de compuestos. Sin embargo, Ecuador no registra un aprovechamiento que genere valor a este tipo de residuos (1).

La extracción de celulosa; un polímero de base biológica (1), desde residuos agroindustriales, a partir de la cual se puede obtener nanocelulosa (NC); un material que tiene un amplio número de aplicaciones: películas, reforzamiento de polímeros, fibras, textiles, en biomedicina, en electrónica, entre otras

(2), puede constituir un aporte al crecimiento económico del país.

La obtención de nanocelulosa a escala industrial a partir de residuos agrícolas, para producir productos de valor agregado es aún un campo de investigación y exploración (3) a nivel mundial y aún más en Ecuador.

El objetivo de esta investigación es analizar si los residuos agroindustriales producidos en Ecuador pueden constituir una fuente potencial para la obtención de nanocelulosa.

II. METODOLOGÍA

Los artículos empleados fueron seleccionados respecto a las características de los residuos agroindustriales, volúmenes de producción, procesos de obtención y aplicaciones de nanocelulosa.

Se inicia con la definición de nanocelulosa y los métodos utilizados en su obtención, posteriormente se revisa algunas de las aplicaciones de la NC en áreas como medicina, electrónica,

ambiente, alimentos. Finalmente se analiza el potencial de los residuos agroindustriales producidos en Ecuador como materia prima para la obtención de nanocelulosa.

III. NANOCELULOSA

La NC es un material celulósico con al menos una de sus dimensiones comprendida dentro de la escala nanométrica (1-100 nm). Existen tres tipos de nanocelulosa: celulosa bacteriana, celulosa nanocristalina y celulosa nanofibrilada (4).

Los diferentes tipos de NC exhiben distintas propiedades que dictan su aplicabilidad y funcionalidad, es decir, ciertos tipos de nanocelulosa son más adecuadas que otros en aplicaciones específicas (5).

Los nanocristales de celulosa son partículas rígidas en forma de varilla que consisten de segmentos de celulosa en una estructura cristalina casi perfecta; (6) poseen diámetros de 3-20 nm (2) y longitudes de 100-1000 nm (7) aunque varían en sus dimensiones según la fuente (2). En comparación con la celulosa macro, que tiene mayores fracciones amorfas, estos nanocristales, exhiben alta resistencia específica, alta área superficial y propiedades cristalinas líquidas únicas (6).

La NC posee una área superficial reactiva con grupos hidroxilo específicos (2) que permiten modificaciones (5) como: sustitución (8), oxidación, esterificación, eterificación, injerto de polímeros (5), etc., que facilitan interacciones con otros compuestos que le otorgan propiedades adicionales.

La NC se puede obtener a través de dos enfoques: de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba por biosíntesis.

El enfoque de arriba hacia abajo consiste en la desintegración de la fibra mediante tratamientos químicos o mecánicos o una combinación de ambos (9), el tratamiento de blanqueo por ejemplo consiste en eliminar la mayor parte de lignina y otros componentes hasta obtener holocelulosa que incluye principalmente hemicelulosa y celulosa (10). La hidrólisis ácida por otra parte involucra la digestión de celulosa, dilución y purificación (11).

El enfoque de abajo hacia arriba a través de biosíntesis incluye la fermentación de azúcares de bajo peso molecular mediante el uso de bacterias (9).

IV. APLICACIONES

La NC ha surgido como un material sostenible con propiedades como: biocompatibilidad, baja densidad, alto

módulo específico, excelente estabilidad en disolventes, baja toxicidad y abundancia natural (12,13) que la hacen apta para aplicaciones que van desde el área de la salud, alimentos, ingeniería, ambiental, hasta la electrónica.

Las solicitudes de patentes sobre NC incluyen materiales compuestos, absorbentes, papel y cartón, productos alimenticios, revestimientos de papel y cartón, cosméticos, artículos de tocador y materiales filtrantes (11).

En el área electrónica la investigación se ha orientado hacia su utilización como polímero en componentes electrónicos por su flexibilidad y baja expansión térmica (14). Al no ser conductora se ha trabajado en enfoques de modificación química o física para preparar materiales conductores (15).

En el área de alimentos, la NC sirve para el desarrollo de materiales compuestos que pueden inhibir el crecimiento de bacterias y hongos con el fin de desarrollar embalajes activos y biodegradables (16).

En el área médica la NC sirve para el desarrollo de hidrogeles biodegradables y no tóxicos que promueven la regeneración celular y que por tanto podrían ser utilizados en vendaje de heridas y reparación de cartílagos (17).

La NC se puede utilizar para la obtención de películas que constituyen

una nueva clase de papel con propiedades mejoradas que integra el componente de sostenibilidad (18). Mediante modificaciones estas películas a base de NC podrían ser utilizadas en el desarrollo de pantallas táctiles, celdas solares y nanogeneradores (19).

En el área ambiental la NC puede ser utilizada para el desarrollo de membranas para el tratamiento de agua debido a su biodegradabilidad y bajo coste, la NC puede constituir la membrana o puede incorporarse en otras como aditivo (20).

La inclusión de una cantidad mínima de NC en una matriz de polímero podría mejorar las características mecánicas del material, en comparación con la matriz del polímero simple (13).

En respuesta a los desafíos energéticos y responsabilidad ambiental, la NC constituye un material versátil para el desarrollo de dispositivos de almacenamiento de energía electroquímica, la NC puede actuar como matriz o como nanorelleno (21)

Las mejoras en su producción y propiedades como: alta área superficial, comportamiento reológico, absorción de agua y ausencia de propiedades citotóxicas facilitan su uso como agente estabilizador, ingrediente alimentario funcional y en envases de alimentos (22).

V. REDIDUOS

AGROINDUSTRIALES

Los residuos o subproductos agroindustriales se generan en cualquier proceso de producción y no poseen utilidad posterior en la cadena de producción (23), son las partes derivadas de los cultivos que no son destinados al consumo humano, entre los que se incluyen: tallos, hojas, cáscaras, semillas, etc., que provienen de cereales, frutas, legumbres entre otros productos (24).

Los residuos agroindustriales son de naturaleza predominantemente sólida y orgánica, rica en polímeros de celulosa y hemicelulosa (entre 75 % y 80 %) (23).

Pequeñas cantidades de los residuos agroindustriales son aprovechados para alimento de animales, obtención de energía por procesos de combustión, preparación de abonos orgánicos, entre otras, sin embargo, la mayor parte de estos son quemados en los campos abiertos causando contaminación ambiental en medios abióticos, bióticos (24) además de problemas socioeconómicos (23).

Se revisan a continuación las características de los principales productos cultivados en Ecuador y de

los cuales se derivan varios residuos producto de su cosecha y utilización.

1. Arroz

Es un cereal que se obtiene a partir de la planta *Oryza sativa* (3) que pertenece a la familia de las gramíneas, considerado el alimento básico para más de la mitad de la población mundial (25).

En el proceso de cosecha se obtiene 1 tonelada de paja de arroz por cada 8 toneladas cultivadas de este cereal (26), luego en el proceso de pilado se obtiene: arroz pilado, polvillo, cascarilla, arrocillo en un 65.3%, 9%, 23.2% y 2.5% respectivamente (27).

La cascarilla de arroz tiene una naturaleza fuerte, leñosa y abrasiva; algunas de las características se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Características de la cáscara y paja de arroz según diferentes autores.

Característica	Cantidad		
Densidad (g/cm ³)	-	-	1.56
Densidad aparente (g/cm ³)	-	-	0.017
Humedad (%)	12.7	-	8.6
pH (suspensión)	-	-	7.00
SiO ₂ (%)	14.3	-	-
Materia Orgánica total (%)	80.3	-	84.9
Relación C/N (%)	-	-	39.5
N (%)	0.93	-	1.03
Lignina (%)	-	3.2-4.4	-
Cenizas (%)	-	16-18	-
P ₂ O ₃ (%)	0.1	-	-
P ₂ O ₅ (%)	-	-	0.32
K ₂ O (%)	1.55	-	2.46
Pb (mg/kg)	0.75	-	-
Cd (mg/kg)	0.12	-	-
Cr (mg/kg)	6.0	-	-
Fuente:	(26)	(28)	(29)

2. Plátano

El plátano pertenece a la familia de las *Musáceas*, nativa de Asia, dentro de

esta familia están: *Musa Cavendish* (bananos) y *Musa paradisiaca* (plátanos).

En la cosecha de los bananos y plátanos solo se utiliza del 20 al 30% de su biomasa dejando un 70 a 80% de residuos sin aplicaciones: el pseudo tallo y raquis o tallo floral, (30) hojas, entre otras. La tabla 2 muestra algunas de las características del pseudo tallo.

Tabla 2 Características del pseudo tallo de plátano

Característica	Cantidad					
	10.00	9.74	-	9.74	-	-
Humedad (%)	10.00	9.74	-	9.74	-	-
Cenizas (%)	1.02	8.65	1.5	8.64	6.75	8.65
Na (%)	-	-	-	-	4.44	-
K (%)	-	-	-	-	9.44	-
Ca (%)	-	-	-	-	13.3	-
Mg (%)	-	-	-	-	2.55	-
P (%)	-	-	-	-	1.37	-
Fe (%)	-	-	-	-	0.03	-
Zn (%)	-	-	-	-	0.08	-
Mn (%)	-	-	-	-	0.01	-
Lignina (%)	5.10	15.07	18.6	15.07	-	19.4
Celulosa (%)	63.20	31.21	63.90	31.26	-	37.8
Hemicelulosa (%)	18.60	14.98	1.3	14.98	-	26.6
Fuente:	(31)	(31)	(31)	(31)	(32)	(33)

3. Maíz

El maíz, *Zea mays L.* es una planta herbácea anual, nativa del hemisferio norte, originaria de México y se cultiva en todo el mundo (34). Las mazorcas, las hojas y los tallos son residuos importantes del procesamiento y consumo de maíz. En la tabla 3 se puede apreciar características de la hoja de maíz.

Tabla 3 Características de la hoja de mazorca de maíz

Característica	Cantidad	
pH	-	5.86
N (ppm)	-	20
Cenizas (%)	0.761	-
K (meq/100ml)	-	0.21
S (ppm)	-	17
P (ppm)	-	83

Ca (meq/100ml)	-	2.5
Mg (meq/100ml)	-	0.61
Lignina (%)	23.00	-
Holoceululosa (%)	78.86	-
Celulosa (%)	43.14	-
Fuente:	(34)	(35)

4. Caña de azúcar

La caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, es una gramínea originaria de la India (36) a partir de esta se obtiene azúcar además de otros tipos de endulzantes y como subproducto el bagazo. Las características del bagazo se pueden visualizar en la tabla 4.

Tabla 4 Características del bagazo de la caña de azúcar según varios autores.

Característica	Cantidad				
Humedad (%)	-	-	4	-	-
Carbono Fijo (%)	-	41.9	28.7-30.7	-	-
Cenizas (%)	1.5-5.0	11.74	1.26	0.51	-
C (%)	-	42.54	48.58	23.48	-
H (%)	-	5.71	5.97	3.28	-
N (%)	-	0.63	0.20	-	-
S (%)	-	0.30	-	-	-
O (%)	-	39.62	38.98	23.23	-
Lignina (%)	19-24	-	-	-	18-26.3
Holoceululosa (%)	59-76	-	-	-	-
Celulosa (%)	32.44	-	-	-	41-55
Hemicelulosa (%)	-	-	-	-	20-27.5
Fuente:	(37)	(38)	(39)	(40)	(41)

5. Piña

La piña (*Ananas comosus*) es una fruta tropical y exótica, durante el procesamiento de esta fruta los desechos de las hojas y cáscaras corresponden a aproximadamente el 50% del peso total (42). La tabla 5 y 6 muestran las características de la hoja y cáscara de piña respectivamente.

Tabla 5 Características de la hoja de piña

Característica	Cantidad
Ceniza (%)	7.37
Pectina (%)	2.32
Lignina (%)	13.88
Celulosa (%)	43.53
Hemicelulosa (%)	21.88
Fuente:	(43)

Tabla 6 Característica de la cáscara de piña

Característica	Cantidad	
Ceniza (%)	1.5	
Pectina (%)	2.49	
Lignina (%)	10.01	10
Celulosa (%)	40.55	74
Hemicelulosa (%)	28.69	
Fuente:	(43)	(44)

En Ecuador los cultivos de arroz, maíz, plátano y caña de azúcar predominan la superficie de hectáreas cultivadas al 2020, los porcentajes en relación al total de áreas cultivadas se pueden visualizar en la Fig. 1.

**Figura 1** Distribución de producción de cultivos en Ecuador **Fuente:** (45)

La nanocelulosa puede obtenerse a partir de una amplia variedad de fuentes de celulosa, como madera, fibras, pastos, animales marinos, algas, hongos, invertebrados y bacterias (11).

El arroz es el cultivo más extenso e importante del Ecuador pues aprovecha más de la tercera parte de la superficie

cultivable (25), con una producción aproximada de 1,350,093 Tm. (46).

Se ha obtenido nanocristales de celulosa mediante hidrólisis ácida a partir de paja de arroz con rendimiento de 90,28% (47), se ha utilizado también cáscara de arroz, observándose diferencias en tamaño, cristalinidad, resistencia y estabilidad térmica, en función de la variedad de arroz utilizada (48).

La producción mundial de bananas es aproximadamente de 105 millones de toneladas al año, en Ecuador la producción estimada corresponde a 6,505,635 Tm (49).

Ecuador produce aproximadamente 1,618, 519 Tm (50) de maíz que genera una cantidad de biomasa residual que fluctúa entre las 20 y 35 toneladas por hectárea y en el maíz de choclo varía de 16 a 25 toneladas por hectárea (34). Onkarappa et al. Obtuvieron nanocelulosa a partir de maíz mediante hidrólisis ácida (51).

La producción mundial de caña de azúcar alcanza aproximadamente 1.450 millones de toneladas con 22 millones de hectáreas de cultivo, es un cultivo muy importante, que va en ascenso debido al incremento poblacional (52). En Ecuador la producción corresponde a 7.502 Tm (53).

La piña en Ecuador registra una producción para exportación de 80.000 Tm (54).

Se ha obtenido también NC a partir de cascarilla de arroz, paja de arroz, fibra y pseudo tallo del plátano, tronco de palma aceitera, bagazo de caña de azúcar (3,7,9), piña (42) y hojas de maíz (55), lo que respalda que los residuos de estos productos pueden ser aprovechados para la obtención de NC.

De las características de los residuos agrícolas revisadas en las tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 y del volumen de producción de estos productos en Ecuador se puede decir que estos constituyen una fuente potencial para la obtención de NC.

VI. CONCLUSIONES

Las características de los residuos agroindustriales que muestran diversidad de contenido y concentraciones de materiales lignocelulósicos procedentes de la producción de arroz, azúcar, maíz, plátano y piña permiten concluir que

son aptos para ser aprovechados en la obtención de nanocelulosa.

Ecuador cuenta con una potencial materia prima a ser valorizada que permitan un mayor rédito económico a los productores de estos recursos o la generación de empresas dedicadas al tratamiento de estos residuos para la obtención de nanocelulosa.

Es necesario impulsar el desarrollo de investigación básica y aplicada en torno a la obtención de nanocelulosa a partir de los residuos agroindustriales revisados en este artículo.

VII. AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación en Materiales Avanzados de la ESPOCH.

VIII. COMPLICACIONES DE INTERÉSES

No existen intereses particulares por parte de los autores o de la entidad científica que pudiesen afectar directa o indirectamente a los resultados.

IX. REFERENCIAS

1. Riera MA, Maldonado S, Palma R. Residuos Agroindustriales generados en Ecuador para la Elaboracion de bioplásticos. Rev Ing Ind. 2018;227–46.
2. Pech SC. Obtención y modificación de nanocristales de celulosa de residuos de Agave Tequilana Weber para la producción de nanorefuerzos para Poli (ácido

- láctico). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.; 2018.
3. Kaur M, Kumari S, Sharma P. Chemically Modified Nanocellulose from Rice Husk : Synthesis and Characterisation. AIR. 2018;13(3):1–11.
 4. Thomas P, Duolikun T, Rumjit NP, Moosavi S, Lai CW, Bin Johan MR, et al. Comprehensive review on nanocellulose: Recent developments, challenges and future prospects. J Mech Behav Biomed Mater. 2020;110.
 5. Abitbol T, Rivkin A, Cao Y, Nevo Y, Abraham E, Ben-Shalom T, et al. Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications. Curr Opin Biotechnol. 2016;39:76–88.
 6. Belitz H-D (Hans-D, Grosch W (Werner), Schieberle P. Food Chemistry. Springer-Verlag; 2009.
 7. Pereira B, Arantes V. Nanocelluloses From Sugarcane Biomass. In: Advances in Sugarcane Biorefinery: Technologies, Commercialization, Policy Issues and Paradigm Shift for Bioethanol and By-Products. São Paulo: Elsevier; 2018. p. 179–96.
 8. Castro F, Delgado F. La nanocelulosa : propiedades y aplicaciones. 2016.
 9. Ilyas RA, Sapuan SM, Ibrahim R, Atikah MSN, Atiqah A, Ansari MNM, et al. Production, Processes and Modification of Nanocrystalline Cellulose from Agro-Waste: A Review. Nanocrystalline Mater. 2020;
 10. Phanthong P, Reubroycharoen P, Hao X, Xu G, Abudula A, Guan G. Nanocellulose: Extraction and application. Carbon Resour Convers. 2018;1(1):32–43.
 11. Blanco A, Monte, M C, Campano C, Balea A, Merayo N, Negro C. Nanocellulose for Industrial Use: Cellulose Nanofibers (CNF), Cellulose Nanocrystals (CNC), and Bacterial Cellulose (BC). In: Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications. Elsevier Inc.; 2018. p. 74–126.
 12. Jose J, Thomas V, Vinod V, Abraham R, Abraham S. Nanocellulose based functional materials for supercapacitor applications. J Sci Adv Mater Devices. 2019;4(3):333–40.
 13. Mishra RK, Sabu A, Tiwari SK. Materials chemistry and the futurist eco-friendly applications of nanocellulose: Status and prospect. J Saudi Chem Soc. 2018;22(8):949–78.
 14. Tayeb P, H. Tayeb A. Nanocellulose applications in sustainable electrochemical and piezoelectric systems: A review. Carbohydr Polym [Internet].

- 2019;224(July):115149.
15. Du X, Zhang Z, Liu W, Deng Y. Nanocellulose-based conductive materials and their emerging applications in energy devices - A review. *Nano Energy*. 2017;35:299–320.
 16. Maliha M, Herdman M, Brammananth R, McDonald M, Coppel R, Werrett M, et al. Bismuth phosphinate incorporated nanocellulose sheets with antimicrobial and barrier properties for packaging applications. *J Clean Prod* [Internet]. 2020;246:119016. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119016>
 17. Curvello R, Raghuwanshi VS, Garnier G. Engineering nanocellulose hydrogels for biomedical applications. *Adv Colloid Interface Sci* [Internet]. 2019;267:47–61. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.03.002>
 18. Mu R, Hong X, Ni Y, Li Y, Pang J, Wang Q, et al. Recent trends and applications of cellulose nanocrystals in food industry. *Trends Food Sci Technol*. 2019;93(September):136–44.
 19. Fang Z, Hou G, Chen C, Hu L. Nanocellulose-based films and their emerging applications. *Curr Opin Solid State Mater Sci* [Internet]. 2019;23(4):100764.
 20. Tan HF, Ooi BS, Leo CP. Future perspectives of nanocellulose-based membrane for water treatment. *J Water Process Eng* [Internet]. 2020;37(May):101502.
 21. Guo R, Zhang L, Lu Y, Zhang X, Yang D. Research progress of nanocellulose for electrochemical energy storage: A review. *J Energy Chem*. 2020;51:342–61.
 22. Gómez H. C, Serpa A, Velásquez-Cock J, Gañán P, Castro C, Vélez L, et al. Vegetable nanocellulose in food science: A review. *Food Hydrocoll* [Internet]. 2016;57:178–86.
 23. Vargas Y, Pérez L. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Rev Fac ciencias Básicas*. 2018;1(1).
 24. Arias R, Meneses J. Caracterización residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua; 2016.
 25. CFN. Ficha sectorial: Arroz. 2018.
 26. Abril D, Navarro E, Abril A. La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento. *Rev la Fac Agron*. 2009;17:69–79.
 27. Vargas J, Alvarado P, Vega-Baudrit J, Porras M. Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *Rev Científica*. 2013;23(1).

28. Bartaburu D, Montes E, Pereira M. Utilización de la paja de arroz en la alimentación animal. Sitio Argentino Prod Anim.
29. UPU. Paja de arroz.
30. Mazzeo M, Libardo L, Luis M, Guerrero L, Botero J. Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas. *Rev Educ en Ing.* 2010;128–39.
31. Subagyo A, Chafidz A. Banana Pseudo-Stem Fiber: Preparation, Characteristics, and Applications. In: *Banana Nutrition - Function and Processing Kinetics*. IntechOpen; 2020.
32. Thorat R, Bobade H. Utilization of banana pseudo stem in food applications. *Int J Agric Eng.* 2018;11:86–9.
33. Carchi D. Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de Banano para obtener Nanocelulosa. Universidad de Cuenca; 2014.
34. Prado-Martínez M, Anzaldo-Hernández J, Becerra-Aguilar B, Palacios-Juárez H, Vargas-Radillo J, Rentería-Urquiza M. Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y Bosques.* 2012;18(3):37–51.
35. Guacho E. Caracterización Agro-morfológica del maíz (*Zea mays* L.) localidad San José de Chazo. [Riobamba]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2014.
36. Rosales C. Evaluación de tres frecuencias de riego con polietileno, en suelo arcilloso, sobre el crecimiento y rendimiento de caña de azúcar. Universidad Rafael Landívar; 2013.
37. Prado K, Spinacé M. Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from pineapple crown waste and their potential uses. *Int J Biol Macromol.* 2018;
38. Antolin G, Oliva Deny. Caracterización del bagazo de caña de azúcar mediante Análisis Térmico. *Inf Tecnológica.* 2003;91–6.
39. Manals-Cutiño E, Penedo-Medina M, Salas-Tort D. Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal. *Tecnología Química.* 2015;
40. Diaz R. Caracterización energética del bagazo de caña de azúcar del ingenio Valdez. Ecuador. Riobamba; 2008.
41. Teixeira S, Arenales A, Eunice De Souza A, Da Silva Magalhães R, Vilche A, Aquino D, et al. Sugarcane bagasse: Applications for energy production and ceramic materials. *J Solid Waste Technol Manag.* 2015 Aug;41(3):229–38.

42. Madureira A, Atatoprak T, Cabuk D, Sose F, Pullar R, Pintado M. Extraction and Characterisation of Cellulose Nanocrystals from Pineapple Peel. *Int Journal of Food Stud.* 2018;7(April):24–33.
43. Sánchez M, Ramos M, Mora R, Jimenéz E. Chemical Characterisation of the Industrial Residues of the Pineapple (*Ananas comosus*). *J Agric Chem Environ.* 2014;3:53–6.
44. TICSO. Aprovechamiento residuos biomasa de producción de piña (*ananas comosus*) para municipio de aguazul casanare. 2014.
45. Ganadería M de A y. Superficie de principales cultivos a nivel nacional [Internet].
46. CFN. Ficha Sectorial: Arroz. 2020.
47. Thakur M, Sharma A, Ahlawat V, Bhattacharya M, Goswami S. Process optimization for the production of cellulose nanocrystals from rice straw derived α -cellulose. *Mater Sci Energy Technol.* 2020;3:328–34.
48. Rashid S, Dutta H. Characterization of nanocellulose extracted from short, medium and long grain rice husks. *Ind Crops Prod* [Internet]. 2020;154(May):112627.
49. CFN. FICHA SECTORIAL : Bananos y plátanos. 2020.
50. El comercio. Se fijó en \$14,60 el saco del maíz amarillo duro, \$0,65 menos que en 2019. 2020.
51. Onkarappa HS, Prakash GK, Pujar GH, Rajith Kumar CR, Radha V, Betageri VS. Facile synthesis and characterization of nanocellulose from *Zea mays* husk. *Polym Compos.* 2020;41(8):3153–9.
52. Matute M. Caracterización físico-química del jugo de cinco variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la hacienda el Jardín. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López; 2016.
53. CFN. Ficha Sectorial: Azúcar. 2020.
54. Espinoza MV. Ecuador exporta piña dulce a Europa y América. Líderes [Internet]. 2017;8–10.
55. Yang X, Han F, Xu C, Jiang S, Huang L, Liu L, et al. Effects of preparation methods on the morphology and properties of nanocellulose (NC) extracted from corn husk. *Ind Crops Prod* [Internet]. 2017;109(November 2016):241–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.032>

ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO DE SUBRASANTE BLANDO CON RESIDUO DE CONCRETO FINO

EXPERIMENTAL STUDY ON STABILIZATION OF SOFT SUBGRADE SOIL WITH CONCRETE FINE FRACTION WASTE

¹Sara del Rocio Ochoa Averos, ²Julio César Bizarreta-Ortega

^{1,2}Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura y Território, Foz de Iguazu, Brasil

E-mail: ¹rocioochoa_1996@hotmail.com, ²julio.ortega@unila.edu.br

Resumen

El reaprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) es una práctica sustentable que en los últimos años se viene investigando con gran intensidad alrededor del mundo. Los residuos de concreto son una parte de los RCD, cuya aplicación en pavimentos aún está en desarrollo. En ese contexto, este artículo pretende evaluar el uso de residuos de concreto de fracción fina (RC-fino), con partículas menores a 2mm, para mejorar un suelo de subrasante blando de origen residual. Para tal finalidad, han sido analizadas sus características físicas, parámetros de compactación Relación de Soporte de California (del inglés California Bearing Ratio, CBR), tanto del suelo natural como de las mezclas con RC-fino en proporciones de 20, 40 y 60% en peso. Los resultados muestran que al adicionar RC-fino, los valores de los límites de Atterberg, la densidad específica de los sólidos, el contenido de humedad óptimo y la expansión disminuyen; mientras que la densidad seca máxima y CBR aumentan. Los resultados de expansión y CBR de la mezcla de suelo con RC-fino, muestran valores aceptables para el refuerzo de subrasante, en conformidad con las normas brasileñas de carreteras.

Palabras Clave: Estabilización de subrasante. Residuo concreto fino. CBR.

Abstract

The reuse of construction and demolition waste (CDW) is a sustainable practice that in recent years has been investigated with great intensity around the world. Concrete waste are a part of the CDW, whose application in pavements is still under development. In this context, this article aims to evaluate the use of concrete fine fraction waste (CW-fine), with particles smaller than 2mm, to improve a soft subgrade soil of residual origin. For this purpose, their physical characteristics, the compaction and California Bearing Ratio (CBR) have been analyzed, both of the natural soil and of the mixtures with CW-fine in proportions of 20, 40 and 60% by weight. The results show that when adding CW-fine, Atterberg limits, specific gravity of solid particles, optimum moisture content and expansion, decrease; while the maximum dry density and CBR increase. The expansion and CBR results of the soil mixture with CW-fine show acceptable values for the subgrade reinforcement, in accordance with Brazilian paving standards.

Keywords: *Subgrade stabilization. Concrete fine fraction waste. CBR*

I. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción de 40 países, en el año 2012 ha sido responsable por una generación anual de más de 3mil millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD), siendo uno de los principales contribuyentes de emisión constante de dióxido de carbono a la atmósfera (1, 2).

De acuerdo con el Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil, en su resolución nº 307, el 05 de julio del 2002, los RCD o popularmente llamados como escombros de obras, están compuestos por materiales generados en esta actividad, tales como: ladrillos, bloques cerámicos, concretos, acero, suelo, madera, pavimentos asfálticos, etc. (3, 4, 5). En este país, la estimativa generada de RCD es 150kg/m² de área construida y 600kg/m² en demoliciones (4, 6). De los cuales, los servicios de limpieza municipales recolectaron aproximadamente 122 mil toneladas de RCD/día en el 2018 (5). Sin embargo, las cantidades generadas de residuos no corresponden al total de residuos producidos, debido a los aterros clandestinos que reciben una cantidad ignorada de escombros (7), así como otras formas clandestinas de deposición inadecuada. Las deposiciones irregulares son punto de

proliferación de transmisores de enfermedades como Leptospirosis, además de generar contaminación, pudiendo ocasionar sedimentación y obstrucción en los recursos hídricos (4, 7, 8).

En el modelo de construcción tradicional son normalmente utilizadas materias primas no renovables, y debido al crecimiento poblacional el consumo de residuos se transforma en un problema urbano (4). Por lo que es importante la búsqueda de técnicas constructivas para materiales reciclados, más eficientes y menos agresivos con el entorno debido a las limitaciones del ecosistema (4, 9).

Para conseguir esta transformación del ciclo productivo, es necesario un concepto multidisciplinar, junto con cambios culturales, educación ambiental y sistemáticos (4). Las investigaciones del sector académico han sido importantes para analizar las posibles aplicaciones de los residuos reciclados de concreto en pavimentos, a través del análisis de estabilización química y física de partículas de la fracción fina. Entre los investigadores de esta mencionada área encontramos: Kerni, Sonthwal y Jan (10) que utilizaron residuos de concreto (RC) menores a 1.18mm mejorando la densidad de empaque de masa del suelo y la

capacidad de soporte; Paul y Cyrus (11) utilizaron RC menores a 20mm mejorando el CBR de 3.5% de suelo natural a 11.2% con 40% de RC, mientras Lovedeep, Shahbaz y Gill (12) utilizaron RC inferiores a 1.76mm incrementando el CBR de 6.56% de suelo natural a 29.19% con 40% de residuos de concreto

Al revisar informes de investigaciones geotécnicas de empresas privadas muestran algunas regiones del local de estudio, Foz do Iguazú-PR, que presentan suelos con baja capacidad de soporte, por lo que es necesaria una estabilización para el uso en pavimentación. Por otra parte, según datos de la municipalidad, solo en el año 2018 se registró una producción aproximada de 210 mil toneladas de residuos inertes, de los cuales aproximadamente el 80% son RCD. El aprovechamiento de estos residuos en la estabilización de los suelos residuales blandos, en la región de Foz de Iguazú, ya sea en conjunto (el RCD), o por componente individual, tal como, el residuo de concreto (RC), es una alternativa de solución sustentable que necesita de mayores investigaciones para una futura aplicación.

En este contexto el presente trabajo tiene como finalidad evaluar la posibilidad de

uso de los residuos de concreto de fracción fina (RC-fino) en la estabilización de suelos de subrasantes, contribuyendo al entendimiento para aplicación de RC-fino en suelos residuales de origen basáltico, como los existentes en Foz de Iguazú.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología tiene carácter experimental y ha sido dividida en las siguientes etapas: adquisición del material, beneficiamiento del RC para obtener RC-fino, dosificación de suelo con los diferentes porcentajes de RC-fino, caracterización física y ejecución de los ensayos de compactación y CBR, tanto del suelo natural como de las mezclas.

Las muestras deformadas del suelo residual han sido extraídas en el Campo Experimental del Grupo de Pesquisa en Geotecnia de la UNILA (25°28'38.1"S,54°35'12.3"W), mediante una calicata de 80 centímetros de profundidad; han sido transportadas en sacos de tela y almacenadas en la cámara húmeda a una temperatura de 20 a 24°C. Las muestras de RC han sido obtenidas en el vertedero de inertes de Foz de Iguazú (25°27'48.1"S,54°36'22.3"W), dando preferencia a escombros de



concreto sin restos contaminantes, tales como: yeso y suelo; posteriormente almacenadas en sacos de tela y transportadas al Instituto Federal de Paraná (IFPR) para el proceso de beneficiamiento.

El beneficiamiento del residuo de concreto fue realizado con la Máquina de Abrasión de Los Ángeles, donde el material ha sido sujeto a choques con seis esferas de acero inoxidable por un tiempo de 6 horas, que tienden a reducir el tamaño de las partículas. El agregado resultante ha sido tamizado por una malla con abertura de 2mm, produciendo de esa forma el RC-fino. En la figura 1 se presentan los materiales estudiados, finalmente preparados antes de la ejecución de los ensayos.



Figura 1. Materiales analizados: a) suelo residual basáltico b) RC-fino

Los ensayos de caracterización del suelo y suelo/RC-fino han sido realizados en conformidad con las Normas Técnicas Brasileñas (NBR). Los ensayos realizados fueron: densidad específica de los sólidos (δ) (13), límite líquido (LL) (14) y límite plástico (LP) (15).

El ensayo de granulometría para las partículas finas ha sido realizado a través del granulómetro a láser de marca CILAS, modelo 1190, bajo la normativa ISO 13220 (16). La lectura de los granos por el granulómetro comprende de 0.04 a 2500 μm con un índice de oscurecimiento medio de 25%. Ha sido utilizada agua desionizada, con un tipo de dispersante que depende del pH de la muestra. Para muestras alcalinas se ha utilizado hexametáfosfato de sodio a una concentración de 45.7g/L, mientras para muestras ácidas se ha utilizado hidróxido de sodio con una concentración de 1mol/L (17).

Han sido preparadas muestras de suelo con adición de 20, 40 y 60% RC-fino. Las mezclas fueron cuantificadas en proporciones de peso de sólidos, para lo cual ha sido necesario la medición de las humedades higroscópicas iniciales del suelo y RC-fino, y a partir de estos valores se calculó el peso húmedo y la respectiva proporción del peso de sólidos de cada material.

El ensayo de compactación ha sido realizado de acuerdo con la NBR 7182 (18), usando un martillo automático de la marca AMC, usando energía normal, cilindro pequeño y reutilización del material. Posteriormente se realiza el ensayo de CBR con base en la NBR 9895

(19) para todas las misturas, incluyendo el suelo natural. El control de la expansión del cuerpo de prueba sumergido en agua por 7 días, con lecturas en extensómetros cada 24 horas (19). El aumento del tiempo sumergido en agua se debe a la posibilidad de actividad cimenticia de los residuos de concreto fino.

Los sistemas de clasificación utilizados son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema de la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO), detalles sobre estos sistemas pueden ser consultados en (20).

III. RESULTADOS

Los valores de densidad específica de los sólidos y límites de Atterberg son presentados en la figura 2. La densidad específica de los sólidos del suelo es 2.80g/cm^3 , mientras la del RC-fino es 2.62g/cm^3 . El incremento del porcentaje de RC-fino en las mezclas disminuye el valor de la densidad específica de los sólidos y los límites de Atterberg. La adición de 60% de residuo torna la mezcla no plástica.

En la figura 3 se presentan las curvas granulométricas de los materiales estudiados, las mismas que muestran una tendencia al aumento de las partículas y

disminución del porcentaje de finos con la adición de RC-fino, es decir se desplazan hacia la derecha y abajo.

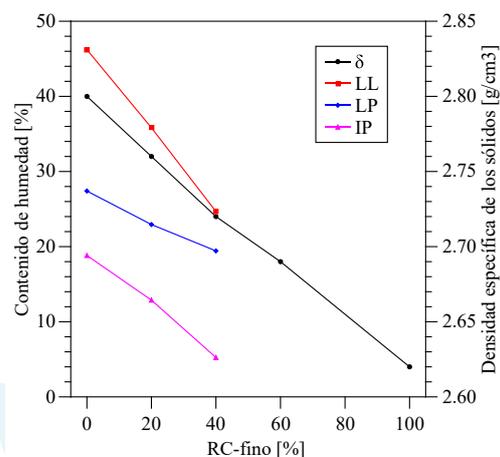


Figura 2. Densidad específica de los sólidos y límites de Atterberg de las muestras

Los resultados de clasificación por SUCS son los siguientes: el suelo es una arcilla de baja plasticidad con arena (CL), y el residuo de concreto es una arena mal graduada con limo (SP-SM). Las mezclas con 20, 40 y 60% de residuo de concreto tienen la siguiente clasificación respectivamente: arcilla de baja plasticidad arenosa (CL), arcilla limo-arenosa (CL-ML) y arena limosa (SM). La clasificación del suelo el sistema AASHTO es A-7-6(13), y del RC-fino es A-3(0). Mientras las mezclas de suelo con 20, 40 y 60% de residuo de concreto pertenecen a las clases A-6(7), A-4(3), y A-2-4(0).

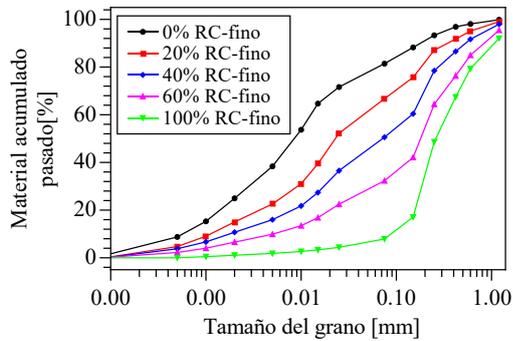


Figura 3. Curvas de granulometría de los materiales

La Figura 4, muestra los resultados de compactación de los materiales estudiados. Al adicionar residuos de concreto fino, las curvas tienden a aumentar la densidad seca máxima y disminuir el contenido de humedad óptima de las mezclas.

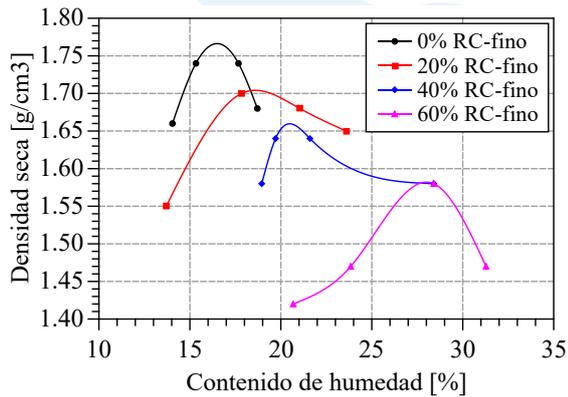


Figura 4. Compactación de las muestras

En la tabla 1 se muestra que la adición de residuos de concreto al suelo reduce el porcentaje de expansión, y con 60% de RC-fino adicionado la expansión es prácticamente nula.

En la fig. 5 se comparan los valores obtenidos del CBR de suelo con los diferentes porcentajes de residuos de concreto. Se observa que conforme se va aumentando el porcentaje de RC-fino

aumenta el valor del CBR. En comparación con el CBR del suelo, existe un aumento de 6 veces con el 20%, 12 veces con el 40%, y 17 veces con el 60% de RC-fino. Mayores detalles sobre los calculos del CBR se encuentran en (21).

Tabla 1. Verificación de la expansión de los materiales

RCD- C fino [%]	expansión [%]
0	1.23
20	0.34
40	0.13
60	0.01

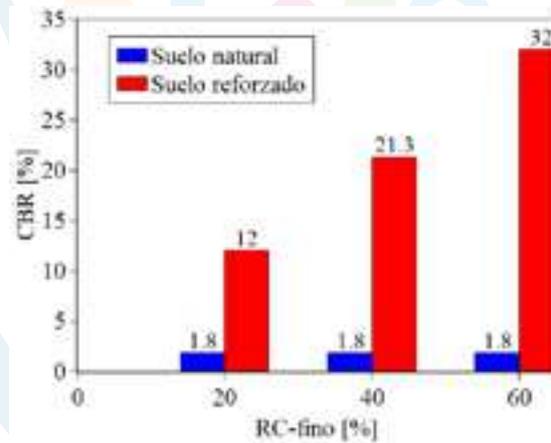


Figura 5. Comparación entre los valores de CBR

IV. DISCUSIÓN

En la literatura varía el resultado de la densidad específica de los sólidos del RC debido a la heterogeneidad del material y tamaño de las partículas que están siendo analizadas, como se muestran en las investigaciones (2) y (22). El valor

encontrado para RC-fino se encuentra dentro del intervalo de la literatura revisada. No obstante, al mezclar el RC-fino con el suelo, el comportamiento va a depender de la proximidad de las densidades específicas de los sólidos de los materiales originales, pudiendo generar una variación mínima o lineal de este parámetro (23).

La tendencia de reducción del límite líquido y el índice de plasticidad con la adición de residuos de concreto fino ha sido observado en la literatura, por ejemplo, en (23). Este efecto, también es encontrado al adicionar cemento al suelo (24). Al parecer el cemento tiene la acción de reducir la plasticidad de los suelos arcillosos, y el RC-fino puede contener fracciones de cemento, que justificaría su acción estabilizadora.

A pesar del proceso de beneficiamiento del residuo de concreto, las partículas de RC-fino son mayores al del suelo analizado, lo que explica la tendencia de las curvas granulométricas al incremento de partículas gruesas y disminución de porcentaje de finos (limo y arcilla) con la adición de RC-fino, un ejemplo similar se encuentra en (23). Sin embargo, esta característica no se observa cuando la curva de distribución granulométrica del suelo y el RC-fino, al presentar poca diferencia (25).

Según la clasificación de AASTHO el suelo presenta características de regular a malo para ser aplicado como subrasante. Sin embargo, al adicionar RC-fino este calificativo pasa a ser de excelente a bueno. Los parámetros reducidos de plasticidad y aumento del tamaño de las partículas, contribuye a mejores condiciones como material de subrasante.

El aumento en la densidad seca máxima y una disminución del óptimo contenido de humedad con la adición de RC-fino, puede estar relacionado con una mejoría en las condiciones de compactación cuando existen una granulometría más graduada. Comportamientos similares han sido observados en la literatura, por ejemplo, en (23). La adición de cemento en la mezcla con suelo también presenta un comportamiento semejante, según el trabajo de (24). Sin embargo, existe resultados que muestran comportamientos diferentes cuando la adición de residuos de concreto es de 50 y 60% (11).

La expansión del suelo cumple con el valor mínimo exigido por las normas brasileñas de transporte, que es de 2% como mínimo (26). La reducción de la expansión por efecto de la adición de RC-fino al suelo fue observado también al usar cemento como agente

estabilizador de subrasante, por ejemplo (24). La reducción de este parámetro puede estar relacionada a efectos de estabilización química del RC-fino durante los siete días de cura, potencialmente generada por partículas remanentes del cemento presentes en el residuo de concreto fino que al ser hidratadas reaccionan con las partículas del agua, generando un endurecimiento en toda la mezcla (10, 11, 12).

El suelo estudiado no cumple con las exigencias mínimas de CBR para materiales de subrasante, establecidas por las normas brasileñas de transporte (26). No obstante, al adicionar RC-fino, el material satisface los requisitos, y viabiliza su uso como subrasante, es decir funciona como un aditivo estabilizador, así como el cemento o la cal, que fueron estudiados en (26). Tendencias similares han sido observadas en la literatura, como es presentado por (11, 12). Resultados opuestos, es decir, disminución del CBR al incrementar residuo, fueron encontrados con 40% de RCD (27). El incremento del CBR puede estar relacionada la estabilización química cuando existe material de cemento activo en el interior de los residuos de concreto, y física cuando la distribución

granulométrica favorece las condiciones de compactación.

V. CONCLUSIONES

El suelo residual estudiado ha sido clasificado con características pobres para ser utilizado como subrasante. La adición de residuo de concreto de fracción fina (RC-fino) al mencionado suelo, mejora sus propiedades de expansión, CBR, y otras. Viabilizando su aplicación como material de subrasante, de acuerdo con las normas brasileñas (DNIT). Los estudios abarcan adiciones de residuos de concreto de 20% a más; adiciones menores todavía no fueron investigadas. Futuras investigaciones pueden incluir análisis de viabilidad económica, análisis mineralógicos y la ejecución de ensayos con tiempo de cura mayores.

VI. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación PID2530-2020 de la UNILA. Los autores agradecen la colaboración de las siguientes instituciones: Instituto Federal de Paraná (Campus Foz de Iguazú) y Colegio Estadual Prof. Flavio Warken.

VII. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses en la publicación.

VIII. REFERENCIAS

1. Akhtar A, Sarmah A. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: a global perspective. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 186: 262-281.
2. Oliveira T, Dezen B, Possan E. Use of Concrete Fine Fraction Waste As A Replacement Of Portland Cement. *Journal of Cleaner Production*. 2020: 123126.
3. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 467, de 16 de julho de 2015. *Diário Oficial da União*, 2015.
4. John V, Agopyan V. Reciclagem de resíduos da construção. En: *Secretaria de Estado do Meio Ambiente / Cetesb, editores. Seminário- Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares*; 2000; São Paulo.
5. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019*. 2019.
6. Pinto T. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana [tesis doctoral]. São Paulo: USP; 1999.
7. Schneider D. Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo [tesis de maestría]. São Paulo: USP; 2003.
8. Motta R. Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego [tesis doctoral]. São Paulo: USP; 2005.
9. Soncim S, Júnior G, Júnior M, de Almeida M, de Almeida S, Vidal F. O emprego do resíduo da reciclagem de garrafas PET (Polietileno Tereftalato) como agregado em reforço de subleitos de rodovias. *IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*; 2004; Porto Alegre.
10. Kerni V, Sonthwal V, Jan U. Review on stabilization of clayey soil using fines obtained from demolished concrete structures. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2015; 4: 296-299.
11. Paul H, Cyrus S. Stabilization of Weak Subgrade Soil Using Demolished Concrete Aggregate. *Indian Geotechnical Conference IGC*. 2016; 2: 93-105.

12. Singh L, Singh S, Gill K. Improvement in CBR Value of Soil using Waste Concrete Fines. *International Journal of Science Technology & Engineering*. 2017; 3.
13. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4.8mm: Determinação da massa específica. 1984.
14. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6459: Solo: Determinação do limite de liquidez. 2016.
15. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7180: Solo: Determinação do limite de plasticidade. 2016.
16. International Organization for Standardization. ISO 13220: particle size analysis: laser diffraction methods. 2009.
17. Mauri J, Ruiz H, Fernandes R, Ker J, Rezende L. Dispersantes químicos na análise granulométrica de latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2011; 35: 1277-1284.
18. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação. 2016.
19. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 9895: Índice de Suporte de California: Requisitos. 2016.
20. Das B. Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. 7 ed. México: Cengage Learning; 2012.
21. Ochoa Averos S. Estudio experimental sobre la estabilización de una subrasante limo-arcillosa con RCD-concreto fino (partículas < 2mm) para aplicación en pavimentos [Trabajo de Conclusión de Curso]. Foz de Iguazú: UNILA; 2019.
22. Favaretto P, Hidalgo G, Sampaio C, Silva R, Lermen R. Characterization and use of construction and demolition waste from South of Brazil in the production of foamed concrete blocks. *Applied Sciences*. 2017; 7: 1090.
23. Silva A, Fucale S, Ferreira S. Efeito da adição de resíduos da construção e demolição (RCD) nas propriedades hidromecânicas de um solo areno-argiloso. *Matéria*. 2019; 24.
24. Joaquim A. Estudo de dois solos tropicais melhorados com cimento ou cal para emprego em camadas superiores de estradas não pavimentadas [tesis de maestría]. Campinas: UNICAMP; 2017.
25. Santos, E. Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclado (RCD-R) em estruturas de solo reforçado [tesis doctoral]. São Paulo: USP; 2007
26. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT). Manual de pavimentação. 2006.
27. Luz C, da Silva Sales N, da Silva Sales N. Análise da mistura do agregado reciclado de RCD associado ao solo laterítico para utilização na camada de base de pavimentos. 9º Forum Internacional de Resíduos Sólidos; 13 a 15 de Junho de 2019; Porto Alegre.

INNOVACIÓN PEDAGÓGICA A TRAVÉS DEL USO DE PORTAFOLIOS ELECTRÓNICOS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR

PEDAGOGICAL INNOVATION THROUGH THE USE OF ELECTRONIC PORTFOLIOS IN HIGHER EDUCATION

¹Ximena Elizabeth Naranjo Lozada *, ²Silvia Elizabeth Cárdenas Sánchez, ³Jessica Valentina Galimberti

¹ Universidad Técnica de Ambato, Centro de Idiomas, Ambato, Ecuador

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador

E-mail: *silvia.cardenas@epoch.edu.ec

Resumen

El uso de portafolios electrónicos implica procesos y dedicación tanto del estudiante como del docente para poder elaborar el producto final que demuestre el desarrollo y crecimiento del alumno en la asignatura y se promueva una evaluación tanto formativa como sumativa. A través del siguiente estudio se plantea conocer si los estudiantes consideran el uso de los portafolios electrónicos adecuados en la enseñanza del inglés en la educación superior. Además, se pretende entender las implicaciones que tiene la elaboración de portafolios electrónicos en base a las experiencias obtenidas durante el semestre en el cual se ejecutó la estrategia. El presente estudio cualitativo se realizó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago durante el periodo académico especial abril - agosto 2020. Es importante mencionar que se optó por el uso de la aplicación Pathbrite para elaborar el portafolio ya que con esta herramienta se puede añadir videos, texto, imágenes y otras direcciones o páginas web para elaborar el portafolio. A través de la encuesta también se pudo conocer cómo influyó en el crecimiento personal y en el mejoramiento del nivel de inglés de los estudiantes.

Palabras Clave: E-portafolio, innovación, lengua extranjera, educación superior,

Abstract

The use of electronic folders implies processes and dedication of both the student and the teacher to be able to develop the final product that demonstrates the development and

growth of the student in the subject and promotes both formative and summative evaluation. Through the following study, it is proposed to know if students consider the use of appropriate electronic portfolios in English in higher education. In addition, it is important to understand the implications of the development of electronic portfolios based on the experiences obtained during the semester in which the strategy was implied. This qualitative study was carried out at the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Morona Santiago headquarters during the special academic period April - August 2020. It is important to mention that the use of the Pathbrite application was chosen to prepare the portfolio since you can add videos, text, images and other addresses or web pages to make up the portfolio. Thanks to the survey, it was also possible to know how it influenced personal growth and the improvement of the students' English level.

Keywords: *E-portfolio, innovation, foreign language, higher education*

I. INTRODUCCIÓN

Con el uso de las herramientas tecnológicas que están al alcance de la mayoría de la sociedad en la actualidad, en el campo de la educación se ha insertado e implementado diferentes herramientas que ayudan a alcanzar los logros y objetivos ya sean macro o micro curriculares. En términos de innovación educativa el docente a través de la investigación y el uso de herramientas educativas implementa materiales o prácticas de enseñanza que apoyan en el proceso dentro y fuera del aula demostrando así que al momento de innovar, los cambios son evidentes y más aún cuando existe la tecnología al alcance de todos. Desde esta perspectiva, los portafolios electrónicos o también conocidos según García (1) como carpetas digitales, ePortafolio, e-Portafolio, web-Folio o e-Folio, se han vuelto una tendencia en la actualidad. Sánchez (2) manifiesta que el portafolio electrónico en términos generales permite la posibilidad de comunicar ideas, pero en el ámbito educativo lo conceptualiza como la recolección de trabajos que conlleva un proceso o pasos de reflexión, autoevaluación, aprendizaje y es una metodología de enseñanza donde la autenticidad es

elemental al momento de evaluar. Según López (3) los portafolios electrónicos pueden ser un reflejo del esfuerzo, progreso y objetivos que el estudiante ha alcanzado ya sea en una o más asignaturas. Con lo expuesto, el siguiente estudio se centra en la asignatura de inglés donde el uso de portafolios se propone como alternativa a las estrategias tradicionales; así como también aprovechando de manera oportuna la posibilidad de usar la tecnología en la época que estamos viviendo.

Distintas investigaciones se han llevado a cabo en este campo en las cuales se propone y sugiere el uso de portafolios electrónicos en base a revisiones de literatura y en otros casos exponen los beneficios del mismo, luego de experimentar y brindar resultados favorecedores en cuanto al uso de portafolios en el área educativa. La aplicación o uso del portafolio puede empezar desde la escuela y llegar hasta el sistema universitario. El presente trabajo se enfoca en el ámbito universitario. Cabero (4) menciona que usar un portafolio universitario ayuda a mejorar la evaluación formativa y facilita el proceso de autoevaluación. Además manifiesta que como resultado

de la investigación cualitativa llevada a cabo con 102 estudiantes universitarios cuyo propósito principal era elaborar portafolios electrónicos en forma grupal para conocer el nivel de motivación y reflexión alcanzado durante la implementación del mismo, se pudo concluir que ayudan a la práctica educativa ya que son didácticos y el estudiante puede desarrollar su criticidad y ser reflexivo a la vez. Guasch (5) sugiere que es esencial que se conozca desde el inicio el objetivo para elaborar el portafolio mismo que debe ser claro y preciso lo cual también incluye saber muy bien qué tipo de diseño tanto pedagógico como tecnológico. Prendes (6) menciona que no es necesario incluir todo trabajo en un portafolio sino saber elegir que tarea o material es relevante y va a ser útil para el aprendizaje.

Por otra parte, se han realizado investigaciones en el uso de portafolios para evaluar las destrezas del idioma inglés como es la escritura. Lunar (7) en su estudio concluyó que el portafolio electrónico fue útil para implementar una evaluación a la destreza de escribir en el idioma inglés puesto que los estudiantes demostraron una actitud positiva, motivación y entusiasmo al momento de ir mejorando sus trabajos escritos. Además, casi en su totalidad, los

participantes del estudio mostraron su satisfacción al conocer su progreso en la producción de los escritos en el idioma inglés. Thang (8) por su parte concluyó con su estudio que el uso de portafolios electrónicos en el aprendizaje de un idioma ayuda al desarrollo psicológico, pedagógico y tecnológico. Perdomo (9) en su estudio desarrollado cuasi experimental menciona que el uso de portafolios electrónicos es una alternativa para promover la evaluación cuando se promueve una educación constructivista y que se debería implementar desde contextos previos a la educación superior. Baturay (10) también concluye en su estudio que el e-portafolio es muy usado para trabajar en aprendizajes basados en problemas y ayuda a desarrollar la creatividad mientras aprenden el idioma. Barberà (11) sugiere que el portafolio ayuda en la formación del estudiante universitario pero a su vez ayuda en el futuro en la parte profesional. Yubero (12) concluye que si se usa la tecnología en éste proceso se lograría mejores resultados ya que los cambios son esenciales y más aún en la parte educativa. Pérez (13) también manifiesta que es necesario considerar el uso de portafolio electrónico en el aula como una herramienta que evalúe formativamente al estudiante y se estimule su aprendizaje

significativo. Zambrano (14) finalmente menciona que el portafolio electrónico fomenta la creatividad y la autonomía del estudiante de cualquier nivel. Con lo expuesto, el uso de las carpetas electrónicas implica procesos y dedicación tanto del estudiante como del docente para poder elaborar el producto final que demuestren el desarrollo y crecimiento del alumno en la asignatura y se promueva una evaluación tanto formativa como sumativa. Wade (15) sostiene que también el desarrollo profesional del docente es fundamental dentro de la implementación de herramientas tecnológicas.

A través del siguiente estudio se plantea conocer si los estudiantes consideran el uso de los portafolios electrónicos adecuados en la enseñanza del inglés en la educación superior. Además, se pretende entender las implicaciones que tiene la elaboración de portafolios electrónicos en base a las experiencias obtenidas durante el semestre en el cual se ejecutó la estrategia.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio cualitativo se realizó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago durante el periodo académico especial

abril - agosto 2020. Los participantes fueron 72 estudiantes dentro de los cuales eran 34 mujeres y 38 hombres que tomaron las clases de inglés 1 e inglés 2. Los estudiantes de inglés 1 pertenecieron a la carrera de Ingeniería Ambiental, por otra parte, los estudiantes de inglés 2 pertenecían a la carrera de Contabilidad y Auditoría y de Zootecnia. En cuanto a la experiencia previa en el uso de portafolios electrónicos, 66 estudiantes manifestaron que era la primera vez que elaboraban un portafolio electrónico en su vida estudiantil. Mientras que 5 estudiantes ya habían utilizado las carpetas electrónicas antes de iniciar el semestre y solo 1 estudiante ha tenido la experiencia de elaborar un portafolio electrónico antes de iniciar los estudios universitarios.

Se implementó el uso de portafolios desde la primera semana de clases donde se instruyó a los estudiantes para que puedan manejar y entender el propósito de los portafolios electrónicos siguiendo los pasos de construcción, recolección de evidencias y presentación del portafolio en cada parcial. Es importante mencionar que se optó por el uso de la aplicación Pathbrite para elaborar el portafolio ya que con esta herramienta se puede añadir videos, texto, imágenes y otras direcciones o páginas web para elaborar

el portafolio. A través de la elaboración de las primeras actividades que debían evidenciarse en el portafolio electrónico fueron apareciendo los problemas en cuanto al manejo de la herramienta. Sin embargo, con la explicación efectiva y oportuna del docente investigador los participantes empezaron a entender y manejar todos los recursos disponibles en la página web.

Los estudiantes elaboraron videos, trabajos escritos, desarrollaron tareas de vocabulario y adjuntaron actividades grupales e individuales realizadas en otras herramientas y que se puede adjuntar a página de Pathbrite.

Luego de trabajar todo el semestre y con una revisión del portafolio electrónico en cada parcial se concluyó con el producto final al finalizar el semestre donde los estudiantes mediante una rúbrica realizaron la coevaluación y se asignó un puntaje. De igual manera, al final se entrevistó a un total de 30 estudiantes del total de participantes quienes respondieron a una serie de preguntas relacionadas con las ventajas y desventajas que encontraron durante el proceso de construcción del portafolio electrónico. También, los estudiantes participantes respondieron a una encuesta elaborada para conocer el impacto que tuvo el portafolio

electrónico en su aprendizaje del idioma inglés. El cuestionario tuvo como objetivo conocer cómo influyó en el aprendizaje del idioma inglés la recolección de información, trabajos y artefactos que se incluyó en el portafolio. De igual manera el cuestionario recolectó datos de las experiencias previas en cuanto al uso de portafolios como la obtención de sugerencias para implementar el portafolio electrónico no solo en la asignatura de inglés; sino en otras asignaturas.

Resultados

A partir de la aplicación de una encuesta y de entrevistas individuales, se pudo recabar información relevante que se va a detallar a continuación.

Los resultados de la encuesta refleja un punto principal e importante a considerar para la implementación de portafolios electrónicos no solo en la asignatura de inglés sino en otras asignaturas. Del total de participantes que completaron la encuesta, el 88 % manifestó que si sugeriría a otros docentes el uso del portafolio electrónico como alternativa de evaluación del aprendizaje. Mientras que el 12 % manifestó que no se podría usar en otras asignaturas.

Retomando el uso del portafolio electrónico en la asignatura de inglés, los estudiantes manifestaron si es o no

necesario incluir los siguientes elementos en un portafolio en base a su experiencia. Como se puede apreciar en el gráfico, todos los elementos son considerados de manera positiva para incluir en un portafolio electrónico. Al mencionar lecturas y redacciones en inglés, 61 estudiantes que representan el 85% de los encuestados, sí sugieren incluir tareas o actividades de lectura en una carpeta digital. Mientras que 64 participantes que es el 89% sí sugiere que se adjunten videos en un portafolio. el 75% sugiere poner audios y el 79% de encuestados menciona que si es necesario incrementar ejercicios gramaticales en el portafolio electrónico. Ver gráfico 1

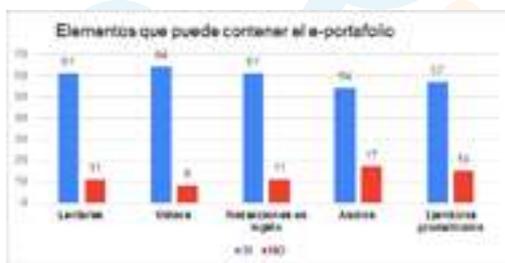


Gráfico 1: Sugerencia de elementos que debe contener un portafolio electrónico en la asignatura de inglés.

A través de la encuesta también se pudo conocer la forma que influyó en el crecimiento personal y en el mejoramiento del nivel de inglés de los estudiantes. Para lo cual se preguntaron sobre varios aspectos que radican en el contexto del manejo del portafolio y la

autoevaluación. Ver tabla 1.

	Muy de acuerdo	De acuerdo	No de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1. Me ayuda a adjuntar en un solo espacio documentos, videos e información relevante para conectar mi aprendizaje en la asignatura, sin necesidad de utilizar material físico o impreso	61	29	9	1	1
2. Fue útil y fácil de guardar información que reflejara mi progreso en la asignatura	60	22	9	1	1
3. Me ayudó a motivarme para realizar tareas como tareas que he a con actividad en el portafolio	43	29	7	1	2
4. Se puede compartir el trabajo con cualquier persona sin importar el lugar donde se encuentre	49	17	9	1	2
5. Me permitió reflexionar sobre mi progreso y relación en el portafolio electrónico	61	29	9	1	1
6. Fue de utilidad en el aprendizaje del idioma inglés	57	21	9	2	1
7. Permitted ver las tareas en las actividades del idioma (lectura, gramática, escritura)	27	22	6	2	1
8. Me ayudó a tener un aprendizaje más independiente	39	22	6	2	2
9. Me ayudó a identificar y conectar con estudiantes en contextos de aprendizaje del idioma inglés	19	35	7	1	1
10. Estructura adecuada al portafolio	56	29	7	6	2
11. Incluye información del progreso final del alumno	56	25	7	1	1
12. El portafolio es un sistema de evaluación justa	59	36	6	4	1
13. Es una alternativa de enseñanza a la tradicional como con los docentes	31	32	6	1	1

Tabla 1: opinion personal sobre la metodología y ventajas de usar portafolios en las clases de inglés.

Según los datos que se puede observar en la tabla, el 54% menciona que está muy de acuerdo en que el portafolio les ayudó a adjuntar en un solo espacio documentos, videos e información relevante; mientras que un 36% menciona en el mismo ítem que esta de acuerdo. Por otra parte, el 61% está muy de acuerdo y el 31% está de acuerdo en que fue útil y fácil de guardar información lo cual reflejaba el avance en la asignatura de inglés. El 60% considera que esta muy de acuerdo en que el uso de portafolios electrónicos les motivó a esforzarse más en cada tarea y el 26% está de acuerdo en el mismo ítem. Con el 57% de muy de acuerdo y el 35% de acuerdo en el ítem donde se menciona

que el portafolio electrónico les permitió reflexionar sobre el esfuerzo individual y el trabajo se entiende que hay una aceptación en uno de los principales objetivos del uso de portafolios electrónicos en clases. También están muy de acuerdo (68%) y de acuerdo (24%) que el trabajo se puede compartir con la persona que se desee sin importar el lugar donde se encuentre. Un punto referencial e importante es saber que el 58% de participantes están muy de acuerdo y el 29% de acuerdo en que el portafolio electrónico fue de utilidad en el aprendizaje del idioma inglés así como también potenció las destrezas del idioma como son leer, hablar, escribir y escuchar con un 38% muy de acuerdo y un 49% de acuerdo. Al considerar que el portafolio es un instrumento de evaluación justa y permite al estudiante ser más independiente, el 42% mencionó estar muy de acuerdo mientras que el 44% dijo estar de acuerdo. Un punto importante que mencionar es que el 50% de estudiantes dice estar muy de acuerdo en que el producto final cumplió con sus expectativas y están orgullosos del trabajo y el 35% dice estar de acuerdo. Finalmente, el 35% dice que está muy de acuerdo que el uso de portafolios electrónicos es una alternativa de evaluación diferente a lo tradicional y el 44% menciona estar de acuerdo.

Es importante también contabilizar los datos que representan los diferentes puntos de vista en cuanto a la utilización del portafolio electrónico en el aprendizaje del idioma inglés. Los resultados de la encuesta demuestran que en base al material obtenido de las entrevistas individuales, se puede destacar que la mayoría de entrevistados advierte que el uso de portafolios fue una forma creativa de trabajar en clases y que ayudaba a realizar las tareas:

“nos ayuda a mantenernos más ordenados en cuanto a llevar la materia y podemos adjuntar material de estudio” (entrevistado 1)

“mmm es muy interactivo y en vez de estar usando el cuaderno, es una buena forma de practicar inglés” (entrevistado 2)

“al principio como no sabía utilizar mucho fue mi problema y tuve que investigar pero después creo que fue una gran herramienta porque podía revisar la materia y me ayudó mucho” (entrevistado 3)

“al comienzo fue complicado porque no conocía el diseño y no sabía como crear o agregar imágenes, pero después fue fácil para enviar tareas” (entrevistado 4)

En cuanto al uso de la herramienta Pathbrite que está disponible en la web, 69 estudiantes de un total de 72 manifestaron que es útil y se seguirán utilizando en el caso de ser necesario. De

igual manera en las entrevistas mencionaron que:

“a mi parecer pathbrite es una buena aplicación eh y que tiene varias herramientas útiles, bueno a mi parecer estuvo bien y me ayudó a guardar trabajos que pude revisar después para estudiar” (entrevistado 5)

Cabe destacar que durante el proceso de aplicación de la estrategia los estudiantes no mencionaron tener problemas en cuanto a subir documentos, fotos, o videos ya que la seguridad que provee la página solamente permite manipular al usuario que con su contraseña puede determinar con quien compartir el link.

Discusión

Tras un sondeo inicial, se percibe que los estudiantes están acostumbrados a comunicarse en entornos digitales, pero no de forma metacognitiva y metalingüística. Se considera necesaria la implementación de actividades diferentes en el aprendizaje del idioma extranjero. También el tipo de habilidades y estrategias lingüísticas que se enseñan en el aula de lenguas ha sido necesario renovar para que los estudiantes puedan comunicarse de un modo efectivo en los entornos digitales, como lo es por ejemplo, el portafolio digital.

El uso de portafolios o carpetas digitales demuestra un recurso importante en el

aprendizaje de los estudiantes. Como se pudo verificar, los portafolios ayudan a que el estudiante organice la información y pueda desarrollar actividades de una manera más creativa y didáctica. Según las encuestas y entrevistas realizadas a los participantes, no solo se puede usar el portafolio electrónico en la asignatura de inglés sino en otras asignaturas ya que permiten aprender de mejor manera y se puede repasar la materia usando la información recaba en los portafolios. Así, el estudiante puede reflexionar y darse cuenta de las ventajas que ofrece el uso apropiado de estos recursos. Por lo tanto, el rol del profesor es fundamental y consiste en facilitarle al estudiante las herramientas necesarias para la adquisición de los contenidos digitales de la asignatura.

Esta herramienta ha fomentado la coevaluación y en especial la autoevaluación y reflexión sobre cuáles son sus conocimientos y sus carencias con respecto a la lengua. El uso del e-portafolio ha sido un modo diferente de aprendizaje-enseñanza

Conclusiones

La herramienta digital del portafolio electrónico es un medio que une las nuevas metodologías del docente, métodos de evaluación, tecnologías y

procesos donde se enfatiza en una innovación pedagógica que se enfoca en el pensamiento crítico del estudiante, que resulta ser el protagonista del proceso enseñanza-aprendizaje, no solo de un idioma extranjero, sino también de cualquier otro tipo de asignatura. Al concluir la presente investigación, se pudo entender que el uso de herramientas digitales para recolectar información que documente el aprendizaje de cada estudiante conllevó a percibir favorablemente la importancia y relevancia de los portafolios electrónicos en la asignatura de inglés. Cabe mencionar que el porcentaje de estudiantes que tuvieron su primera experiencia en el uso de portafolios electrónicos fue alto durante este estudio lo cual significa que se puede seguir promocionando y propiciando espacios para que tanto docentes como

estudiantes usen las carpetas electrónicas como un recurso de evaluación diferente a la tradicional donde el estudiante es responsable de su trabajo y mediante su esfuerzo permanente al final relaje un producto que alcanzó a través del proceso enseñanza- aprendizaje.

III. AGRADECIMIENTOS

A la ESPOCH Sede Morona Santiago por tan importante iniciativa de ceder espacios para divulgar ciencia e investigación que engrandece a la población en general.

IV. CONFLICTO DE INTERESES

No existieron intereses particulares o de alguna entidad en el presente estudio.

V. REFERENCIAS

1. García Doval F. El papel de los portafolios electrónicos en la enseñanza-aprendizaje de las lenguas. [Internet]. Files.geohistoria 5.webnode.es. 2005 [citado 1 de agosto 2020]. Disponible en: <http://files.geohistoria5.webnode.es/200000009-dcd1eddcbf/10.pdf>
- 2 Sánchez Vera M. El portafolio electrónico [internet]. 2007 Digitum.um.es. [citado 3 de agosto 2020] Disponible en: <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/13418/1/portafolio.pdf>
- 3 López Meneses E, Jaén Martínez A, Cabero Almenara J. Los portafolios educativos virtuales en las aulas universitarias. Instrumentos didácticos para la innovación docente

y la calidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje [Internet]. Idus.us.es. 2013 [citado 2 de agosto 2020];31 (1) 43-70. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/16424>

4 Cabero Almenara J, López Meneses E, Llorente Cejudo M, E-Portafolio universitario como instrumento didáctico 2.0 para la reflexión, evaluación e investigación de la práctica educativa en el espacio europeo de educación superior. VESc [Internet]. 2012 [citado 12 de agosto 2020];3(4):27-46. Disponible en: <https://revistas.psi.unc.edu.ar/index.php/vesc/article/view/1886/943>

5 Guasch T, Guàrdia Ortiz L, Barberá E. Prácticas del portafolio electrónico en el ámbito universitario del estado español. Red [Internet]. 30 de abril de 2009 [citado 6 de noviembre de 2020];00. Disponible en: <https://revistas.um.es/red/article/view/69611>

6 Prendes Espinosa, Ma. Paz, Sánchez Vera, Ma. del Mar, Portafolio electrónico: posibilidades los docentes. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación [Internet]. 2008; (32):21-34. [citado 6 de noviembre de 2020] Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36803202>

7 Lunar L. El portafolio: estrategia para evaluar la producción escrita en inglés por parte de estudiantes universitarios [Internet]. Ve.scielo.org. 2007 [citado 4 de agosto 2020]. 24 63-96 Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-97842007000100003

8 Thang S, Lee Y, Zulkifli N. The role of the electronic portfolio in enhancing Information and Communication Technology and English language skills: the voices of six Malaysian undergraduates [Internet]. Taylor & Francis. 2020 [citado 6 de noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09588221.2012.655299>

9 Perdomo B. 2. El portafolio como alternativa de evaluación en inglés para propósitos específicos. educ [Internet]. 9 de enero de 2015 [citado 12 de agosto de 2020];14(3):32-51. Disponible en: <https://revistas.investigacion-upelipb.com/index.php/educare/article/view/228>

10 Baturay M, Daloglu A. E-portfolio assessment in an online English language course [Internet]. Taylor & Francis. 2020 [citado 6 de noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09588221.2010.520671?src=recsys>

11 Barberà E, Gewerc Barujel A, Rodríguez Illera JL. Portafolios electrónicos y educación superior en España: Situación y tendencias. Red [Internet]. 21 de octubre de 2016 [citado 2 de noviembre de 2020];0(50). Disponible en: <https://revistas.um.es/red/article/view/271151>



12 Yubero J. Herramientas multimedia en la enseñanza de lenguas extranjeras: un recurso motivador [Internet]. Dugi-doc.udg.edu. 2020 [citado 2 de noviembre de 2020].

Disponible en: <https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/2793>

13 Pérez M. Uso de portafolio para educación personalizada [Internet]. Dialnet. 2020 [citado 2 de noviembre de 2020]. Disponible en:

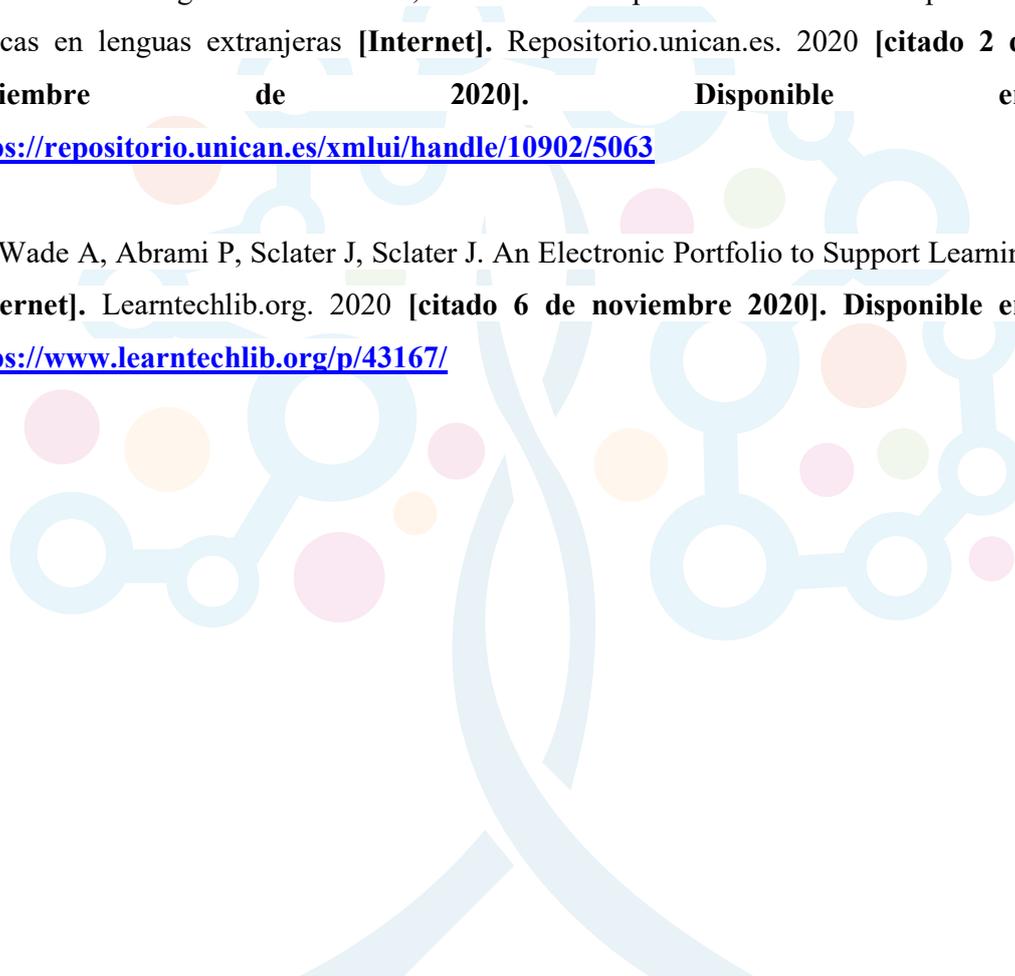
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5385920>

14 Zambrano Ponguillo M. El e-PEL, una herramienta para desarrollar las competencias básicas en lenguas extranjeras [Internet]. Repositorio.unican.es. 2020 [citado 2 de noviembre de 2020]. Disponible en:

<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/5063>

15 Wade A, Abrami P, Sclater J, Sclater J. An Electronic Portfolio to Support Learning [Internet]. Learntechlib.org. 2020 [citado 6 de noviembre 2020]. Disponible en:

<https://www.learntechlib.org/p/43167/>



MÉTODOS DE SÍNTESIS DE ÓXIDOS DE HIERRO Y COMPÓSITOS PARA REMOVER ARSÉNICO EN AGUA

SYNTHESIS METHODS OF IRON OXIDES AND COMPOSITES FOR ARSENIC REMOVAL IN WATER

^{1,2}Carlos Medina *, ^{1,2}Jorge Silva Y., ^{1,2}Adrian Rodriguez

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador

² Grupo de Investigación en Materiales Avanzados (GIMA), Facultad de Ciencias, ESPOCH.

E-mail: *carlos.medinas@epoch.edu.ec

Resumen

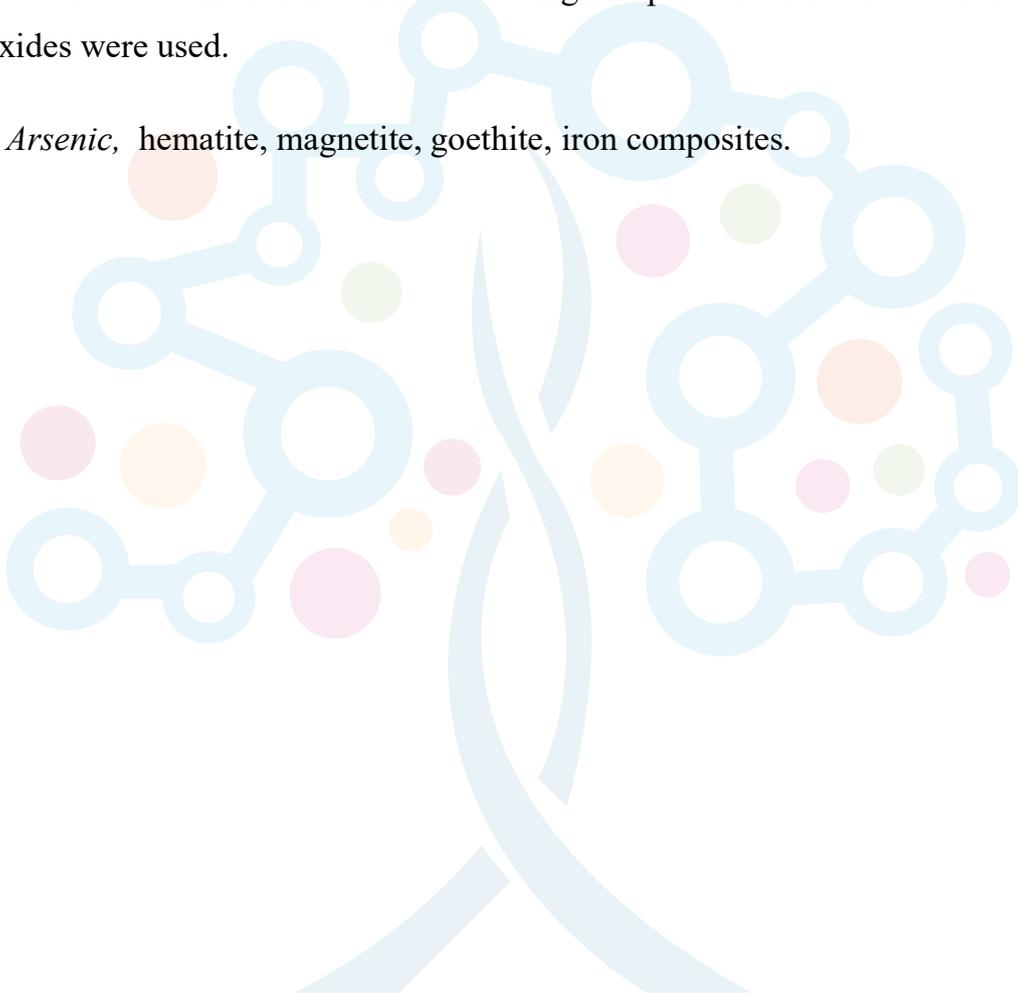
La contaminación ambiental por metales se ha estudiado mucho con diferentes materiales y técnicas, pero aún no se ha logrado resolver por completo este problema. La alta capacidad de adsorción de los óxidos de hierro como la hematita, magnetita, goetita, ferrihidrita, para la remoción de arsénico en agua son descritos en este trabajo de revisión. Existen muchas investigaciones internacionales de los óxidos de hierro en las que se expone la composición de estos minerales, las propiedades, métodos de síntesis y las variables que intervienen. El carbón activo, las siliconas y los polímeros son materiales que se han usado para formar compositos con estos óxidos que han contribuido a obtener mejores resultados en la remoción de diferentes aniones y cationes. Con este trabajo se pretende difundir estudios ya realizados e incentivar la investigación en este campo para aprovechar las características particulares de los óxidos de hierro y usarlos como remediadores ambientales. Además, es importante dar a conocer la existencia de óxidos de hierro naturales que dejan mucho campo por estudiar.

Abstract

Environmental pollution by heavy metals has been extensively researched using different materials and techniques but, this problem has not been fully resolved. High adsorption capacity of iron oxides such as hematite, magnetite, goethite and, ferrihydrite to remove arsenic are described in this review. There are many international investigations about the minerals of iron oxides and they describe the composition, properties, synthesis methods and involved variables. Active carbon, silicones and polymers had been used to obtain

composites with iron oxides and they have gave better results to remove different anions and cations. The aim in this paper is to introduce studies already carried out and encourage research in this topic to take advantage of the particular characteristics of iron oxides and use them in the environmental remediation. In addition, it is important to introduce the natural iron oxides availability that have a lot of field to study. The literature search on the subject was carried out in Science Direct and high impact articles related to natural or synthetic oxides were used.

Keywords: *Arsenic*, hematite, magnetite, goethite, iron composites.



I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es uno de los problemas más estudiados en la actualidad, en especial la generada por metales pesados y metaloides como el mercurio, plomo, zinc, cromo, cadmio y arsénico, debido a que han sido encontrados en todo tipo de alimentos y muestras de agua de diferente naturaleza (1).

Más de 200 millones de personas en 70 países están expuestas al arsénico a través del agua potable (2). A nivel de Latinoamérica, se han realizado varios estudios sobre la exposición a arsénico en Chile, México, Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y Uruguay (3).

Los óxidos de hierro (óxidos, hidróxidos y oxihidróxidos), hematita (Fe_2O_3), ferrihidrita ($\text{Fe}_{10}\text{O}_{14}(\text{OH})_2$), goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$), magnetita (Fe_3O_4), lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$) entre otros se han estudiado ampliamente para la remoción de arsénico desde medios acuosos (4,5).

En este contexto el objetivo de este artículo es revisar la capacidad de remoción de arsénico con los diferentes óxidos de hierro y los métodos de síntesis que permitan un mayor rendimiento, así

mismo, dar a conocer metodologías empleadas para la funcionalización con otros materiales que permita mejorar las características de estos óxidos.

II. METODOLOGÍA

La revisión de literatura se ha realizado por medio de Scencedirect. Los descriptores utilizados en la búsqueda fueron: iron oxides, synthetic iron oxides and arsenic water.

La recopilación de los artículos utilizados en la revisión se efectuó entre octubre de 2019 y agosto de 2020. Se han considerado 46 artículos de los cuales se han extraído las principales ideas plasmadas en este documento.

En la primera parte se revisa la capacidad de remoción de arsénico alcanzada por diferentes óxidos de hierro y luego se revisan algunos de los métodos empleados en los procesos de síntesis de los óxidos de hierro.

III. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

ÓXIDOS DE HIERRO COMO ADSORBENTES

Corresponden a minerales que han demostrado ser eficientes para la remoción de As del agua debido a su baja solubilidad y su capacidad de adsorción



siendo más efectiva la adsorción del As en su forma pentavalente que en su forma trivalente (6,7). Los minerales que contienen hierro se encuentran en forma de óxidos, hidróxidos y oxo (hidróxidos) tales como: hematita, magnetita, goetita, ferrihidrita, siderita, limonita, maghemita, burstita, lepidocrocita, akaganeíta, schwermanita, feroxihita y bernalita. Siendo los seis primeros, los minerales más utilizados como adsorbentes (6,8) que generalmente, deben ser molidos y tamizados para generar partículas con áreas superficiales grandes, por ejemplo, Gimenez et al., 2007 utilizó hematita y magnetita de diferente tamaño para remover contaminantes de agua y encontró que las partículas de menor tamaño remueven más cantidad (8).

A. *Hematita*

La hematita (Fe_2O_3) tiene una estructura de tipo hexagonal que contiene a los átomos de oxígeno unidos a los cationes en una coordinación octaédrica (8). Torrent et al., 1994, estudiaron una variedad de hematitas en las que ninguna tenía una composición homogénea, sino que variaban en el contenido de hematita, sílice y goetita. Sus resultados también indicaron que los cristales de hematita se

encuentran predispuestos en una cara prismática de forma elongada. Por ejemplo se ha reportado hematita con la siguiente composición 64.9% Fe, 0.52% Al_2O_3 , 3.95% SiO_2 y 0.16% MnO con un área superficial de 20.53 m^2/g (8). Por otro lado, también se reportan minerales con una composición expresada de la siguiente forma: 86% hematita, 4% siderita, 5% goetita, 1% moscovita y el restante de cuarzo. Este mineral fue estudiado para la adsorción de As alcanzando una remoción de alrededor 75% de As (V) y 35% de As (III). Según los autores, esto puede haber ocurrido debido a la estructura estratificada del mineral que contiene varias micro fisuras. Además, realizaron también experimentos con diferentes tamaños de partículas, obteniendo una mayor remoción con un tamaño <0.25 mm cuando se trabajó con dosis de 40 g adsorbente/L (9). Así mismo, cuando utilizaron hematita con un tamaño de partícula menor a 100 μm , su área superficial fue de 4 m^2/g (10).

Gimenez et al., 2007 estudiaron la adsorción de As (III) y As (V) en hematita, magnetita y goetita natural y las compararon con adsorbentes sintéticos. Sus resultados indican que la hematita adsorbió una mayor cantidad de As que



los otros dos minerales ya que estos últimos se saturaron más rápidamente. Además se estudió la variación de la concentración del arsénico eliminado de las soluciones usando los tres diferentes adsorbentes por separado y con tres variables de estudio (pH de solución, tamaño de partícula y dosis del adsorbente). La principal tendencia observada para la remoción del contaminante cuando se varía el pH fue la disminución de la sorción en los tres sorbentes a valores de pH alcalino. Observaron mayor remoción de As (III) en la superficie de la hematita en todo el rango de pH en comparación con la goetita y la magnetita. Los adsorbentes naturales (minerales) y adsorbentes sintéticos estudiados en su investigación tuvieron capacidades de adsorción semejantes para los dos tipos de arsénico (11).

Aredes et al., 2013 emplearon 0,5 g de hematita por cada 100 mL de muestra a tratar. El mineral fue capaz de adsorber un 20% de As (V) de una concentración inicial de 5 ppm. Cuando la dosis del adsorbente se aumentó a 10 g, el mineral fue capaz de remover todo el As (V) de la muestra, aunque se pudo haber formado un precipitado en la superficie de los

adsorbentes (12). El estudio realizado por Zhang et al., 2004 ocupó hematita variando el pH de las soluciones desde 4.5 a 6.5 y una dosis de adsorbente de 5 g/L. Este mineral redujo la concentración de As (V) en un 99%. Así mismo, presencia de sílice y fósforo redujeron la capacidad de adsorción del mineral mientras que sulfatos y cloruros la mejoraron (13). El proceso de adsorción de As (V) con hematita ha demostrado ser representado por una Isoterma de Langmuir. En el caso del pH la adsorción de As (V) es favorecida a un pH de 4.2 a 7.1. En dicho estudio se utilizó una solución de arsénico de concentración 1000 ppb, en el cual la hematita con un área superficial de 14.40 m²/g tuvo una capacidad de adsorción de 0.20 mg/g (14).

B. Magnetita

La magnetita (Fe₃O₄) se encuentra generalmente en forma de cristales octaédricos y puede ser transformada en hematita o goetita. La composición de los cristales es generalmente 22.4%Fe y 27.6%O (8). Las propiedades magnéticas de este mineral facilitan la separación del adsorbente del contaminante. La producción de nano partículas de magnetita ha sido útil para la adsorción de

arsénico en sus formas más comunes siendo el cambio de tamaño de 300 nm a 12 nm el factor más importante para incrementar la efectividad de las nano partículas en 200 veces (15).

C. *Goetita*

La goetita (α -FeOOH) tiene cristales en forma de agujas y su estructura posee bandas de FeO (OH) octaédricas que comparten vértices y bordes formando un túnel octaédrico de 2x1 que se encuentra enlazado parcialmente por enlaces de hidrógeno. Su composición se estima en la siguiente: 62.9% Fe, 27%O y 10.1% de H₂O (8). Mamindy-Pajany et al., (2009) utilizó adsorbentes de magnetita (área superficial 1.60 m²/g y punto isoelectrico de 6.40), goetita (área superficial = 11.61 m²/g y punto isoelectrico de 6.9) y hematita (área superficial = 1.66 m²/g y punto isoelectrico de 8.1). Partiendo de 50 mL de una solución de 100 ug/L de As (V) y 0.2g de adsorbente, los tres adsorbentes removieron el 100% del As (V); hematita alcanzo esta cantidad en un pH: 2-11, mientras que los otros dos adsorbentes lo alcanzaron en un pH: 2-8 (16). Este factor de pH también fue observado por Mohan & Pittman 2007, cuyos resultados fueron óptimos a un pH

de 5.0. La goetita en este estudio tenía un tamaño de 0.01 mm y un área superficial de 11.61 m²/g. Se partió de una concentración de arsénico de 495 ppb y la goetita tuvo una capacidad de adsorción de 0.500 mg/g (17).

D. *Otros*

La siderita (FeCO₃) se encuentra mezclada con arcillas como capas concéntricas. La limonita (FeOOH.nH₂O) al igual que la siderita son minerales de los cuales su composición y forma todavía atraen cierto debate. La ferrihidrita se forma como precipitado de bacterias que fijan hierro o por la hidrólisis natural de sales de hierro y se puede utilizar para la formación de otros minerales de hierro. A un pH de 7, una ferrihidrita fue capaz de adsorber 87.6 mg de As (V) por 1 g de adsorbente de una solución 150 ppm como concentración inicial de arsénico (18). Guo et al., (2007), utilizaron varias sideritas para adsorber As; la más efectiva tenía una composición de 78% siderita, 1% calcopirita, 19% goetita y 1% cuarzo alcanzando una remoción de alrededor de 70% de As (V), 20% de As (II). Las condiciones experimentales fueron las siguientes: concentración As: 1000 ppb,

tamaño de partícula: 0.25-0.5 mm, carga de adsorbente: 10 g/L, tiempo de contacto: 1440 min y temperatura: 20°C (19). En el caso de limonita, un estudio demostró la capacidad de este mineral para remover 900 mg de As (V) por cada kg de mineral (20).

MÉTODOS DE SÍNTESIS DE ÓXIDOS Y COMPÓSITOS DE ÓXIDOS DE HIERRO

Los óxidos de hierro en su gran mayoría son sintetizados como nano-estructuras de diferentes formas. Estos luego pueden ser soportados sobre otros materiales como carbón activado, siliconas, celulosa y otros materiales orgánicos formando así con ellos los llamados compositos. Se conoce de una gran variedad de métodos de síntesis tales como microemulsión, pirolisis por pulverización con llama, decapado, ablación laser, técnicas de deposición química, condensación, síntesis de sol-gel, reducción química, co-precipitación, etc.

Todos estos nano-materiales pueden ser caracterizados por técnicas como termogravimetría (TGA), microscopía de barrido electrónico (SEM), espectroscopía infrarroja (IR), Difracción de Rayos-X (XDR), microscopía

electrónica de transmisión (TEM), adsorción de N₂, etc.

E. *Goetita*

Es uno de los óxidos de hierro térmicamente más estables, se ha estudiado su capacidad de adsorción debido a su gran área superficial que permite adsorber gases, aniones y cationes orgánicos e inorgánicos, pero en especial se ha investigado con metales pesados (21,22). Aunque la mayoría de los métodos de síntesis de goetita requieren condiciones severas y mezclas complejas de reactivos, se han estudiado vías más sencillas para obtenerlo. Para sintetizar por el método de precipitación por ejemplo, se mezcla cloruro férrico y amonio, el precipitado se separa por centrifugación y es lavado varias veces con varios reactivos; luego purificado y aislado. La nanopartículas obtenidas tienen forma cúbica y dieron buena estabilidad en sus estudios(23). El tratamiento hidro-térmico a 298°C de la goetita obtenida por suspensión de hidróxido férrico amorfo gracias a la mezcla de nitrato férrico nano hidratado [Fe(NO₃)₃·9H₂O] con hidróxido sódico (NaOH) es otra vía para sintetizar cristales de goetita, aunque no resultaron nanopartículas totalmente puras ya que se



evidenció presencia de nitrato de sodio formado en la reacción (24). Se puede también obtener este nanomaterial impregnado en varios soportes como óxidos de grafeno (25), celulosa (26), copolímero de metacrilato de glicidilo (27), poliacrilamida (28), todos estos composites fueron estudiados para la remoción de metales pesados en aguas de diferente procedencia.

F. Magnetita (Fe_3O_4)

La propiedad de mayor importancia de la magnetita es el ferromagnetismo, que depende del tamaño (29,30) y la forma de las partículas que se haya obtenido en la síntesis. El método más sencillo de síntesis es la precipitación por reacción de sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) con hidróxido sódico (NaOH), el precipitado se lo deshidrata a temperaturas relativamente bajas ($50^\circ C$), el pH es un parámetro de control crítico ya que a pH 10 se obtiene magnetita y a pH 4 se genera goetita (31). La síntesis de un composite de magnetita/quitosano dependiendo de los parámetros de reacción, la morfología de las nanopartículas obtenidas varía desde esféricas, forma de semilla de arroz hasta forma de grumos, todo esto usando cloruro de hierro como precursor y urea

como agente precipitante. El tiempo de reacción es el que determinó la morfología, pues en 10 horas de reacción se obtuvieron nanopartículas esféricas, mientras que en 50 horas de reacción generaron nanopartículas con forma de semilla de arroz (32). Se ha estudiado por otra parte en el campo ambiental para eliminación foto-catalítica de compuestos orgánicos como nitrobenzeno (33) e isatina (25). Así mismo, se ha estudiado la remoción de múltiples cationes (Cr^{3+} , Cr^{6+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}) aprovechando el magnetismo de la magnetita (34) y aniones (SO_4^{2-} , $Cr_2O_7^{2-}$, AsO_4^{3-}) (35–37), entre otros. Existe estudios en una gran variedad de soportes para elaborar composites con la magnetita, entre los soportes más usuales se destaca la gelatina (38), celulosa (39), siliconas (40) y óxidos de grafeno (41).

G. Maghemita ($\gamma-Fe_2O_3$)

La maghemita es un material de mucha importancia en varios campos de aplicación como materiales nano estructurados a manera de nanopartículas, nanotubos, nanobarras, nanoalambres o nanolaminas (42). Uno de los métodos menos complejos para su obtención es por descomposición térmica de citrato férrico a elevadas temperaturas que

pueden ir desde los 300 a 350 °C por aproximadamente 2 horas y al superar esta temperatura de calcinación, se ha descubierto que predomina la formación de una fase de hematita (43). Otro método de preparación es a partir de nitrato férrico mezclado con solución de trietilentetramina y calentamiento a 450 °C, el material obtenido es la maghemita que finalmente se lo tritura, lava con peróxido de hidrógeno para eliminar el carbón residual y se vuelve a secar a bajas temperaturas obteniendo como producto un nanopolvo de maghemita superparamagnético (44). Otro sencillo método es la mezcla de nitrato férrico con urea disueltos en una mezcla etilenglicol-agua y calentamiento a 100 °C, el precipitado recolectado se lava hasta pH neutro y se lo seca para finalmente calcinarlo a 230 °C. Sin la adición del etilenglicol, obtuvieron hematita nanoesférica mientras que la adición del etilenglicol promovió la formación de otras nano estructuras, demostrando con esto la importancia de este disolvente.

H. *Ferrihidrita (5Fe₂O₃·9H₂O)*

La ferrihidrita es un oxihidróxido de hierro pobremente cristalino que precipita en manantiales cargados de hierro, formado como precursor de los óxidos de

hierro más estables, como la magnetita y la hematita. Una manera de obtenerlo soportado sobre sílice es por mezcla de soluciones de nitrato férrico o sulfato férrico con sílice en presencia de hidróxido de sodio y calentados a 85°C. Tanto nitrato como sulfato producen ferrihidrita pero la precipitación de sílice se produce mucho más rápidamente en medios de nitrato férrico que en sulfato férrico (45). Otro método sencillo consiste en mezclar hidróxido de sodio con cloruro férrico y posteriormente secarlo a temperatura ambiente para obtener ferrihidrita formando grupos de partículas agregadas llamados clusters con forma de pudín de ciruela (46).

IV. CONCLUSION

La presencia de arsénico en fuentes de agua es un problema frecuente en la actualidad. Los óxidos de hierro como se ha visto son una alternativa para eliminar este contaminante, sin embargo, es necesario investigar los diferentes parámetros de síntesis con los métodos ya existentes como la temperatura, el tiempo de reacción o la concentración de los precursores para obtener compuestos más puros o de morfologías únicas, ya que en algunos estudios se obtiene mezclas de

los diferentes óxidos. De igual manera, estudiar nuevos composites que permitan desarrollar propiedades y mejores características para alcanzar mayores capacidades de remoción de los dos tipos de arsénico tratados en este documento, así como, otros metales presentes en el agua. Las propiedades magnéticas de algunos de los óxidos de hierro facilitan la separación de los metales del agua, por esta razón, se podría investigar la funcionalización de la magnetita por ejemplo con materiales adsorbentes como carbón activado, seolitas, siliconas, etc., que posiblemente mejoren la eficiencia de la remoción de los metales.

V. AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Al Instituto de Investigaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

VI. CONFLICTO DE INTERESES

No existen intereses particulares por parte de los autores o de la entidad científica que pudiesen afectar directa o indirectamente a los resultados.

VII. REFERENCIAS

1. Quansah R, Armah FA, Essumang DK, Luginaah I, Clarke E, Marfoh K, et al. Association of Arsenic with Adverse Pregnancy Outcomes/ Infant Mortality. *Environmental Heal Perspect*. 2015;123(5):412–22.
2. Minatel BC, Sage AP, Anderson C, Hubaux R, Marshall EA, Lam WL, et al. Environmental arsenic exposure: From genetic susceptibility to pathogenesis. *Environ Int*. 2018;112(December 2017):183–97.
3. Khan KM, Chakraborty R, Bundschuh J, Bhattacharya P, Parvez F. Health effects of arsenic exposure in Latin America: An overview of the past eight years of research. *Sci Total Environ*. 2020;710:136071.
4. Hao L, Liu M, Wang N, Li G. A critical review on arsenic removal from water using iron-based adsorbents. *RSC Adv*. 2018;8(69):39545–60.
5. Polowczyk I, Cyganowski P, Ulatowska J, Sawiński W, Bastrzyk A. Synthetic Iron Oxides for Adsorptive Removal of Arsenic. *Water Air Soil Pollut*. 2018;229(6):1–10.
6. Elisabeth A. Tesis Doctoral Retención de contaminantes metálicos y arsénico por oxo (hidr) óxidos de hierro puros y sustituidos. “Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. <http://digital.bl.fcen.uba.ar>”; 2013.
7. Magnesio CONÓDE. Adosrción de arsénico en zeolita natural pretratada con oxidos de magnesio. *Rev Int Contam Ambient*. 2009;25(4):217–27.
8. Journal AI, Gallegos-garcia M, Ramírez-muñiz K, Song S. Arsenic Removal from Water by Adsorption Using Iron Oxide Minerals as Adsorbents : A Review. *Miner Process Extr Metall Rev An Int J ISSN*. 2012;7508(May).
9. Giles DE, Mohapatra M, Issa TB, Anand S, Singh P. Iron and aluminium based adsorption strategies for removing arsenic from water. *J Environ Manage*. 2011;92(12):3011–22.
10. Rabung T, Geckeis H, Kim J, Beck HP. Sorption of Eu (III) on a Natural Hematite : Application of a Surface Complexation Model. 1998;161:153–61.
11. Gim J, Pablo J De, Rovira M, Duro L. Arsenic sorption onto natural hematite , magnetite , and goethite. 2007;141:575–80.
12. Aredes S, Klein B, Pawlik M. The removal of arsenic from water using natural iron

- oxide minerals q. *J Clean Prod.* 2013;60:71–6.
13. Zhang W, Singh P, Paling E, Delides S. Arsenic removal from contaminated water by natural iron ores. *Miner Eng.* 2004;17:517–24.
 14. Evier ELS. Adsorption technique for the treatment of As (V) -rich effluents. *Colloids Surfaces A physicochemical Eng Asp.* 1996;(Table 1).
 15. Mayo JT, Yavuz C, Yean S, Cong L, Shiple H, Yu W, et al. The effect of nanocrystalline magnetite size on arsenic removal. *Sci Technol Adv Mater ISSN.* 2017;6996(October).
 16. Mamindy-pajany Y, Hurel C, Marmier N. Arsenic adsorption onto hematite and goethite. *C R Chim.* 2009;12:876–81.
 17. Mohan D, Pittman CU. Arsenic removal from water / wastewater using adsorbents — A critical review. *J Hazard Mater.* 2007;142:1–53.
 18. Lafferty BJ, Loeppert RH. Methyl Arsenic Adsorption and Desorption Behavior on Iron Oxides. *Environ Sci Technol.* 2005;39(7):2120–7.
 19. Guo H, Stu D, Berner Z. Removal of arsenic from aqueous solution by natural siderite and hematite. *Appl Geochemistry.* 2007;22:1039–51.
 20. Viet PH, Con TH, Ha CT, Ha H Van, Berg M, Giger W, et al. Investigation of arsenic removal technologies for drinking water in Vietnam. *Arsen Expo Heal Eff V.* 2003;459–69.
 21. Liu H, Chen T, Frost RL. An overview of the role of goethite surfaces in the environment. *Chemosphere.* 2014;103:1–11.
 22. Jaiswal A, Banerjee S, Mani R, Chattopadhyaya MC. Synthesis, characterization and application of goethite mineral as an adsorbent. *Biochem Pharmacol.* 2013;1(3):281–9.
 23. Lunin A V, Kolychev EL, Mochalova EN, Cherkasov VR, Nikitin MP. Synthesis of highly-specific stable nanocrystalline goethite-like hydrous ferric oxide nanoparticles for biomedical applications by simple precipitation method. *J Colloid Interface Sci.* 2019;541:143–9.
 24. Nørlund A, Jensen TR, Bahl CRH, Dimasi E. Nano size crystals of goethite , a - FeOOH: Synthesis and thermal transformation. *J Solid State Chem.* 2007;180:1431–5.

25. Zhou Z, Su M, Shih K. Highly efficient and recyclable graphene oxide-magnetite composites for isatin mineralization. *J Alloys Compd.* 2017;
26. Kong D, Wilson LD. Synthesis and characterization of cellulose-goethite composites and their adsorption properties with roxarsone. *Carbohydr Polym.* 2017;169:282–94.
27. Taleb K, Markovski J, Hristovski KD, Rajakovic VN. Aminated glycidyl methacrylates as a support media for goethite nanoparticle enabled hybrid sorbents for arsenic removal: From copolymer synthesis to full-scale system modeling. *Resour Technol.* 2016;2:15–22.
28. Ramirez-muñiz K, Perez-rodriguez F, Rangel-mendez R. Adsorption of arsenic onto an environmental friendly goethite-polyacrylamide composite. *J Mol Liq.* 2018;264:253–60.
29. Ponomar VP. Synthesis and magnetic properties of magnetite prepared by chemical reduction from hematite of various particle sizes. *J Alloys Compd.* 2018;741:28–34.
30. Ganesan V, Lahiri BB, Louis C, Philip J, Damodaran SP. Size-controlled synthesis of superparamagnetic magnetite nanoclusters for heat generation in an alternating magnetic field. *J Mol Liq.* 2019;281:315–23.
31. Suppiah DD, Bee S, Hamid A. One step facile synthesis of ferromagnetic magnetite nanoparticles. *J Magn Magn Mater.* 2016;414:204–8.
32. Bezdorozhev O, Kolodiazhnyi T, Vasylykiv O. Precipitation synthesis and magnetic properties of self-assembled magnetite-chitosan nanostructures. *J Magn Magn Mater.* 2016;
33. Alfredo V, Villegas R, Isaías J, Ramírez DL, Guevara H, Sicairos SP, et al. Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles for photocatalysis of nitrobenzene. *J Saudi Chem Soc.* 2019;
34. Jorge M, Nilson M, Machuca-martínez F. Data on the removal of metals (Cr^{3+} , Cr^{6+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}) from aqueous solution by adsorption using magnetite particles from electrochemical synthesis. *Data Br.* 2019;24.
35. Kashif M, Kim Y, Choi Y. Magnetite synthesis using iron oxide waste and its application for phosphate adsorption with column and batch reactors. *Chem Eng Res Des.* 2019;148:169–79.
36. Ozcan F, Ersoz M, Yilmaz M. Preparation and application of calix [4] arene-grafted



- magnetite nanoparticles for removal of dichromate anions. *Mater Sci Eng C*. 2009;29(8):2378–83.
37. Kashif M, Phearom S, Choi Y. Chemosphere Synthesis of magnetite from raw mill scale and its application for arsenate adsorption from contaminated water. *Chemosphere*. 2018;203:90–5.
 38. Marín T, Montoya P, Arnache O, Pinal R, Calderón J. Development of magnetite nanoparticles/gelatin composite films for triggering drug release by an external magnetic field. *Mater Des*. 2018;152:78–87.
 39. Berger D, Maria C, Ionita D, Valentin I. Box-Behnken experimental design for chromium (VI) ions removal by bacterial cellulose-magnetite composites. *Int J Biol Macromol*. 2016;(Vi).
 40. Selim MS, Elmarakbi A, Azzam AM, Shenashen MA. Progress in Organic Coatings Eco-friendly design of superhydrophobic nano-magnetite/silicone composites for marine foul-release paints. *Prog Org Coatings*. 2018;116(February 2017):21–34.
 41. Ding C, Cheng W, Nie X, Yi F. Synergistic mechanism of U (VI) sequestration by magnetite-graphene oxide composites: Evidence from spectroscopic and theoretical calculation. *Chem Eng J*. 2017;324:113–21.
 42. Shokrollahi H. A review of the magnetic properties, synthesis methods and applications of maghemite. *J Magn Magn Mater*. 2017;426(July 2016):74–81.
 43. Patra D, Gopalan B, Ganesan R. Direct solid-state synthesis of maghemite as a magnetically recoverable adsorbent for the abatement of methylene blue. *J Environ Chem Eng*. 2019;7(5):103384.
 44. Ianoş R, Moacă E, Căpraru A, Lazău R, Păcurariu C. Maghemite, γ -Fe₂O₃, nanoparticles preparation via carbon-templated solution combustion synthesis. *Ceram Int*. 2018;
 45. Dyer L, Fawell PD, Newman OMG, Richmond WR. Synthesis and characterisation of ferrihydrite/silica co-precipitates. *J Colloid Interface Sci*. 2010;348(1):65–70.
 46. Pariona N, Camacho-aguilar KI, Ramos-gonzález R, Martínez AI, Herrera-trejo M, Baggio-saitovitch E. Magnetic and structural properties of ferrihydrite/hematite nanocomposites. *J Magn Magn Mater*. 2016;406:221–7.



PRESENTACIONES

PONENTES



DR. ORLANDO BELLETE

I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO

**Título: Evaluación del volumen
de mineral extraído en minas a cielo
abierto**



Presentado por: Dr. Orlando Belette Fuentes. Profesor Titular



Introducción

En Cuba, la explotación de los yacimientos lateríticos se realiza en minas a cielo abierto. El aumento de los volúmenes de producción de níquel es una dirección estratégica del desarrollo de la economía de nuestro país, que posee una perspectiva duradera.

En medio de esta realidad, emerge la necesidad de elaborar un nuevo procedimiento basado en los resultados de los levantamientos topográficos para calcular volumen, para alcanzar una mayor precisión del mineral que se extrae de los frentes de arranque, de manera que contribuya fehacientemente al perfeccionamiento de la planificación minera, y contribuya con dar respuesta a aspectos relacionados con la precisión de los trabajos topográficos mineros que constituyen preocupaciones en el ámbito académico, científico y empresarial. Pues se pretende conocer ¿Cómo valorar la precisión de las poligonales construidas con estaciones totales?, cuales son los errores que afectan el cálculo de volumen?



Introducción

Estudios realizados por Chaiko (1969), Alfonz (1984), Batrakov (1987), Belete, (2000), Sánchez (2010), Herrera, (2012), Batista, (20013), sobre el cálculo de volumen de mineral extraído en estos yacimientos, no refieren de manera crítica el estado de los trabajos topográficos ni la precisión con que debe obtenerse cuando las mediciones se realizan con el empleo de estaciones totales.

La explotación de los yacimientos lateríticos cubanos necesita de un conjunto de modificaciones, que integre elementos relacionados con la precisión del cálculo de volumen, la influencia de la refracción atmosférica y el gradiente térmico vertical, en los resultados de la nivelación trigonométrica y la exactitud de las poligonales y levantamientos topográficos realizados con estaciones totales y GPS, para que la dirección de la mina cuente con la información necesaria, que le permita utilizar de forma adecuada el cálculo de los recursos minerales y cumplir el plan de producción eficientemente.



Objetivo e Hipótesis

Objetivo:

- Elaborar una metodología basada en los resultados de los levantamientos topográficos para calcular volumen, para alcanzar una mayor precisión del mineral que se extrae de los frentes de explotación.



Hipótesis:

- Si se determinan los errores del levantamiento taquimétrico con estaciones totales y se diseña un modelo para determinar la masa volumétrica, entonces se puede elaborar un nuevo procedimiento basado en los resultados de los levantamientos topográficos para calcular volumen, para alcanzar una mayor precisión del mineral que se extrae de los frentes de explotación.





Métodos



- El autor realiza una sintaxis sobre los softwares topográficos actuales empleados para el cálculo de poligonales y cálculo de volumen e ilustra varios ejemplos que facilitan el aprendizaje, además, muestra todo un algoritmo de cálculo hasta la obtención de los principales errores obtenidos durante el procesamiento, pero no define criterio alguno de los valores permisibles para cada tipo de poligonal.
- Se utilizaron las estaciones totales Sokkia Set 3010 #22878 y 32547 calibradas y certificadas.
- El cálculo de los errores se fundamentó en el método de Chaikó (1971) y modificada por el autor, según las condiciones del yacimiento.



Los datos obtenidos proceden de mediciones topográficas realizadas en diferentes frentes de extracción en los yacimientos en cuestión pertenecientes a la región minera de Moa, Holguín, Cuba. Se aplica la teoría de los errores de las mediciones y se utiliza la regla de las tres sigmas para eliminar los posibles errores de la data. Se utiliza el método de estadística matemática para valorar la ley de distribución y la semejanza de dos yacimientos. Los cálculos se hicieron con los sistemas informáticos Surfer-8, Cartomap, AutoCAD civil3D 2010 [2].

Se investigaron los siguientes errores propios del levantamiento taquimétrico y su influencia en el cálculo de volumen:





- Existe una diferencia entre el volumen reportado por topografía y el que reporta la fabrica, valores que sobrepasan el permisible 2.5 %.
- Diferencia entre el mineral calculado por topografía y el estimado 4 %.
- Error del método topográfico 2.5 %.



Se descubren los siguientes errores del cálculo de volumen:

1. Error de la posición de los puntos en la red de levantamiento,
2. Error de los contornos de los bordes superior e inferior de los escalones,
3. Error por la irregularidad de los perfiles de los taludes,
4. Error total de determinación del volumen del mineral extraído en el levantamiento taquimétrico.

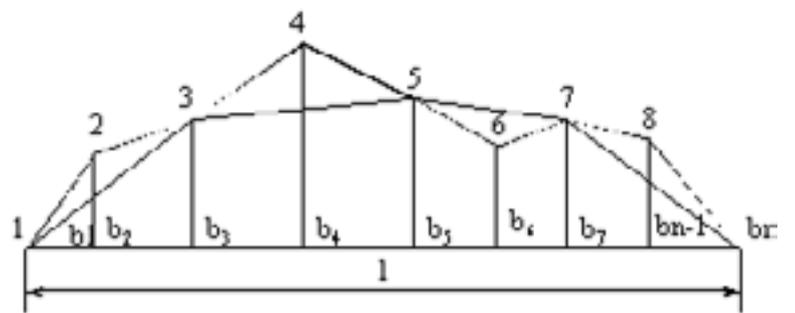
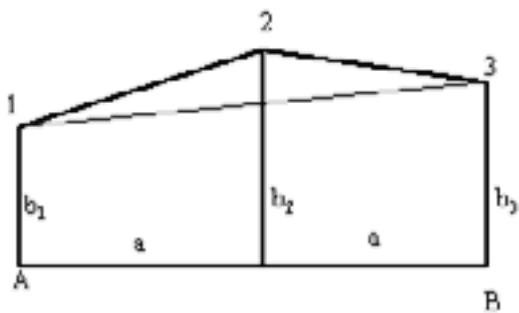


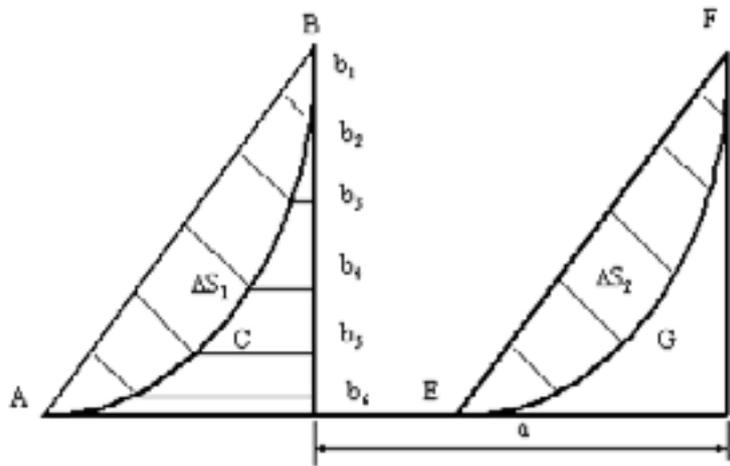


El levantamiento con estaciones totales que se realiza al principio y final de cada mes se ejecuta desde diferentes posiciones de los puntos de la red de apoyo, produciéndose grandes desviaciones en la determinación de los volúmenes, influenciado en los errores de la posición del punto en la red de levantamiento.

Es evidente que si aumenta el ancho del frente de excavación, disminuye el error del cálculo de volumen. Los autores deducen que las exigencias para la exactitud en la determinación de los puntos de la red de levantamiento deben ser diferentes en dependencia del ancho del frente de excavación para cada mina.







WUOLR



Resultados



Resultados y análisis





Determinación de los errores medios de la posición de los puntos en la red de levantamiento

YACIMIEN TO	m_c (m)	L (m)	d (m)	H (m)	M_v (m ³)	M_{vc} (%)
Punta Gorda	0.86	80	67.7	9.35	643.28	1.87
Yagrumaje Este	0.74	80	58.6	15.28	904.57	2.00



Determinación de los errores medios de la posición de los puntos en la red de levantamiento

Yacimiento	Sector	Errores de m_{bmedia}			Coeficiente de irregularidad (K)		
		a=10	a=20	a=40	a=10	a=20	a=40
Punta Gorda	11	0.50	0.86	1.53	0.63	0.54	0.48
Yagrumaje Este	14	0.71	0.80	1.70	0.89	0.50	0.53

Resultado de los errores relativos de determinación del volumen sin considerar el coeficiente K

Yacimiento	Sector	M _{sa} (m ²)			Errores relativos de determinación del volumen					
		10	20	40	m ³			%		
					10	20	40	10	20	40
Punta Gorda	11	56	96.5	172	116	249	532	0.49	1.04	2.25
Yagrumaje E.	14	80	89.4	189.5	189	406	870	0.48	1.03	2.20



Resultado del cálculo del coeficiente de irregularidad (K)

Yacimiento	Sector	m _{sa} m ²)			Error relativo de determinación del volumen					
		10	20	40	m ³			%		
					10	20	40	10	20	40
Punta Gorda	11	56	96.5	172	371	637	1141	1.17	2.30	4.67
Yagrumaje E	14	80	89.4	189.5	867	969	2053	1.35	2.70	5.40





Resultado de los errores relativos de determinación del volumen sin considerar el coeficiente K

Yacimiento	Frentes	ΔS_1 ; m ²	ΔS_2 ; m ²	Δ_{media}	ΔV ; m ³	M_{VO} %
Punta Gorda	1	9.54	11.56	-2.02	323.2	2.36
	2	7.63	11.44	-3.31	609.6	3.56
	3	5.69	9.56	-3.87	619.2	3.64
Yagrumaje Este	1	9.24	14.96	-5.72	192.0	4.07
	2	8.5	11.00	-3.52	563.2	0.06
	3	7.48	8.31	0.120	915.3	10.6



Determinación de los errores por la irregularidad de los perfiles de los taludes

Yacim.	M_{vc}	M_{va}	M_{vo}	M_{vT}	M_{vH}	M_{vp}	M_v
	1	2	3	4	5	6	7
P. Gorda	1.87	1.17	2.36	1.10	0.15	0.11	3.42
P. Gorda	1.87	2.30	3.56	1.16	0.21	0.16	4.78
P. Gorda	1.87	4.67	3.64	1.25	0.29	0.22	6.34
Moa	1.97	1.35	4.07	0.73	0.16	0.25	4.78
Moa	1.7	2.7	0.06	0.80	0.22	0.51	3.48
Moa	1.97	5.4	10.6	0.92	0.32	1.03	12.1





Determinación de la masa volumétrica

- Filtración de los datos en la columna de un pozo criollo por los métodos de la magnitud centrada (Shovens) y desviación normada (Grebbs) para laterita de balance y serpentina blanda.
- Determinación de la ley de distribución masa volumétrica.
- Prueba de la bondad de ajuste por el método Kolmogorov-Smirnov por tipos de mena



Prueba de la bondad de ajuste por el método Kolmogorov-Smirnov por tipos de mena

Tipo de mena	Tipo de distribución		
	Normal	Ganma	Beta
LB	0.179	0.048	0.074
SB	0.116	0.113	0.072





Prueba de la bondad de ajuste por el método Chi - Cuadrado por tipos de mena

Tipo de mena	Tipo de distribución		
	Normal	Ganma	Beta
LB	6.0	3.9	6.5
SB	6.9	1.9	2.5

WUOLR

Los valores críticos para ambos horizontes respectivamente son 7.81 para LB y 9.5 para SB



Representación espacial de la masa volumétrica

																U
																T
	1.12		1.19			1.3										S
	1.15		0.90	1.05	1.3											R
1.08	1.43	1.09	1.12	1.39	1.1											Q
		1.20	1.54	1.03	1.2						0.92	1.10				P
0.96	1.07	1.15	1.13	1.13	1.3	1.16				0.92	0.93					O
1.18																N
0.86	1.12	1.16	0.98	1.0	1.33						0.96	0.78	1.04			M
																L
0.93		1.38	1.2	0.95				1.08						1.06		K
42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56		





Gráfico de control para la determinación de las zonas de laterita de balance

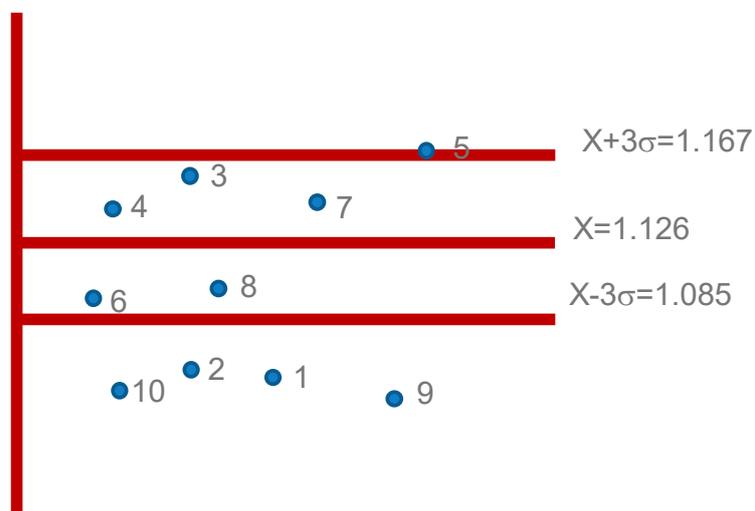
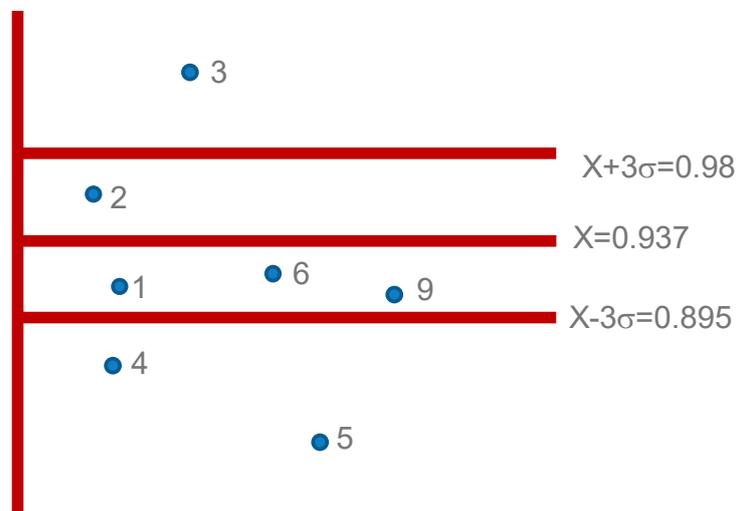
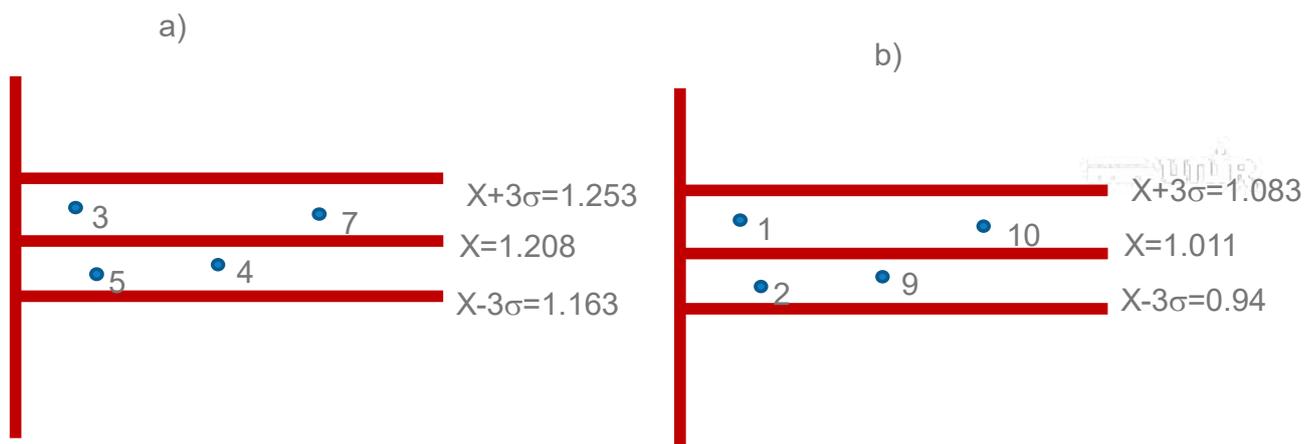


Gráfico de control para la determinación de las zonas de serpentina blanda

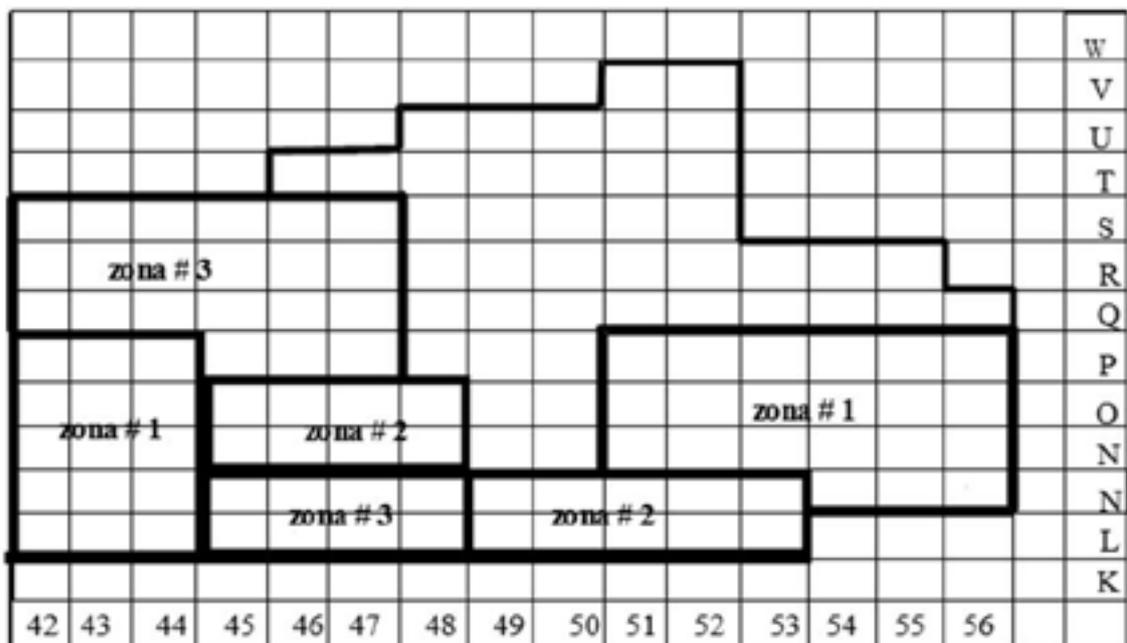




Gráficos de control para la comprobación de las restantes zonas: a) para el grupo 2; b) para el grupo 3 de laterita de balance respectivamente.



División del yacimiento en grupos homogéneos(vistos para la laterita de balance)



Para conocer si las zonas elegidas son realmente heterogéneas entre si, o si cabe la posibilidad de unir una zona con otra, se comprobó la homogeneidad estadística, aplicando el criterio t de Student para las zonas obtenidas, en las cuales las tres zonas pueden considerarse aproximadamente heterogéneas, dando la posibilidad a la agrupación por zonas.

(Por ejemplo, en las zonas 2 y 3 se obtuvo que t_{2-3} calculado es igual 2.8, y el tabulado es igual $t_{\alpha} = 1.68$, se rechaza la hipótesis de que t_{2-3} es menor que t_{α}).





Principales características estadísticas de la distribución de las zonas por tipos de mena

Menas	Zonas	X	s	A	E	Xcal
LB	1	1.022	0.193	0.29	2.9	1.022
	2	1.137	0.177	0.82	3.25	1.137
	3	1.208	0.234	0.41	2.61	1.208
SB	1	0.867	0.146	0.30	3.4	0.867
	2	0.915	0.115	0.11	3.18	0.915
	3	1.045	0.204	0.23	2.00	1.045



La división del yacimiento en grupos homogéneos fue comprobada por el método paramétrico de Student para k objetos, en la cual la muestra inicial se subdividió en distintos grupos y mediante éstos se calcularon las estimaciones de las medias aritméticas y las varianzas muestrales. Como resultado de este tratamiento, se pudieron distinguir los grupos estadísticos homogéneos por la magnitud de su masa volumétrica, o bien se demostró que todos los k objetos (entiéndase por k objeto a los subgrupos del 1-10 vistos en el caso anterior) están caracterizados por la diferencia significativa de los valores de sus masas volumétricas promedios.





De esta manera, la investigación efectuada con los 10 subgrupos de muestras permitió dividir el yacimiento en tres grupos de objetos por el valor medio de la masa volumétrica: el grupo 1 une a los subgrupos 6 y 8 con una estimación de la masa volumétrica promedio de 1.022 ; el grupo 2 el cual está compuesto por los subgrupos 3, 4, 5 y 7 con una estimación de 1.137 y el grupo 3 formado por los subgrupos 1, 2, 9 y 10 con una estimación de la masa volumétrica de 1.208. Del mismo modo se realizó para la serpentina blanda.



EFECTO DE LA APLICACIÓN DE LAS METODOLOGIAS ELABORADAS

El efecto se obtuvo en función del volumen calculado y la masa volumétrica obtenida según la zonificación creada. Para ello fue necesario tener en cuenta los datos de la extracción de un año en el yacimiento Punta Gorda, para poder compararlo con los resultados obtenidos con la aplicación de las metodologías propuestas de determinación del volumen de mineral extraído y masa volumétrica mullida.





a) **Efecto considerado por los errores del levantamiento taquimétrico:**

- Producción anual de la mina 1 147 748.4 m³ al año;
- Error obtenido en el yacimiento Punta Gorga 3.3 %;

Por tanto, $1\ 147\ 748.4 * 0.033 = 37\ 876\ m^3$

- Masa volumétrica (promedio de LB y SB)= 1,105 t/m³;
- Entonces $37\ 876 * 1.105 = 41\ 853\ t$.

b) Efecto producido por la aplicación de la filtración de los datos a las cotas altimétricas:

$1\ 147\ 748.4 * 0.016 = 18\ 364\ m^3$

$18364 * 1.105 = 20\ 292\ t$

Si a la diferencia hallada le aplicamos las correcciones por el modelo geométrico estructural (zonificación del yacimiento) de la masa volumétrica para el año analizado se obtiene lo siguiente:



Balance anual del mineral calculado según propuesta del modelo

MES	Real minado, t	Según modelo, t	Diferencia, t	%
ENERO	128 652	116 075	12 575	9.8
FEBRERO	128 646	114 931	13 715	10.0
MARZO	113 694	102 154	11 540	10.1
ABRIL	64 036	60 689	3 347	5.2
MAYO	72 796	67 665	5 131	7.0
JUNIO	123 927	112 805	11 122	9.0
JULIO	146 979	134 909	12 070	8.2
AGOSTO	83 179	76 799	6 380	7.7
SEPTIEMBRE	81 947	75 258	6 689	8.2
OCTUBRE	134 946	123 359	11 587	8.6
NOVIEMBRE	89 538	81 902	7 636	8.5
DICIEMBRE	99 926	91 379	8 547	8.5
TOTAL	1 268 262	1 157 923	110 339	8.7

Real minado 1 268 262

Alimentado a hornos 1 055 736

Conclusiones

- La evaluación del volumen de mineral extraído en minas a cielo abierto, se realizó a través de una metodología validada en los yacimientos estudiados, con los datos del levantamiento taquimétrico para calcular volumen, con las estaciones totales, que permitió disminuir la diferencia entre la mina y los depósitos en la empresa Ernesto Guevara de 8% a 0.6%, por debajo del valor permisible (2.5%), alcanzándose un efecto de alrededor de 500 000 dólares al año.



- Se argumenta científicamente la determinación de los errores cometidos en el levantamiento taquimétrico en estos tipos de yacimientos de estructura variable de yacencia y su influencia en el cálculo de volumen.
- Fue creada una metodología para la toma de los datos iniciales para calcular volumen cuando se utilizan los resultados del levantamiento taquimétrico.
- Se elaboró un modelo geométrico estructural (zonificación) para la determinación de la masa volumétrica del mineral mullido en los yacimientos lateríticos.





MUCHAS GRACIAS



PHD. XAVIER BUENAÑO



www.esPOCH.edu.ec





I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO

Gestión Eficiente del Drenaje Ácido en Minería Metálica

Presentado por: PhD. Ing. Xavier Buenaño

dr.x.buenanio@gmail.com

TEOREMA^A



Índice de la presentación





Introducción

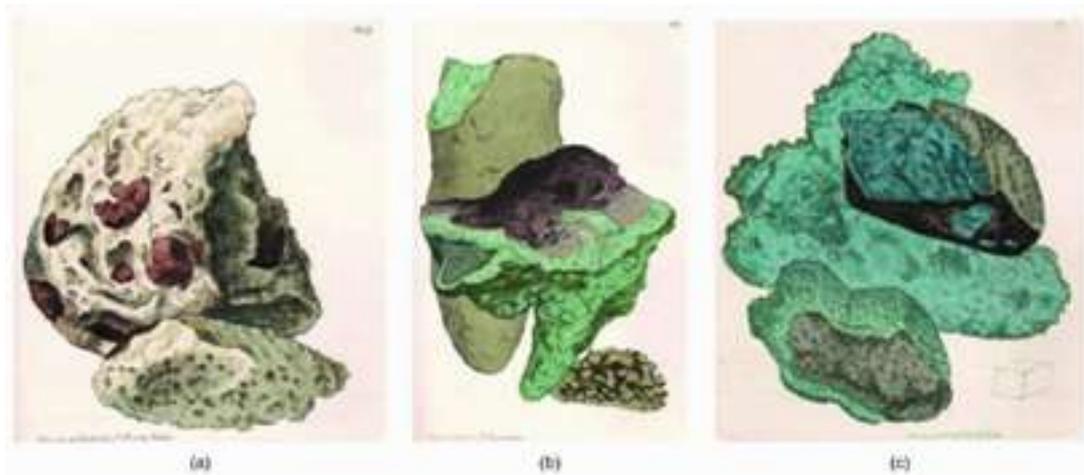
- El **drenaje ácido** de mina constituye el principal impacto ambiental de la minería metálica en la mayoría de proyectos mineros – Agua residual con alto potencial de solubilización.
- Características:
 - Contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión
 - Alto contenido en sulfato y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni)



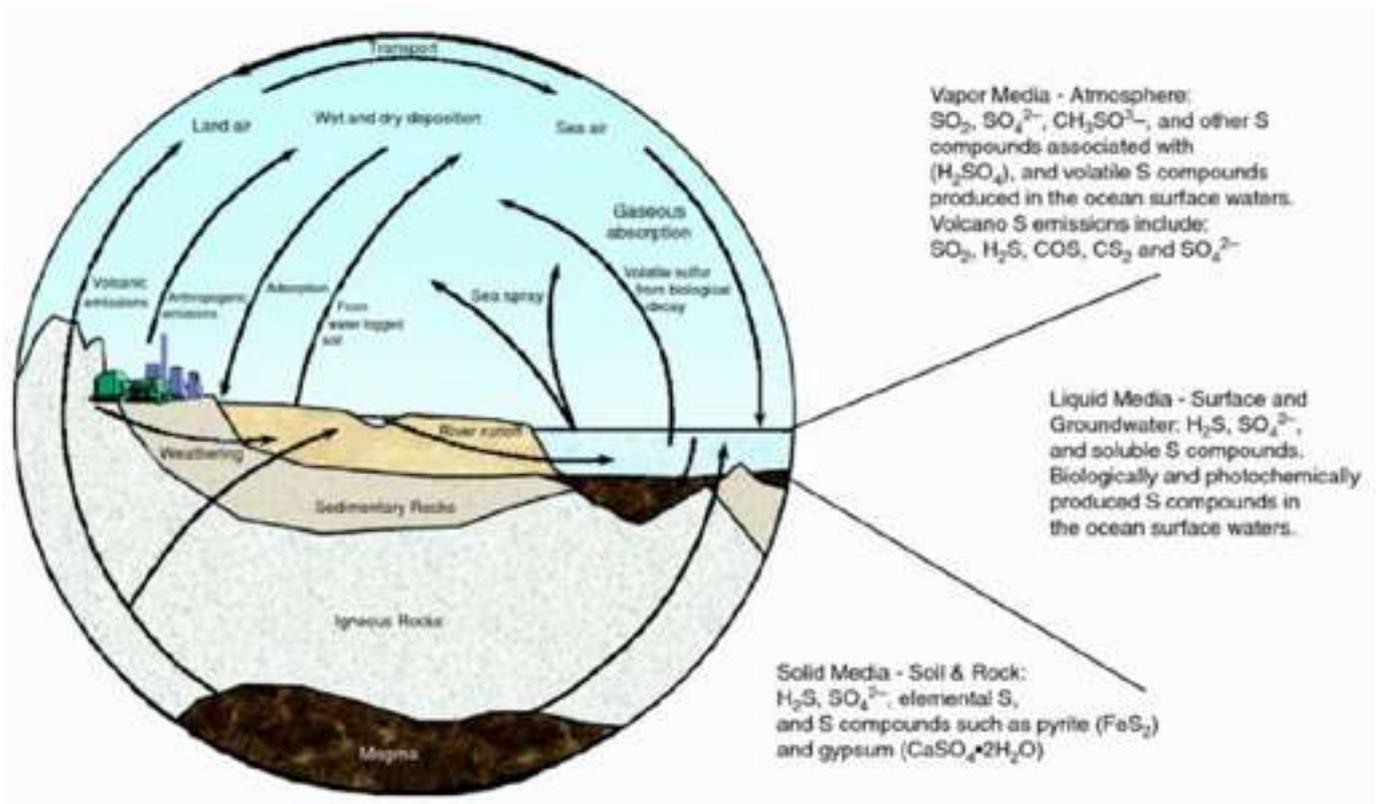
CONGRESO INTERNACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2020



- Sulfatos de: a) Zinc, b) Hierro; y, c) Cobre

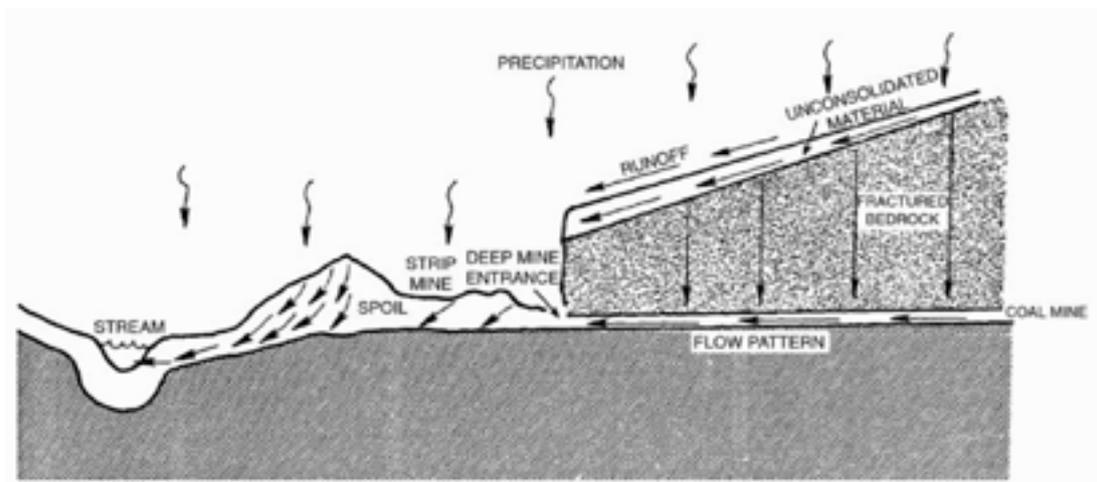


Fuente: Testa Geological Heritage Library



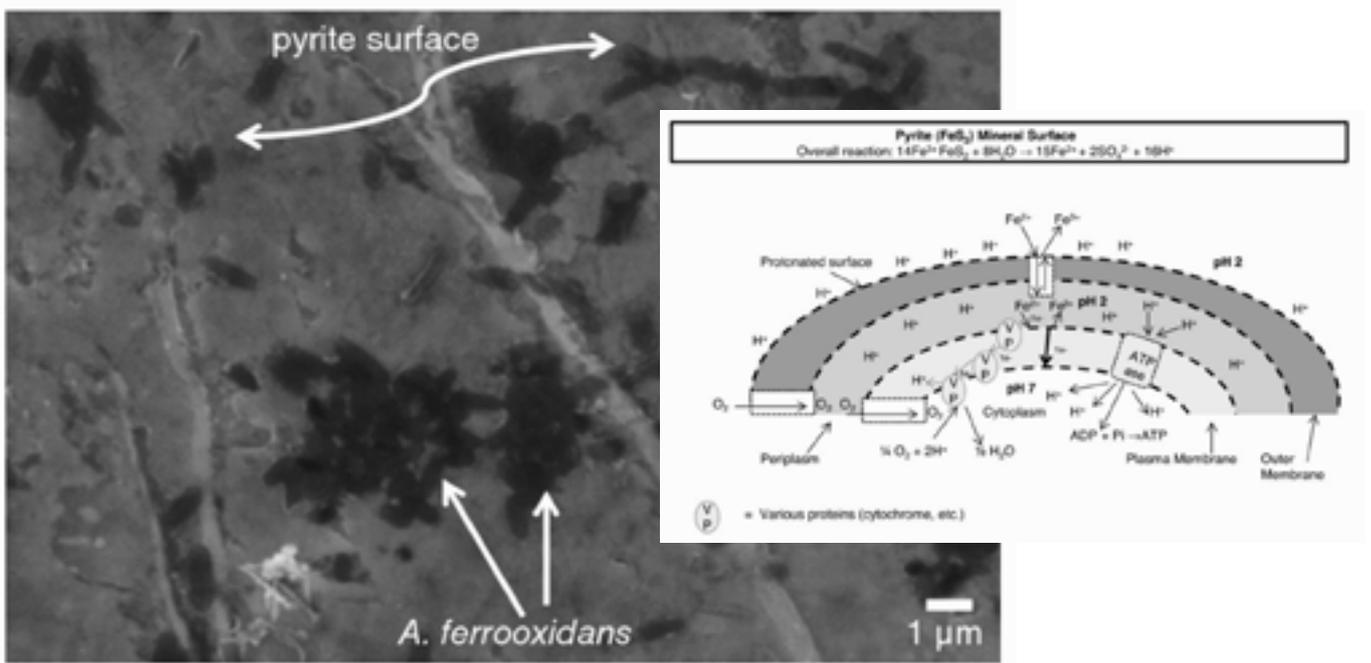
Ciclo natural del azufre





Migración del agua de lluvia





Micrografía electrónica de barrido de una superficie de pirita después de colonización de 30 días de *A. ferrooxidans*

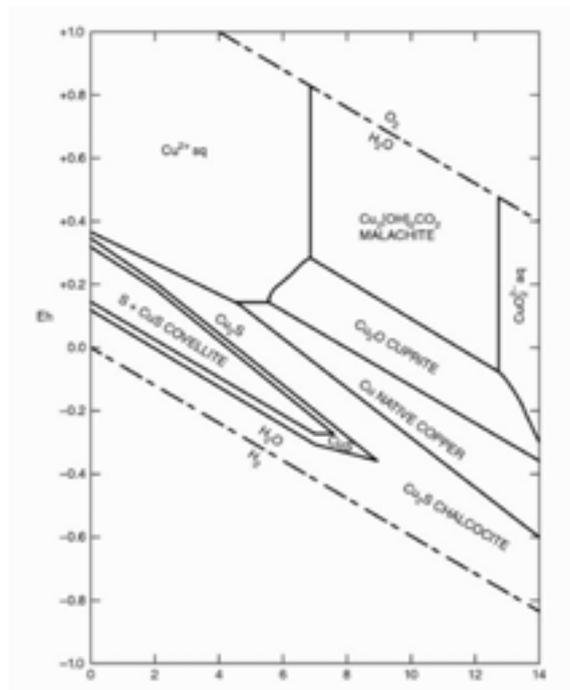


Diagrama Eh-pH para un sistema "Cu-H₂O-O₂-S-CO₂" (Garrels y Christ, 1965)



CONGRESO INTERNACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGIA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2020





Desarrollo

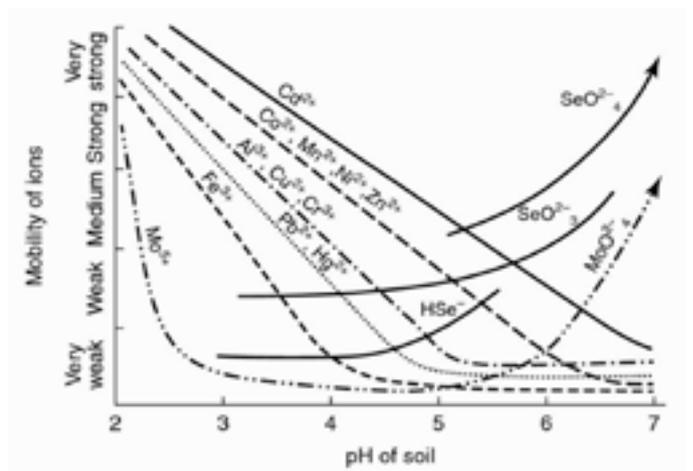


- Cómo abordar:
 - Prevención: Caracterización geoquímica
 - Activos
 - Pasivos



Environmental Effects	pH Value	Examples
ACIDIC	pH = 0	Battery acid
	pH = 1	Sulfuric acid
	pH = 2	Lemon juice, Vinegar
	pH = 3	Orange juice, Soda
	pH = 4	Acid rain (4.2-4.4)
All fish die (4.2)	pH = 4.5	Acidic lake (4.5)
Frog eggs, tadpoles, crayfish, and may flies die (5.5)	pH = 5	Bananas (5.0-5.3)
NEUTRAL	pH = 6	Clean rain (5.6)
	pH = 6.5	Healthy lake (6.5)
	pH = 7	Milk (6.5-6.8)
	pH = 7	Pure water
	pH = 8	Sea water, Eggs
BASIC	pH = 9	Baking soda
	pH = 10	Milk of Magnesia
	pH = 11	Ammonia
	pH = 12	Soapy water
	pH = 13	Bleach
	pH = 14	Liquid drain cleaner

pH



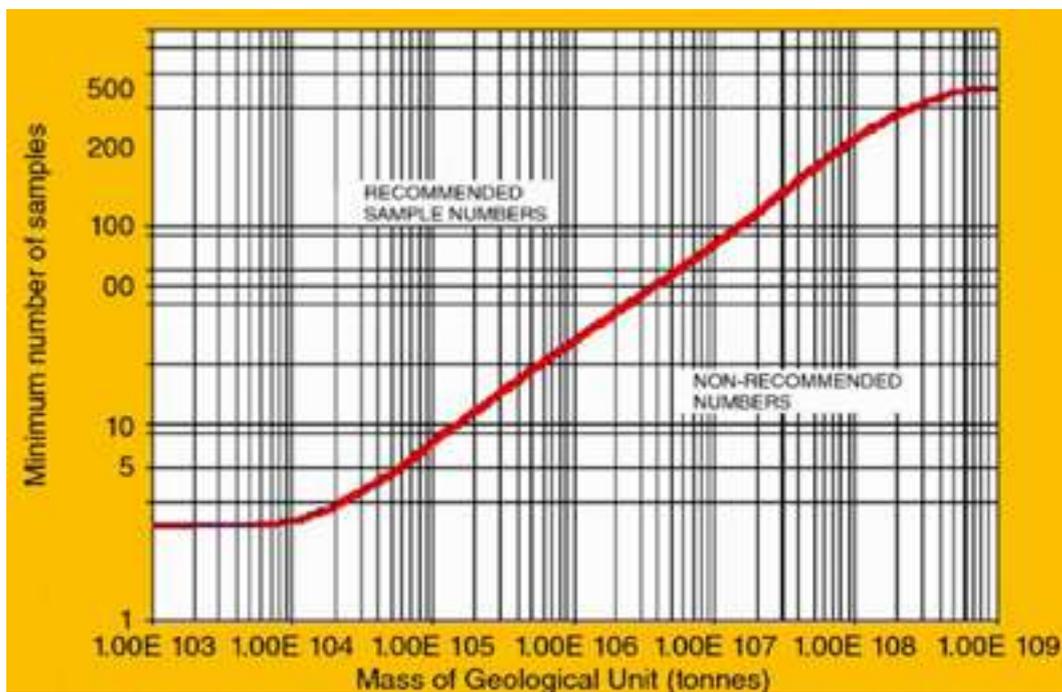


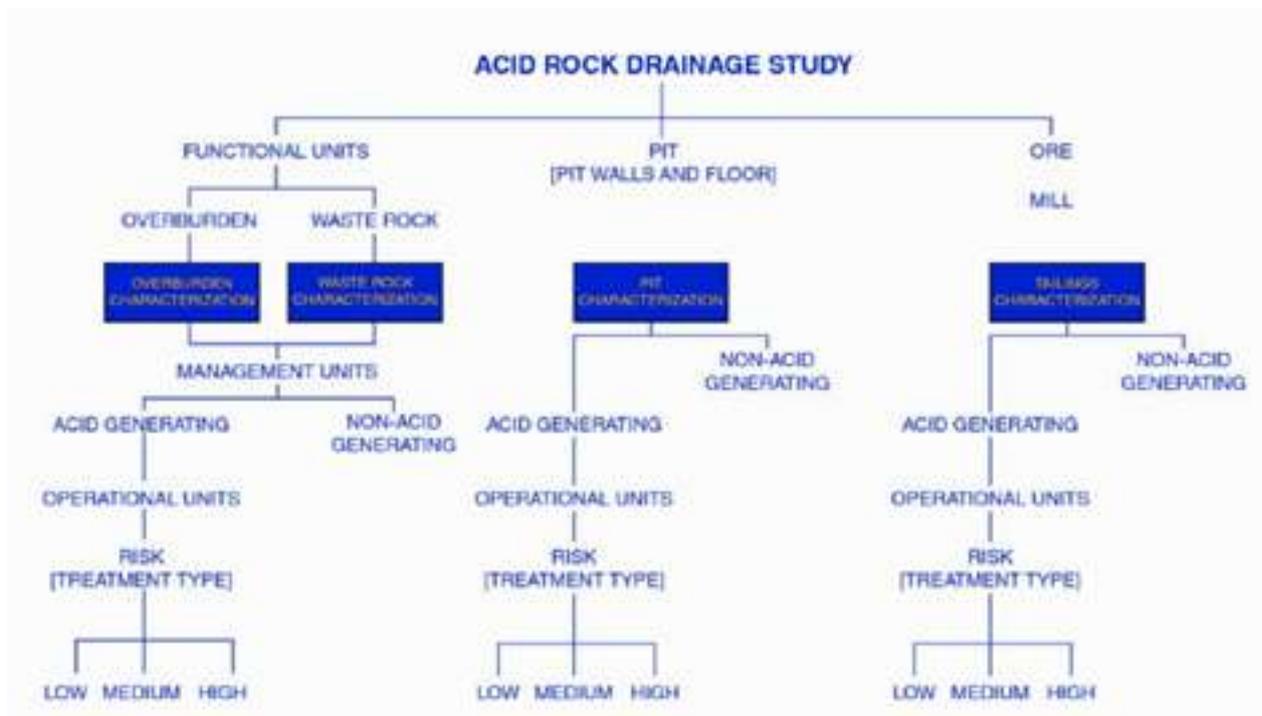
Componentes básicos de un programa de muestreo ARD

- Planificación y diseño
- Pruebas estáticas
- Pruebas en celdas cinéticas (EPA 1627) y de humedad
- Tipos de muestras y preparación
- Análisis químico
- Aseguramiento y control de calidad
- Análisis geológico
- Análisis mineralógico
- Análisis de planta piloto de relaves
- Preparación y presentación de datos
- Supervisión del proyecto por profesional competente



Cuántas muestras debo tomar ?

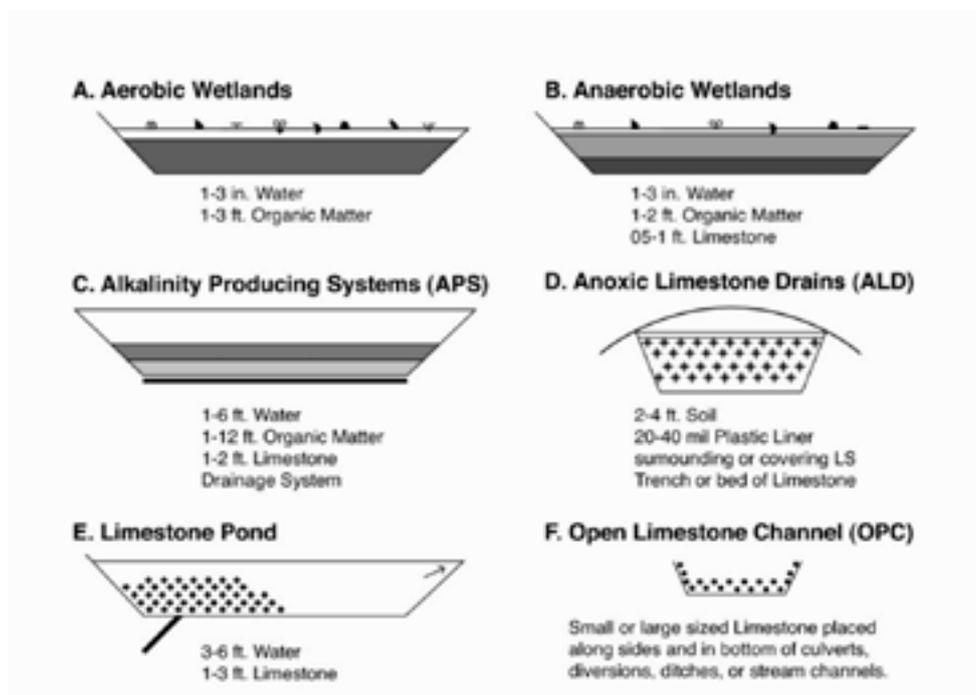




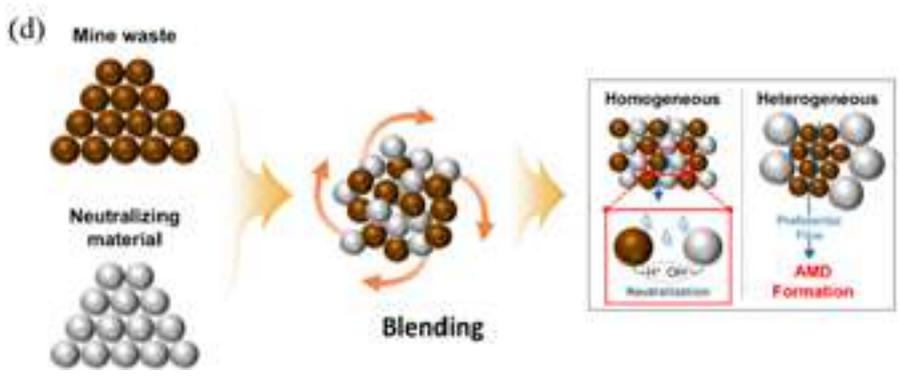
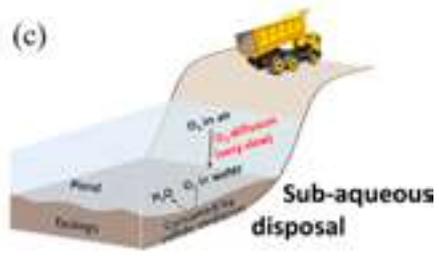
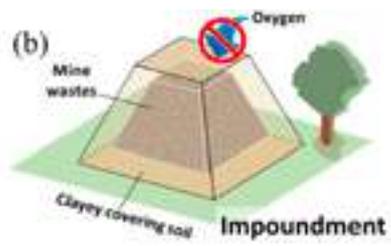
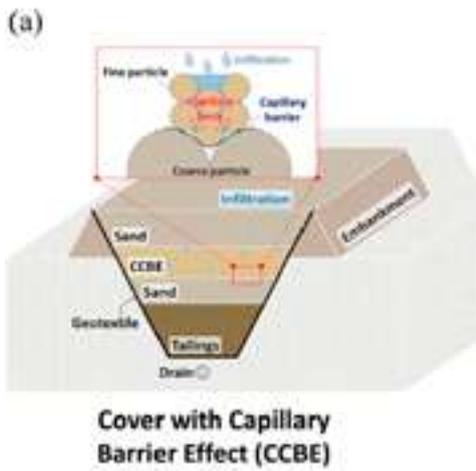
Alcance de la caracterización y análisis por cada componente de la actividad minera



Sistemas de tratamiento pasivo



UNIR



Diagramas esquemáticos de:

(a) cubierta con efecto barrera capilar (Mancarella y Simeone, 2012; Molson et al., 2004)

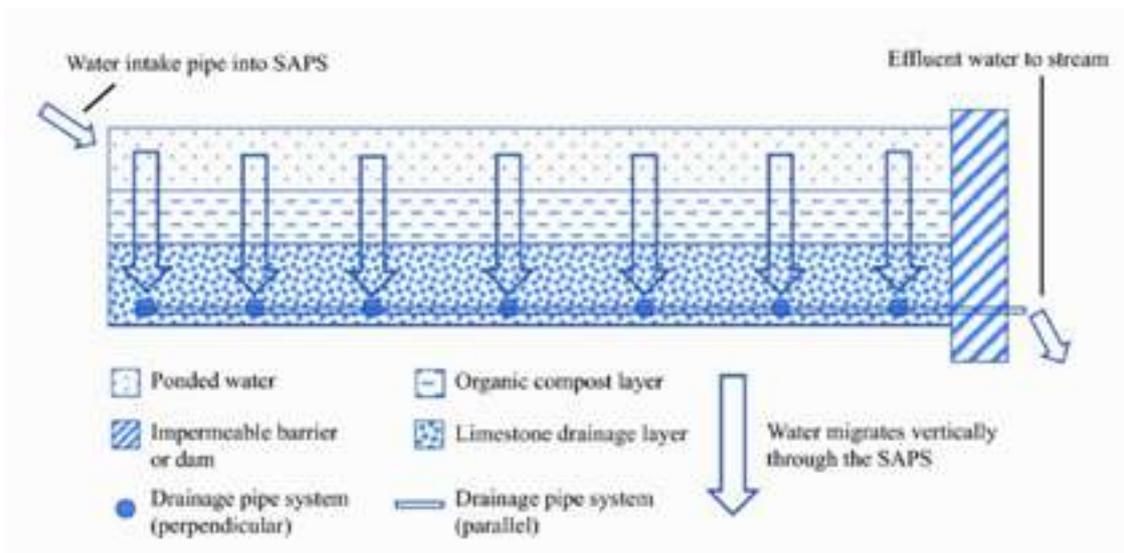
(b) Embalse

(c) Disposición subacuosa, y

(d) Mezcla de desechos de minas con materiales neutralizantes.

Tomado de: Park, I, y otros, 2019





Ejemplo de tratamiento pasivo (sección transversal)
(Fripl. y otros, 2000)





Dren de caliza anóxica



CONGRESO INTERNACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2020



Sistema de tratamiento activo

- Un circuito de neutralización química para extraer de la solución:
- la acidez - por neutralización
- los metales pesados - por hidrólisis y precipitación
- otros contaminantes como sólidos suspendidos, arsenato, antimonio por formación de un complejo y precipitación.

UNIR



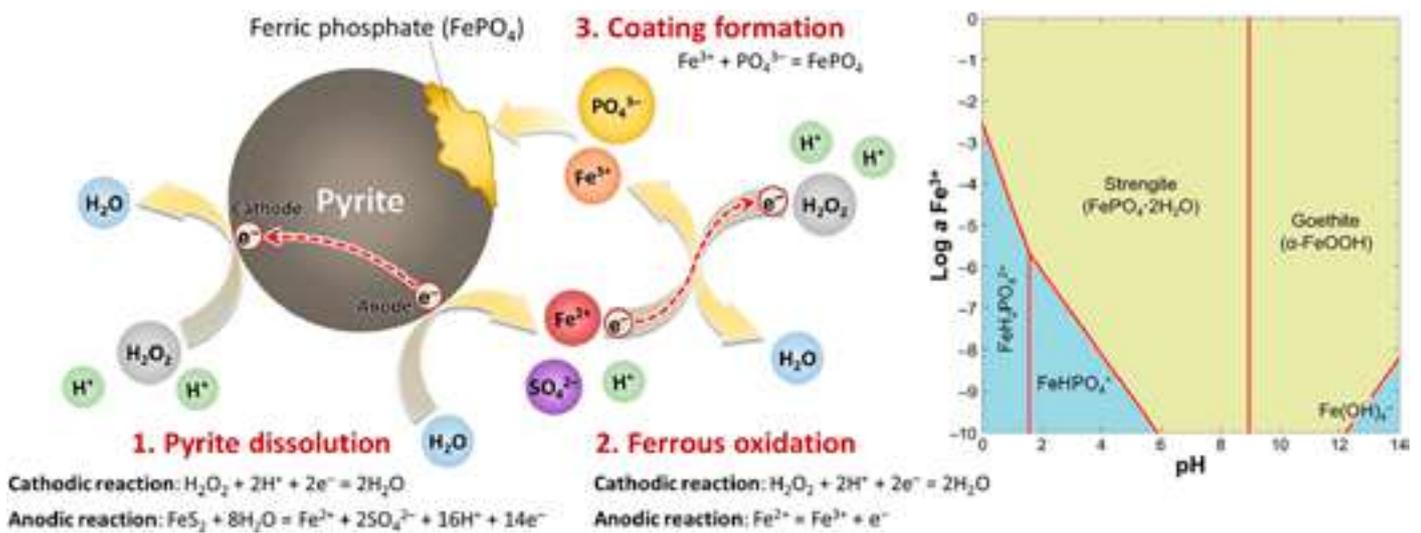
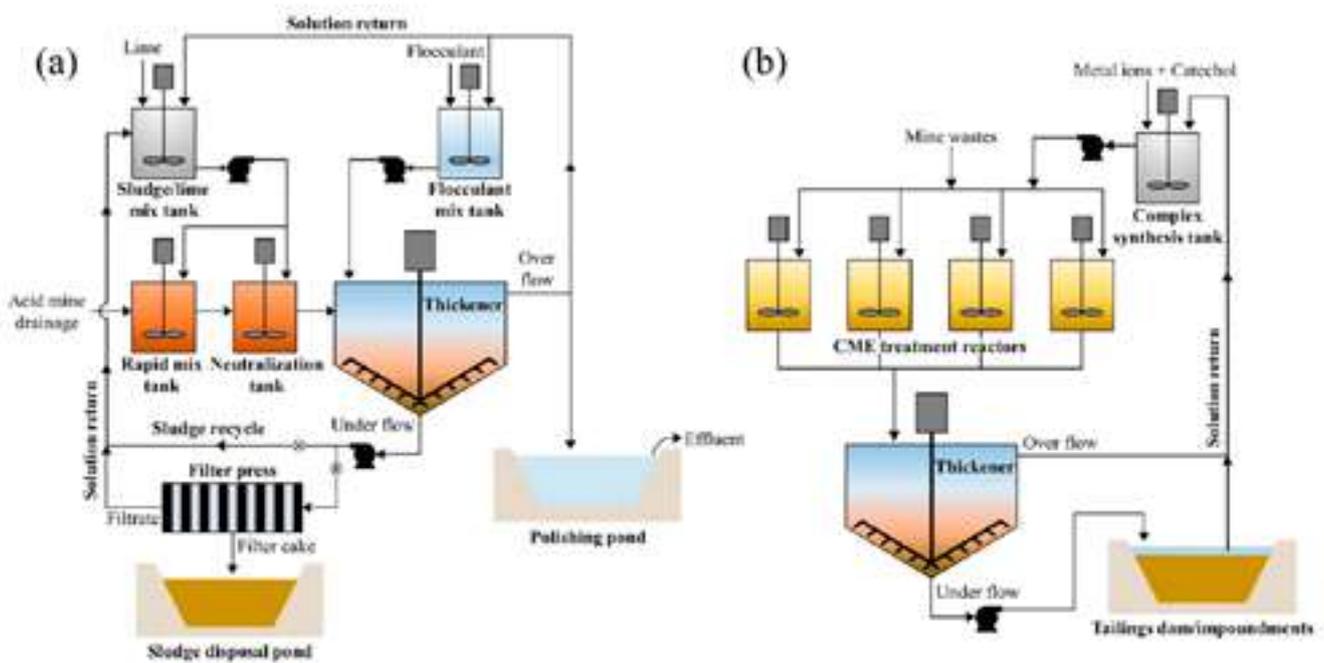


Diagrama esquemático de la formación de un revestimiento de fosfato férrico en pirita, y un diagrama de predominio de actividad logarítmica pH de hierro a 25° C y 1.013 bar en presencia de fosfato (Gustafsson, 2010)



Principales químicos usados

			Conversion	Neutralization	2010 Cost ^c
Common Name	Chemical Name	Formula	Factor ^a	Efficiency ^b (%)	(\$/ton or gal)
Limestone	Calcium carbonate	CaCO ₃	1.00	30	60/ton
Hydrated lime	Calcium hydroxide	Ca(OH) ₂	0.74	90	275/ton
Pebble quicklime	Calcium oxide	CaO	0.56	90	355/ton
Soda ash	Sodium carbonate	Na ₂ CO ₃	1.06	60	840/ton
Caustic soda (solid)	Sodium hydroxide	NaOH	0.80	100	1240/ton
Liquid caustic 20%	Sodium hydroxide	NaOH	784	100	0.95/gal
Liquid caustic 50%	Sodium hydroxide	NaOH	256	100	2.35/gal
Ammonia	Anhydrous ammonia	NH ₃	0.34	100	1000/ton



Flujograma de procesos: a) lodo de alta densidad, b)



Resultado del uso de floculantes



UNIR



Costos

Table 3

The estimated capital cost required for CME treatment.

Description	Cost (US\$ in thousands)	Description	Cost (US\$ in thousands)	Description	Cost (US\$ in thousands)
4 reactor tanks w/ agitators	81.6			Spare parts, 2%	16.7
1 Thickener	119.0	Equipment installation, 10%	38.9	Construction overheads, 13%	107.8
1 Underflow pump	86.7	Process piping, 30%	116.6	Eng. Proc. & Management, 15%	124.3
1 Complex make-up unit	45.9	Electrical, 20%	77.9	Total indirect cost	248.7
1 Complex storage tanks w/ agitator	37.4	Instrumentation, 16%	62.2	Total direct & indirect cost	1077.3
4 Distribution pumps	18.4	Building, 37%	144.0	Contingency, 25%	269.3
Total equipment cost	389.0	Total direct cost	828.6	Total estimated capital cost	1346.6



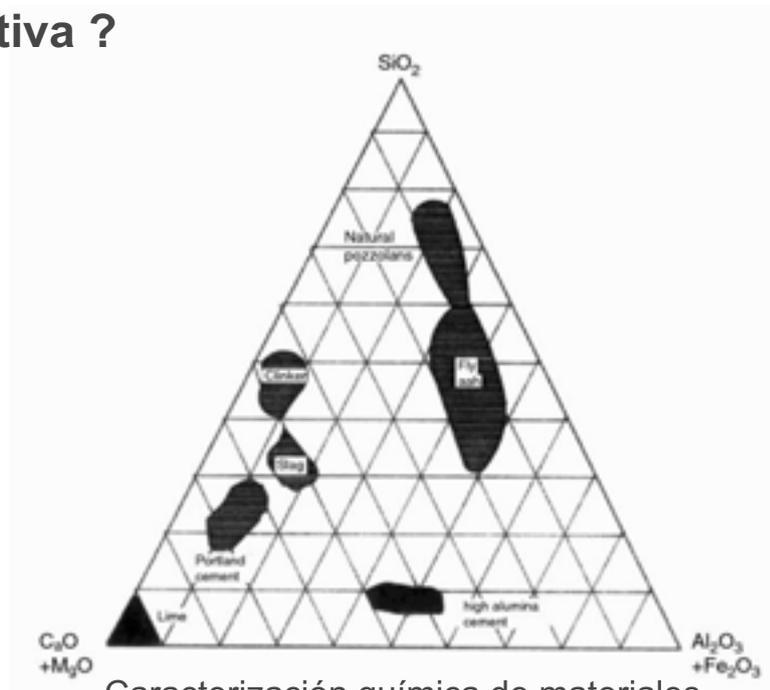
Table 4

Cost analysis of remediation (enhanced HDS process) and prevention (CME treatment) techniques.

Enhanced HDS process		CME treatment	
Acidity of AMD	5000 mg/L	Amount of tailings	200,000 tons
Flowrate	100 m ³ /h	Capital cost ^{a*}	US\$1,346,600
Capital cost ^a	US\$7,310,000	Operating cost ^{b*}	US\$2,720,000/year
Operating cost ^b	US\$2,720,000/year	Volume of reactor	50,000 L
Sludge production	24,000 m ³ /year	S/L ratio	30%
Sludge disposal cost (US\$6.8/m ³) ^c	US\$163,200/year	Retention time	1 day
Duration of treatment	100 years	Duration of treatment	9 years
CPVF	31.60	CPVF ^a	7.78
Total cost (a + CPVF × (b + c))	US\$98,420,000	Total cost (a* + CPVF* × b*)	US\$22,510,000



Inmovilización/uso de materiales “ácidos”, una alternativa ?



Caracterización química de materiales

UNIR





- Reciclaje de desechos mineros:
 - Materiales de construcción
 - Aditivos de cemento
 - Ladrillos de geopolímero



Conclusiones



- El mejor método para gestionar el drenaje ácido es la prevención, a través de la caracterización bio-geo-química de los materiales que serán parte del proyecto minero.
- No existe normativa ecuatoriana que regule la gestión del drenaje ácido de mina/roca.
- Los tratamientos pasivos se priorizan ante los activos, debido a aspectos técnicos y económicos.
- El uso de un determinado tratamiento pasivo está condicionado a las características particulares de la zona de actividad minera (geomorfología, dinámica hidrológica).





Conclusiones



- La búsqueda de alternativas para la disposición final de lodos de tratamiento de AMD o de material adsorbente es permanente y sujeto a permanente innovación.
- Se requiere un trabajo multidisciplinario: ingenieros geólogos, mineros, ambientales, geoquímicos.





www.espoch.edu.ec





PHD. MANUEL VIERA



"ASTROMINERÍA EL DESAFÍO DEL FUTURO"

I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Morona
Santiago CICTMS 2020
17 Nov. 2020



"La tierra es insultada, y ofrece sus flores como respuesta"

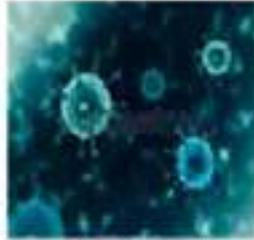
Rabindranath Tagore 1

PhD. Manuel Viera F.
Ingeniero de Minas Senior
Ceo & Managing Partner Metaproject S.A
Presidente Cámara Minera de Chile





El mundo esta viviendo algo jamás visto en su historia



Un virus microscópico

- ✓ Encerró a gente, prohibió abrazos, acabo con empleos, libero animales
- ✓ Aclaro el aire que respiramos
- ✓ Limpio las aguas
- ✓ Vacio las calles
- ✓ Apago autos e Industrias
- ✓ Silencio estadios de futbol
- ✓ Paraliza aviones
- ✓ Quebró empresas
- ✓ Templos cerrados
- ✓ Nos comunicamos por computadoras
- ✓ Fue culpa del Hombre?

Los padres vuelven a educar a su hijos en casa

- ✓ Es mas importante un conductor de camión que un piloto formula 1
- ✓ Es mas importante una enfermera que un jugador de futbol
- ✓ Es mas importante un agricultor mas que una estrella de futbol
- ✓ Antes no valoramos el aire que respiramos, pero ahora pagamos miles de USD por un aparato que nos ayude a respirar
- ✓ El mundo esta humillado y de rodilla antes un virus desconocido para la ciencia
- ✓ El dinero ya no es importante para los enfermos



© 2020 Meltipoint Chile. Todos los derechos reservados



¡Pero el Universo es vasto!

La luz tarda:

- ◊ 8 minutos en llegar desde el Sol
- ◊ 4 años en llegar desde la estrella más cercana (Alpha Centauri)
- ◊ 30 mil años en llegar desde el centro de la galaxia
- ◊ 2 millones de años en llegar desde la galaxia de Andrómeda
- ◊ 10 mil millones de años en llegar desde las galaxias más lejanas que se conocen





Antecedentes planeta moribundo



- ❑ El Planeta al 2050 no podrá alimentar a todos los seres humanos y animales que lo habitan, seremos más de 9.000 millones de personas,
- ❑ Habrá serios problemas de escasez de agua, escasez de fuentes de energía, y alimentos,
- ❑ Pues el planeta tendrá las aguas y los océanos muy contaminado,
- ❑ Habrá escasez de minerales estratégicos, que ponen en duda la sobrevivencia de nuestro mundo como lo conocemos
- ❑ El hombre un depredador del planeta
- ❑ Inminente probables guerras nucleares
- ❑ El hombre y los animales se pelearan por la comida
- ❑ Lo mas grave, la gente aun no es consciente del problema



ecedia

Posición de los
derechos reservados

Acronimia - El mundo d



PLANETA MORIBUNDO IMPLICA CONQUISTAR EL COSMOS



Muchos de los metales que escasean en la corteza terrestre y que son indispensables para la industria moderna (oro, platino, cobalto, manganeso, zinc, etc.) son muy abundantes en los asteroides.

De hecho, la corteza de la Tierra se formó sin estos materiales (que fueron arrastrados hacia el núcleo cuando el planeta se encontraba recién fundido a alta temperatura).

Fue una intensa lluvia de asteroides lo que volvió a depositar estos materiales sobre la corteza terrestre (tras su enfriamiento) en los momentos iniciales de la evolución del sistema solar.



Astronómia - El nuevo desafío | 27 de Abril 2020 | @QuedemE-Case

© 2020 Metaproject Chile. Todos los derechos reservados.



CINTURON DE ASTEROIDES

Se encuentra entre los planetas de Marte y Júpiter



Existen dos teorías como se ha formado:

Primera teoría: algunos científicos creen que se podría tratar de los restos de un planeta que ha quedado orbitando.

Segunda teoría: tal vez se trate de un planeta que no fue capaz de formarse como consecuencia de la fuerza gravitatoria de su vecino Júpiter.

1801 Giuseppe Piazzi descubrió el planeta enano al que llamó Ceres.





Vegetal

Animal

Mineral

LECHE

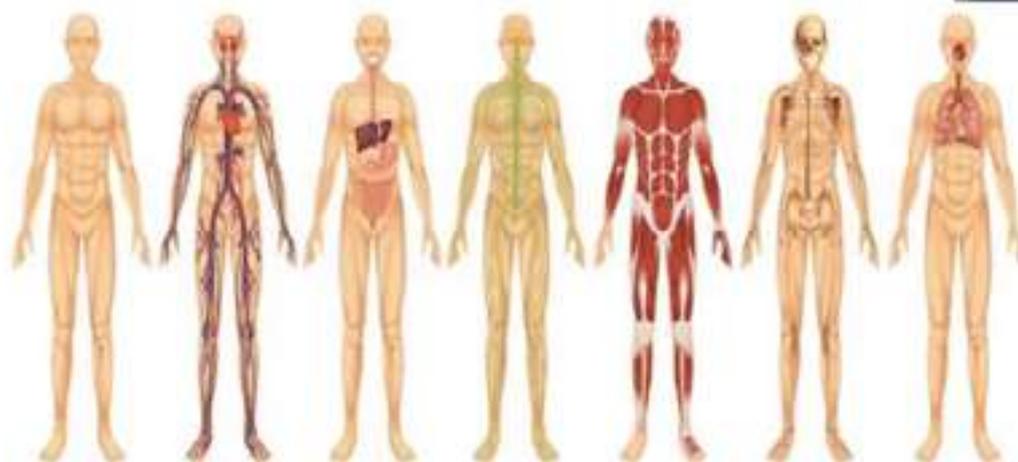
EL EQUILIBRIO PLANETARIO

cedia

MANUEL VER...



¿CÓMO SE CLASIFICAN LOS MINERALES EN EL CUERPO HUMANO?



Los minerales se dividen en tres grupos:

Los **macrominerales**, es decir los que son necesarios en grandes cantidades, tenemos el sodio, potasio, calcio, fósforo, cloro y magnesio. Es necesario consumir más de 100 miligramos al día.

Asociación - El nuevo desafío | 17 de Abril 2020 | #QuédateEnCasa

Los **microminerales** tenemos el hierro, zinc, cobre, yodo, flúor y manganeso y su consumo deber ser inferior.

Los **oligoelementos** están el arsénico, boro, cromo, selenio, níquel y vanadio, éstos últimos de menor necesidad para el organismo pues solo necesitan un microgramo al día.



© 2020 Metaproject Chile. Todos los derechos reservados.





IMPORTANCIA DE LOS MINERALES EN CUERPO HUMANO



Ca: calcio, Na: sodio, Cl: cloro, K: potasio, Mg: magnesio, P: fósforo, S: azufre

Administración - El nuevo desafío 127 de A1

Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad.



¿COMO NACE LA ASTROMINERÍA?



MANUEL VIER...

La Tierra durante siglos ha entregado al hombre recursos naturales para su desarrollo y supervivencia, pero ella exige solo respeto, su recursos se acaban y la avaricia del hombre no.

"Cuando hayas cortado el último árbol, contaminado el último río y pescado el último pez, te darás cuenta de que el dinero no se puede comer"





META PROJECT

LA ADVERTE DE HAWKING

MANUEL VIER...

La colonización del espacio, también llamada humanización del espacio, es el asentamiento humano hipotético, permanente y autónomo (autosuficiente) en lugares fuera de la Tierra. El primer paso es una presencia humana permanente en el espacio, como ocurre con la Estación Espacial Internacional (EEI, también conocida como ISS, por sus siglas en inglés).

Si los seres humanos van a continuar por otro millón de años, nuestro futuro está en atrevemos a ir a donde nadie ha ido antes, conquistar el espacio única opción.

"El mundo se está volviendo demasiado pequeño para nosotros: los recursos físicos se están explotando a un ritmo alarmante."

cedia
Powered by Zoom



Stephen Hawking La Tierra y la humanidad están en Peligro!!



MANUEL VIERA



Suplicó a los países líderes del mundo que envíen astronautas a la Luna de aquí al 2020, por el bien de la humanidad, que esta en peligro de extinción.

Construir una base allí en los próximos 30 años y realizar misiones espaciales a Marte antes de 2025"

"Expandirnos hacia el espacio cambiará completamente el futuro de la humanidad", dijo Hawking en el festival científico y artístico The Starmus, en Noruega.

Expandirnos al cosmos, puede ser lo único que nos salve de nosotros mismos.

Dijo que no hay un futuro a largo plazo para nuestra especie en la Tierra "o en los próximos días, nuevo el impacto de un asteroide o seremos tragados por el Sol"

Powered by Zoom



Como nace la Astrominería?



La formación del Ingeniero y geólogos de Minas exige plena conciencia de los efectos del:

- Calentamiento global,
- reversión de los polos magnéticos.
- Acidez de los Océanos
- Capa de Ozono y emisión de Co2 a la atmosfera.
- Destrucción de glaciares,
- Contaminación de aguas subterráneas.
- Derrames de relaves a rios y lagos.
- Contaminación de polvos y gases.
- Los minerales son importante para el sustento de la vida.
- Mente abierta a conquistar el cosmos.

- Rol de la Ues, cambiar urgente las mallas curriculares y formar Astro mineros, astro metalúrgicos, y astro geólogos etc.
- Geología de la Luna y Marte, y asteroides



© 2020 Metaproject Chile. Todos los derechos reservados





IMPORTANCIA DE LA MINERÍA ESPACIAL PARA PAÍSES DE LATAM



Valiosas materias primas, como el platino, el níquel o el cobalto, tierras raras, agua son cada vez más escasas en la Tierra, pero seguirán siendo indispensables para las futuras tecnologías.

Las posibilidades de la extracción comercial en el espacio exterior aumentan con el progreso tecnológico

Gran parte de los minerales existentes al nivel actual podrían acabarse en 50 años.

Por las atractivas rentabilidades que ofrece explotar asteroides



Aerominería - El nuevo desafío | 27 de Abril 2020 | #QuedateEnCasa

© 2020 Metaperfor Chile. Todos los derechos reservados





LA TIERRA Y SUS IMPORTANCIA JUSTIFICACION



- El Planeta al 2050 no podrá alimentar a todos los seres humanos y animales que lo habitan, seremos más de 9.000 millones de personas.
- Habrá serios problemas de escasez de agua, escasez de fuentes de energía, y alimentos.
- Pues el planeta tendrá las aguas y los océanos muy contaminado.
- Habrá escasez de minerales estratégicos, que ponen en duda la sobrevivencia de nuestro mundo como lo conocemos.
- El hombre un depredador del planeta
- Inminente probables guerras nucleares
- El hombre y los animales se pelearan por la comida







PROBLEMAS PLANETARIOS



- Sequías, Desertificación, deforestación, escasez de agua en el mundo.
- El hielo de los polos se derriten muy rápido.
- Aumento de la acidez de los océanos.
- Grandes inundaciones, huracanes mas violentos
- Destrucción de la capa de Ozono





HUELLA ECOLÓGICA DEL HOMBRE



- La "huella ecológica" del hombre, sobre el mundo, era en 2003 un 25% mayor que la capacidad anual del planeta para proporcionar desde comida a energía.
- La "huella ecológica" en 2001 era del 21%.
- La WWF estima que actualmente se necesitarían 1,5 planetas para abastecer las necesidades de todos los pobladores del planeta.
- Con las actuales proyecciones, la humanidad utilizará el equivalente a los recursos naturales de dos planetas en el año 2030 al 2050



Atención: El nuevo día 17 de Abril 2020 | #QuedateEnCasa



PROBLEMAS PLANETARIOS

- El mundo se desarrollo gracias a la mineria y sus metales, alta tecnologia.
- 75 % de la poblacion vive concentrado en grandes ciudades del mundo.
- Los recursos naturales se terminan, y el hombre explora y busca otros horizontes.
- El planeta esta enfermo y contaminado.



© 2000 KMSproject Chile. Todos los derechos reservados



LOS MICROBIOS QUE SE ENCUENTRAN DEBAJO DEL HIELO ANTÁRTICO: LO QUE SIGNIFICA PARA LA RAZA DE VIDA EXTRATERRESTRE ??

El lago Mercer, el más profundo que se ha explorado en el continente EE UU ha conseguido perforar 1.068 metros lago alberga alrededor de 10.000 bacterias por mililitro de agua

Algunos virus desconocidos en la tierra



© 2020 Metaproject Chile. Todos los derechos reservados.



PROBLEMAS PLANETARIOS

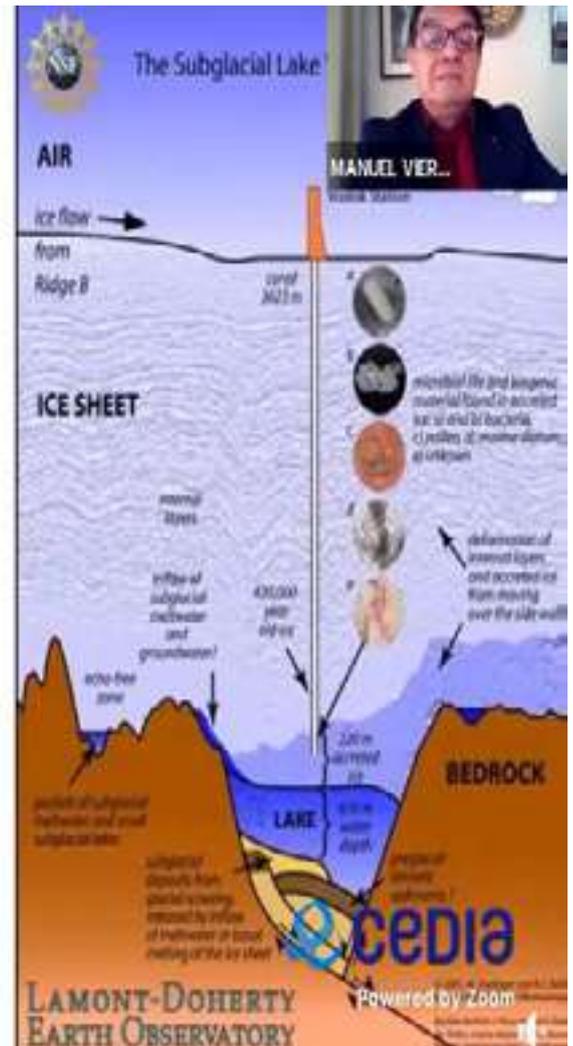
La estación Rusa Vostok perforaron llegando hasta el lago Vostok sacando muestras de agua subglacialen encontraron bacteria w123-10 Hydrogenophilus thermoluteolus.

Descubrieron virus y bacterias extraterrestre, y potente "anomalía magnética app 60.000 nanoteslas en una área de 145 por 74 km2.

Barbara Marciniak y su Pleiadians dice que existio una civilización muy antigua y evolucionada, cuyos restos están enterrados bajo el casquete polar en la Antártida. Esta civilización existió hace más de 500.000 años

Se encontró una estación extraterrestre de 103 x 105 km2 con vida extraterrestre.

Astronómia – El nuevo desafío | 27 de Abril 2020 | #QuedateEnCasa



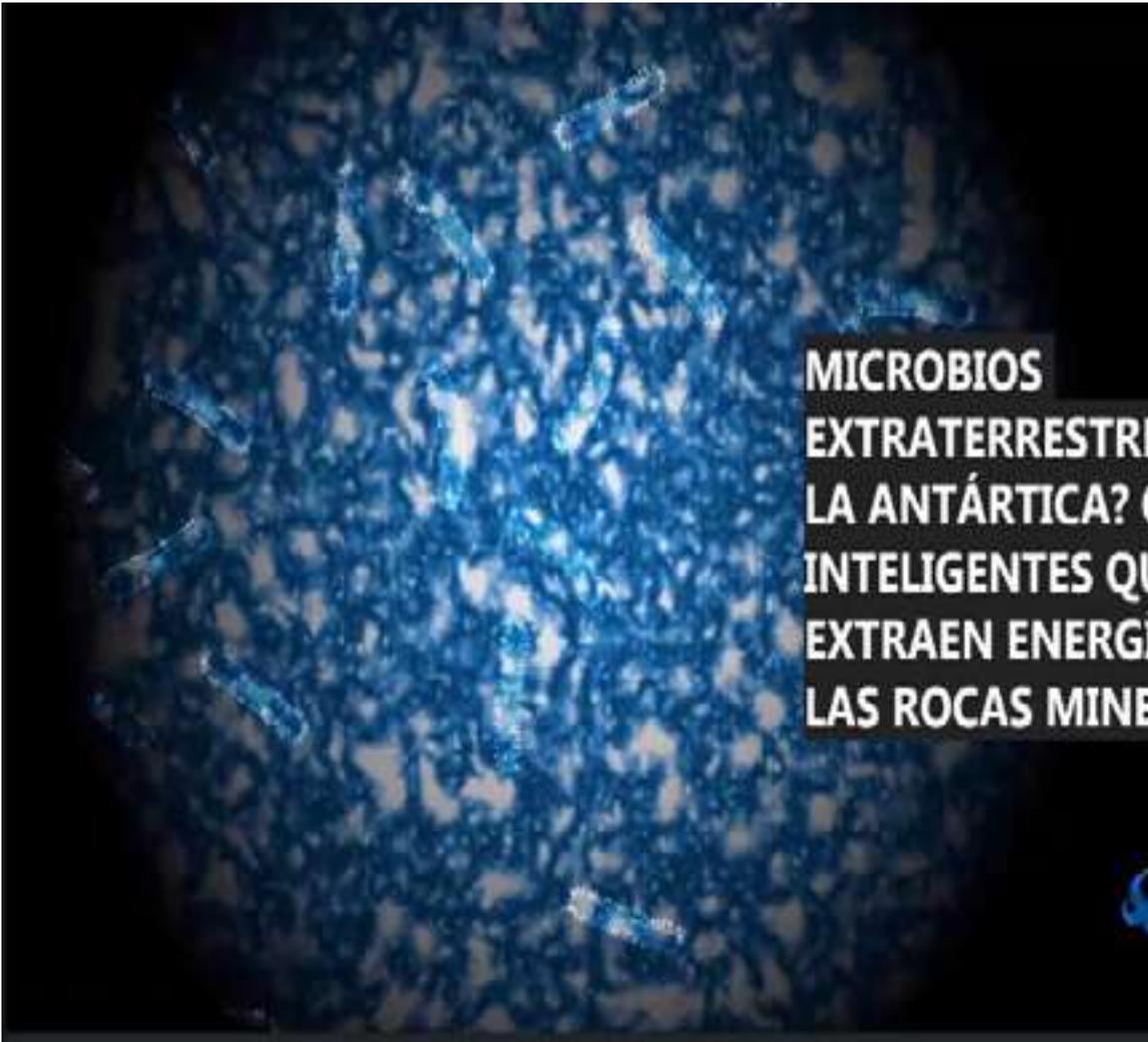


LOS MICROBIOS QUE SE ENCUENTRAN DEBAJO DEL HIELO ANTÁRTICO



- Los científicos hallaron muchos tipos diferentes de microbios que viven en el lago subglacial Whillans, una masa de agua dulce sepultados debajo de 2.600 pies (800 metros) de hielo de la Antártica.
- Muchos de los microorganismos en estas oscuras profundidades aparentemente obtienen energía a partir de rocas





MANUEL VIER...

**MICROBIOS
EXTRATERRESTRES EN
LA ANTÁRTICA? O VIRUS
INTELIGENTES QUE
EXTRAEN ENERGÍA DE
LAS ROCAS MINERALES?**

cedia
Powered by Zoom



PODER DE LA NATURALEZA



TERREMOTO 27 F



VOLCAN CHAITÉN
2/5/2008



TSUNAMI 27 F

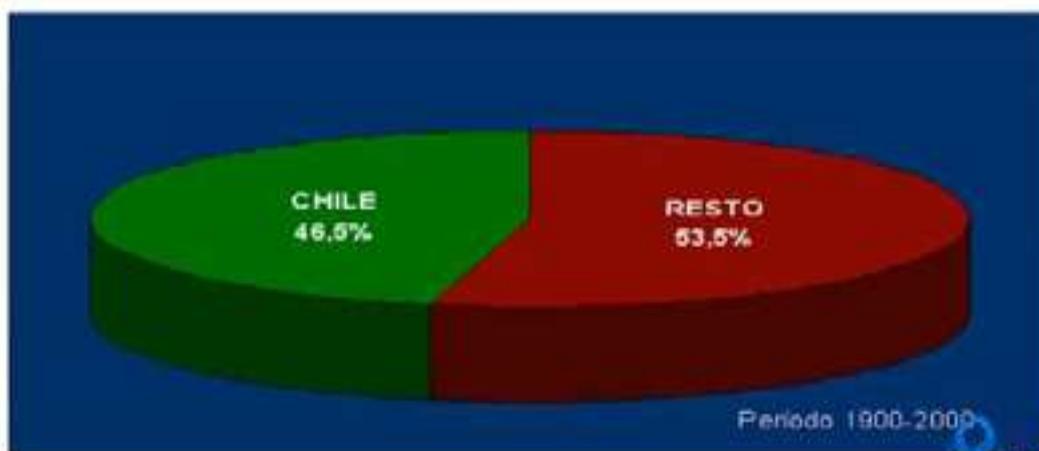


Atornillada - El nuevo desafío | 27 de Abril 2020 | @QuedateEnCasa

© 2020 Metaproyect Chile. Todos los derechos reservados



Energía sísmica total liberada en el Siglo XX, sumando los sismos intraplacas





MARCO REGULATORIO



- ❑ 1967 Tratado del espacio firmado por 105 países que prohíbe toda apropiación de cuerpos celestes, pero no habla ni queda claro de los asteroides
- ❑ A partir del cuadro jurídico internacional formado por el Tratado de principios de 1967 con su artículo II, en el cual se establece con meridiana claridad el principio de no apropiación, y el Acuerdo sobre la luna de 1979 que incorpora el principio del patrimonio común de la humanidad para definir el régimen jurídico de la Luna y de sus recursos naturales.
- ❑ *La space Commercial Launch Competitiveness Act* adoptado por los Estados Unidos en 2015, permite a las empresas EEUU explotar y beneficiarse de la explotación de los asteroides y otros
- ❑ Ley luxemburguesa de 2017 que se ha transformado en Polo de Inversiones y de regulación internacional
- ❑ Y el intercambio de opiniones entre los Estados miembros en el marco de la CUPEEA hasta la reciente iniciativa griego-belga para la identificación de un contexto jurídico consensual.
- ❑ El senador por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Federico Pinedo, presentó un proyecto de ley con el objeto de regular la exploración y explotación de yacimientos minerales en el espacio ultraterrestre





- ❑ La federación de industrias alemana BDI solicita urgente un marco regulatorio que rija la minería espacial por temas éticos.
- ❑ La ley del espacio está dominada por el Tratado del Espacio Exterior de 1967, escrito y ratificado en el momento de la Guerra Fría y, por lo tanto, pesa sobre la prohibición de las armas de destrucción masiva en el espacio, en la Luna o en cualquier otro cuerpo celeste. Los fines pacíficos todos los países están obligados a respetar.
- ❑ Países de Latam están atrasados en esta Carrera, por ejemplo instaurar una política del espacio etc





“Estamos en el umbral de la tercera gran migración de la humanidad”



“Estamos en el umbral de la tercera gran migración de la humanidad, pero ahora hacia “continentes cósmicos”. Se propone a la Luna como el primer asentamiento extraterrestre y, posteriormente, en una o dos décadas más, iniciará la conquista de Marte.

Ya comenzó la exploración minera geológica al espacio

Universidades comenzaron a formar profesionales para conquistar el cosmos
Colorado school of mine, U de Arizona, Rusia, China e India.

Y CHILE, PERÚ Y PAÍSES LATINOAMERICANOS

© 2020 Metaproject Chile. Todos los derechos reservados





La creciente escasez de elementos inorgánicos esenciales, tales como elementos de tierras raras para todos nuestros aparatos electrónicos y sistemas de energía renovable, el platino y otros metales relacionados, e incluso helio para equipos médicos sugieren que es posible que necesitemos más recursos no renovables de los que la Tierra puede proporcionar.



12 minerales esenciales para tu salud

Magnesio.

Hierro.

necesario para vivir, ya que forma parte de los glóbulos rojos que se encargan de transportar el oxígeno a todas las células del cuerpo.

Potasio.

Zinc.

Manganeso.

Molibdógeno.

Cromo.

Cobre.



Asociación Chilena de
© 2020 Asociación Chile. Todos los derechos reservados.



LOS 5 MINERALES MAS CAROS DEL MUNDO EN VIAS DE EXTINCION



- Rodio.** Precio : 14.700 US\$/oz 30 TPA y el 80 % se extrae en minas situadas en Sudáfrica.
- Paladio.** Precio : 2.319 US\$/oz Extrajo 80 tpa de metal en 2019.
- Platino.** Precio 926.5 US\$/oz Las tres cuartas partes de la producción mundial se concentran en Sudáfrica. Anglo American Platinum, Impala Platinum y Lomnin son las principales empresas productoras.
- Oro.** Precio 1.887 US\$/oz . China, Australia y Rusia forman el trío de naciones que ostentan el cetro del oro mundial.
- Iridio.** 1.660 US\$/oz Su producción anual es de tan solo 3 toneladas



The image shows a comparison of three celestial bodies against a black background. On the left is the asteroid Vesta, labeled 'Vesta 529 km'. In the center is the dwarf planet Ceres, labeled 'Ceres 960 km'. At the bottom left, the curved horizon of Mars is visible, labeled 'Marte'. A small video inset in the top right corner shows a man with glasses, labeled 'MANUEL VER...'. Text on the right side of the image reads: 'Howarditas, Eucritas y Diogenitas (conocidos por el acrónimo HED) proceden del asteroide 4 Vesta con olivino y el piroxeno'. In the bottom right corner, there is a logo for 'CEDIA Powered by Zoom'.

Vesta
529 km

Ceres
960 km

MANUEL VER...

Howarditas, Eucritas y Diogenitas (conocidos por el acrónimo HED) proceden del asteroide 4 Vesta con olivino y el piroxeno

Marte

CEDIA
Powered by Zoom



La tarea no es tan descabellada. Después de todo, aprendimos a sacar minerales de las entrañas de la tierra y del fondo del mar. Y para aventurarnos a esos reinos tuvimos que inventar sistemas que no existían.
El espacio no es diferente

Cada año se descubren 900 asteroides cercanos a la Tierra, es decir, todo un conjunto en espera de ser recogido. En general, estas rocas espaciales se dividen en dos clases: las tipo C, porosas y ricas en carbono y agua, y las tipo M, que son sólidas y contienen hierro, oro, platino, sílice, níquel, helio, tierras raras en cantidades industriales.

"Los asteroides tipo C tienen hasta un 20 % de agua mezclada con una especie de brea orgánica".



TRUSTED BY 1000+

© 2020 Miniproject Chile. Todos los derechos reservados





NACE LA ASTROMINERÍA

- El desafío para la Minería Planetaria es buscar nuevos recursos en el espacio y Océanos.
- La clave será como atrapar a los Asteroides que están cerca de la tierra, y son 100 veces mas rico en metales y agua que en la tierra.
- Se podrá diseñar asentamientos Humanos en los Asteroides y luego en la Luna y Marte?
- Explotar un asteroide genera riquezas de mas de Trillones de US\$



© 2020 MetaProjet Chile. Todos los derechos reservados.



MANUEL VER...

Asteroide, cometa comparado con ciudad de los Ángeles USA



© 2020 Meteoprojet Chile. Todos los derechos reservados. 



ÍRCULO VIRTUOSO ASTROMINERÍA



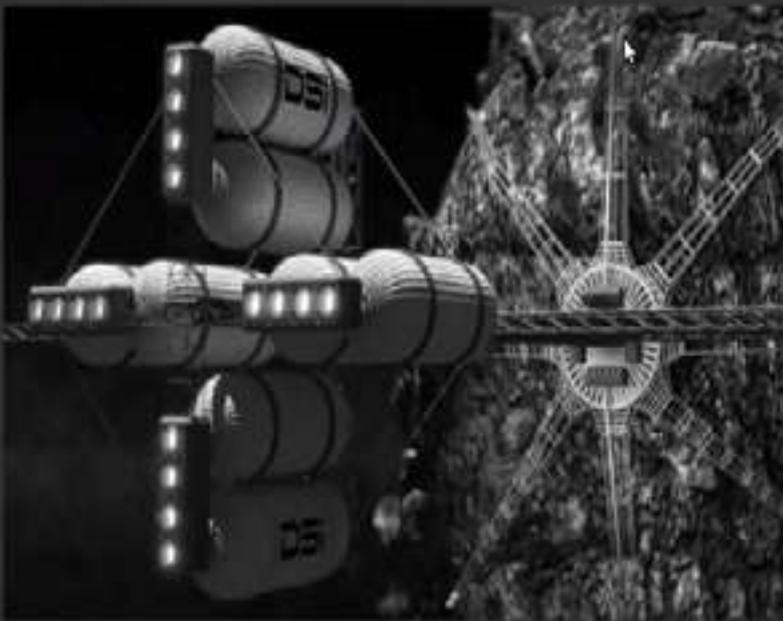


Sistemas de explotación en asteroides

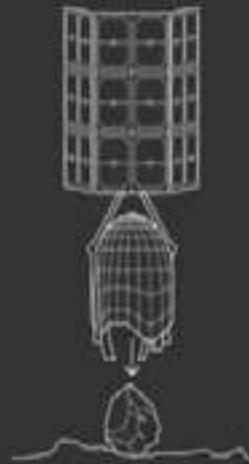
1. A Cielo Abierto mediante raspado
2. Mediante Labores subterráneas y piques
3. Mediante recuperación poderosos electro imán
4. Temperatura para fundir materiales volátiles
5. Centros de procesos con impresores 3D o mayor



MANUEL VIER...

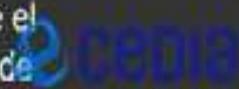


Robotic rock-pullers called Dragonfly would be used to extract rock samples from asteroid surfaces and ferry them back to Earth



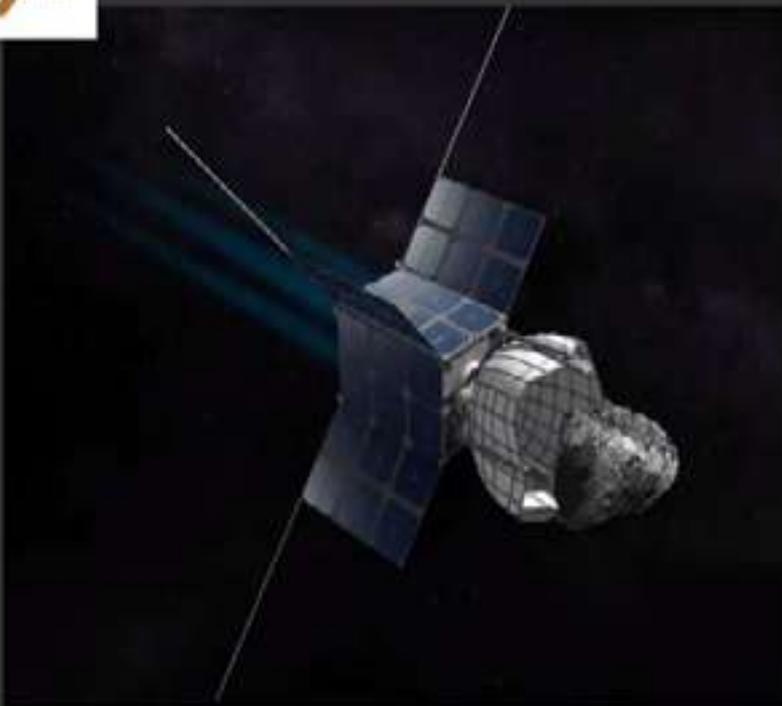
Cosecha

Una nave cosechadora más grande recoge rocas y regolito (suelo) durante el viaje de ida y vuelta de hasta cuatro años, pudiendo transportar decenas de miles de toneladas de material de asteroides cada vez.



Powered by Zoom





\$1bn
The amount it would cost today to bring back just 2oz of asteroid, the weight of a tennis ball

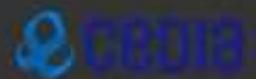


\$93bn
Real term cost of the Apollo Space programme (\$25.4bn in 1960)



Transporte

Deep Space Industries espera lanzar una nave Firefly que podría traer 150 kg de material de asteroides a la Tierra.



Powered by Zoom





MANUEL VIER...



Manufactura

Una fundición microgravedad utiliza el beneficio de la baja gravedad para producir piezas impresas en 3D para las futuras tecnologías de minerales extraídos

Astronómica - El nuevo desafío | 27 de Abril 2020 | #QuedateEnCasa



© 2020 Metaproject Chile. Todos los derechos reservados.



Grandes centros de procesamientos altamente robotizados

cedia
Powered by Zoom

The image shows a rocket launch against a cloudy sky. A rocket is ascending vertically, leaving a large plume of white smoke and a bright orange flame trail. In the foreground, there are two tall, thin metal towers. The scene is framed by a video call interface. In the top right corner, there is a small video window showing a man with glasses and a dark jacket, with the name 'MANUEL VER...' below it. On the left side, there is a large block of red text with white outlines. In the bottom right corner, there is a logo for 'CEDIA' with the text 'Powered by Zoom' below it.

Vamos a volver a la Luna...
y a continuación seguirán los asentamientos humanos a largo plazo, principalmente para el desarrollo de los recursos minerales y energéticos disponibles en la Luna, pero también para emplazar sistemas de protección destinadas a evitar grandes impactos de asteroides.

MANUEL VER...

cedia
Powered by Zoom



La colonización del espacio:
¿terraformación o hábitats
espaciales?

Dilema Bundano de la Minería
Planetaria...

Alternativa A: adaptar otro
planeta a nuestras
necesidades:

La primera fase consiste en
calentar la superficie del
planeta. En la actualidad tiene
una temperatura media de -
60°C. Necesitamos que se
acerque a la de la Tierra, que
es de aproximadamente 15°C.
La segunda fase es la de
oxigenación.

Alternativa B: fabricar una
colonia espacial
deberíamos decidir

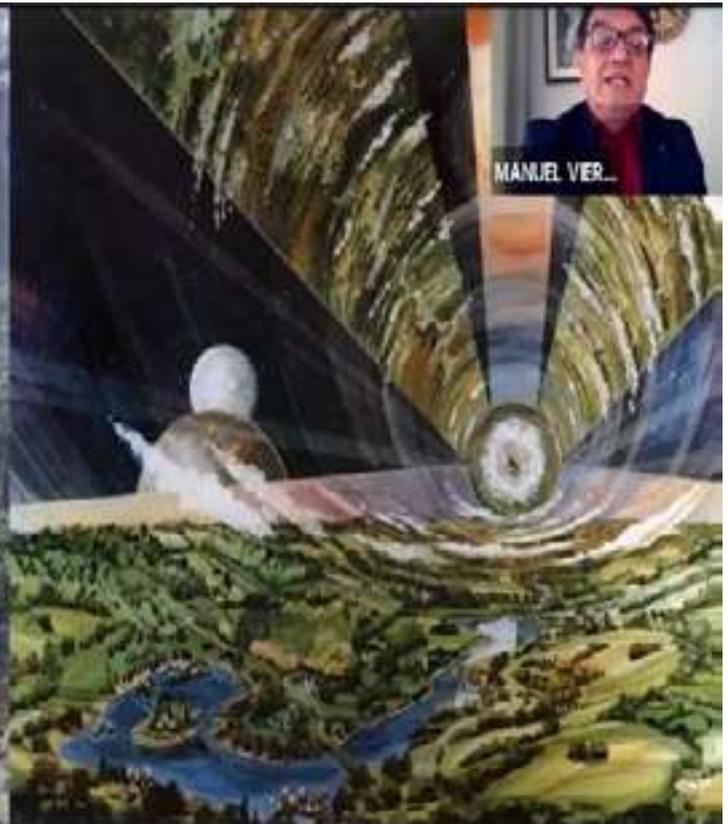


© 2020 Metaproject Chile. Todos los derechos reservados.





Otro concepto artístico del interior de un cilindro de O'Neill.
En este se puede ver la curvatura del hábitat espacial.
Crédito: Donald Davis – NASA Ames Research Center



Un hábitat espacial que podría albergar de 10.000 a 140.000 personas.
Fue propuesto en 1.975.
Crédito: Donald Davis – NASA Ames Research Center





Shimizu Japonesa presenta su proyecto como una solución para la crisis climática. Instalará un grupo de paneles solares de 400 kilómetros de ancho y una longitud de 11.000 kilómetros en el ecuador de la Luna para producir energía libre de carbono, que se hará llegar en forma de microondas a la Tierra para que plantas energéticas de nuestro planeta la conviertan en electricidad.





LAS 10 CIUDADES MÁS INTELIGENTES DEL MUNDO

1. Singapur.
2. Zúrich.
3. Oslo.
4. Ginebra.
5. Copenhague.
6. Auckland.
7. Taipei.
8. Helsinki.
9. Bilbao
10. Dusseldorf

La ciudad ha avanzado en los rankings de PIB, superando al país más rico, Noruega.



Atención - El nuevo desafío | 27 de Abril 2020 | @QuintoE-Casa



3.5. Empresas y sus proyectos



Proyectos Astro Mineros propuestos

El 24 de abril de 2012, un plan fue anunciado por empresarios multimillonarios para minar los recursos de los asteroides. La compañía se llama [Planetary Resources](#) y sus fundadores se encuentran el director de cine y explorador [James Cameron](#), y el actor Leonardo DiCaprio, así como el jefe ejecutivo de Google, [Larry Page](#) y su presidente ejecutivo, [Eric Schmidt](#). También planean crear un depósito de combustible en el espacio para el año 2020 mediante el uso de agua de los asteroides, que podría ser dividida en el espacio para obtener oxígeno e hidrógeno líquido como combustible para cohetes. A partir de ahí, podría ser enviado a la órbita de la Tierra para la recarga de combustible de los satélites comerciales o naves espaciales.

los principales asteroides en el cinturón de asteroides son Ceres, Vesta, Pallas e Hygiea. Estos cuatro asteroides comprenden alrededor de la mitad de la masa de todo el cinturón de asteroides. Ceres es el único asteroide que se clasifica como un planeta enano, ya que es el asteroide más grande en el sistema solar interior.



COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR

© 2010 Metaproyect Chile. Todos los derechos reservados.



3.4. Factibilidad y Como explotarlos?

- ❑ La empresa Deep Space Industries (DSI), comenzó en 2015 a utilizar sondas del tamaño de un computador portátil, que ya regresaron a la Tierra con las primeras muestras de asteroides.
- ❑ El investigador holandés [Bas Lansdorp](#), cuyo objetivo es establecer [una colonia humana permanente en Marte](#). Proyecto llamado martes 1, Inversión US\$6.000 millones.
- ❑ La Luna representa una fuente abundante del isótopo Helio-3, podría convertirse en el combustible no contaminante para una nueva generación de plantas nucleares a fusión controlada.
- ❑ China que se puso con el "Yutu" (Conejo de Jade) un robot en 2013 en la superficie lunar.
- ❑ La empresa Caterpillar, realizó un acuerdo con la Nasa con el objetivo de desarrollar tecnologías de perforación y minería para usarse en yacimientos en Marte
- ❑ La Volvo Construction Equipment, desarrolló prototipos de tipo innovador el modelo SfinX, una excavadora diseñada en células de combustible de hidrógeno





DESAFÍOS DE LA ASTROMINERÍA

- Cambio en la manera de pensar, en la manera de formar a nuestro futuros PROFESIONALES de Minas.
- Crear conciencia que la naturaleza no será capaz de alimentar a 9.000 millones de seres humanos al 2050, no habrá agua suficiente.
- La energía el gran desafío , con células solares madres , el sol genera cada día toda la energía que consume la tierra, el problema es como capturarla.
- Los recursos naturales se agotan , implica que hay que mirar al espacio y a los Océanos, impacta en enseñar nuevas tecnologías de explotación.
- Los minerales se terminan por las reglas de mercado.



Comisión de Energía de Chile

© 2020 Metaproject Chile. Todos los derechos reservados



#QuedateEnCasa

PHD. RODRIGO ABAD



Carrera de
Medicina Veterinaria y Zootecnia

Dirección de
Investigación

Estudio de la fisiología digestiva y requerimientos de fibra en cuyes

Rodrigo Medardo Abad Guamán
noviembre 2020
1er Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología

Educomos para Transformar



Carrera de
Medicina Veterinaria y Zootecnia

CONTEXTO

• El cuy (*Cavia porcellus*)



Educamos para Transformar



Carrera de
Medicina Veterinaria y Zootecnia

CONTEXTO

• El cuy (*Cavia porcellus*)



Educamos para Transformar



Carrera de
Medicina Veterinaria y Zootecnia

CONTEXTO

• **El cuy (*Cavia porcellus*)**

GENÉTICA



SANIDAD

NUTRICIÓN

Educomos para Transformar

Fisiología digestiva

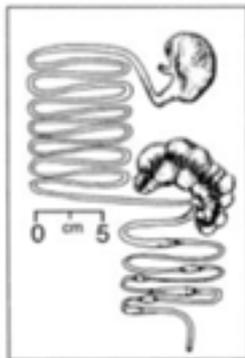


VS

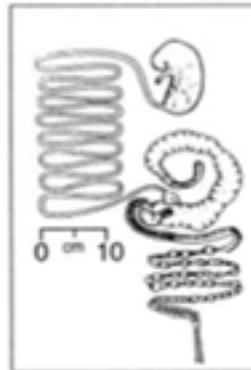




Guinea Pig
(*Cavia porcellus*)
Body length: 28 cm



Rabbit
(*Oryctolagus cuniculus*)
Body length: 48 cm

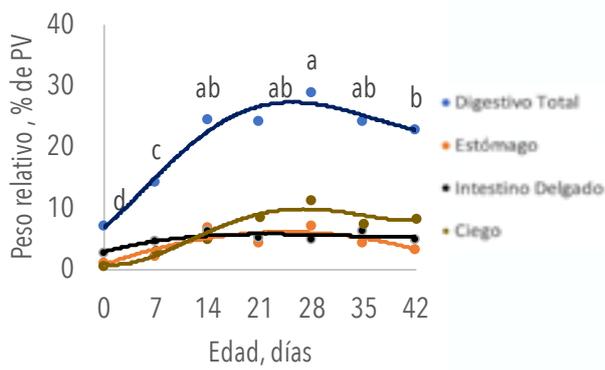


Edwar y Hume, 1998

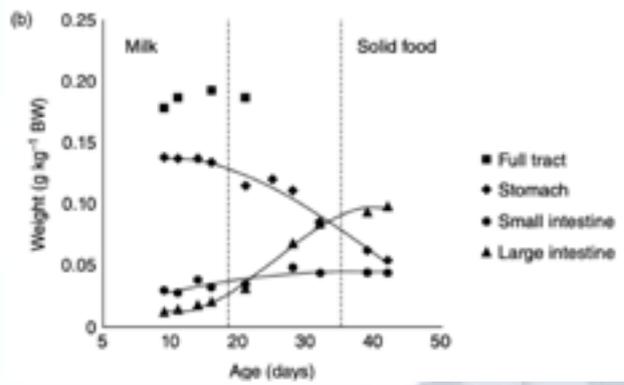
Educamos para Transformar



Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia



Abad-Guamán et al., 2019

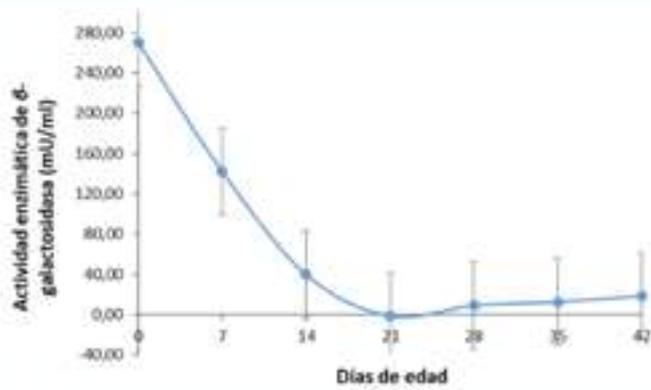


Carabaño et al., 2020

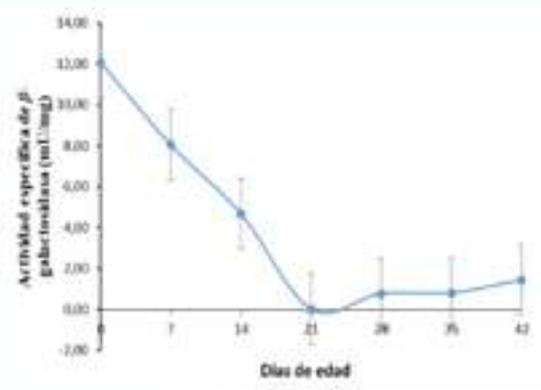


VS

Educamos para Transformar



P-valor= 0,021



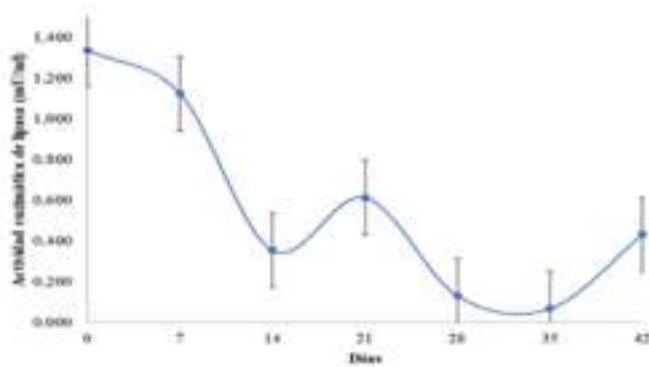
P-valor= 0,002



Dirección de Investigación Vinculación con la Sociedad



RESULTADOS



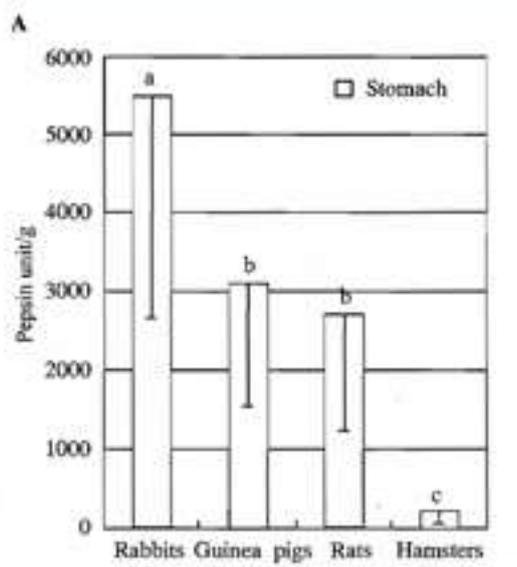
P-valor <0,001

Educar nos para Transformar



EDAD (días)	Actividad enzimática (mU/ml)	Actividad enzimática específica de α -amilasa (mU/mg de proteína)
0	0.470 ^c	
7	2.975 ^a	
14	0.310 ^d	0.041
21	0.220 ^e	0.025
28	0.442 ^c	0.106
35	0.360 ^d	0.219
42	0.537 ^b	0.124
EEM	0.215	0.093
P valor	> 0.0001	> 0.5234

*EEM= error medio estándar



Yu, et al., 2000



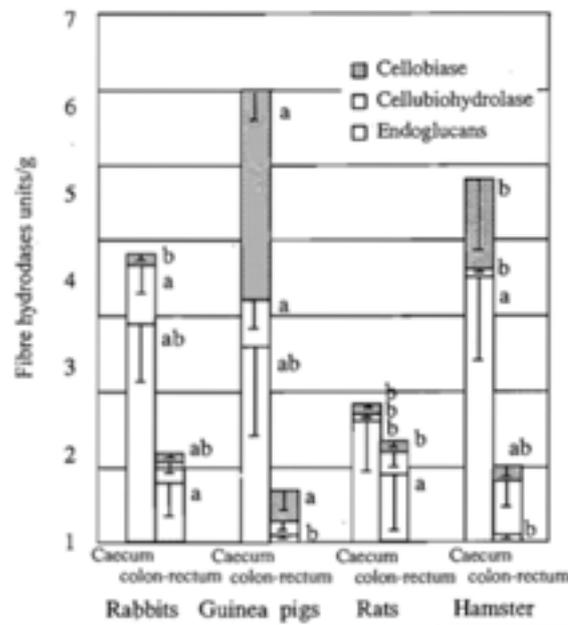
Carrera de
Medicina Veterinaria y Zootecnia



¿Entonces de que se
alimenta el cuy?

Educomos para Transformar





Yu, et al., 2000



Carrera de
Medicina Veterinaria y Zootecnia

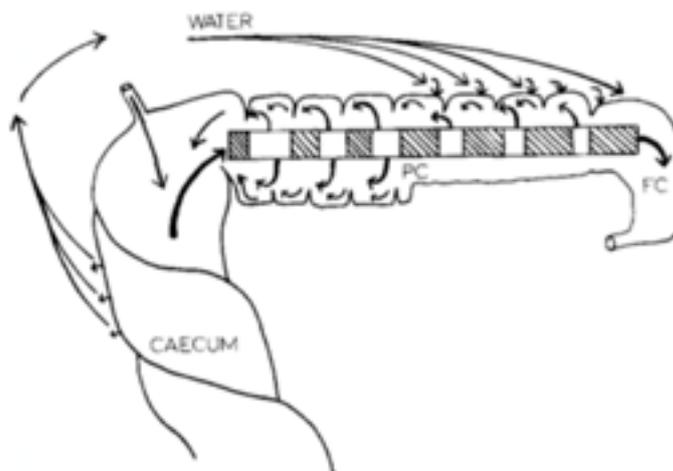
Cecotofía



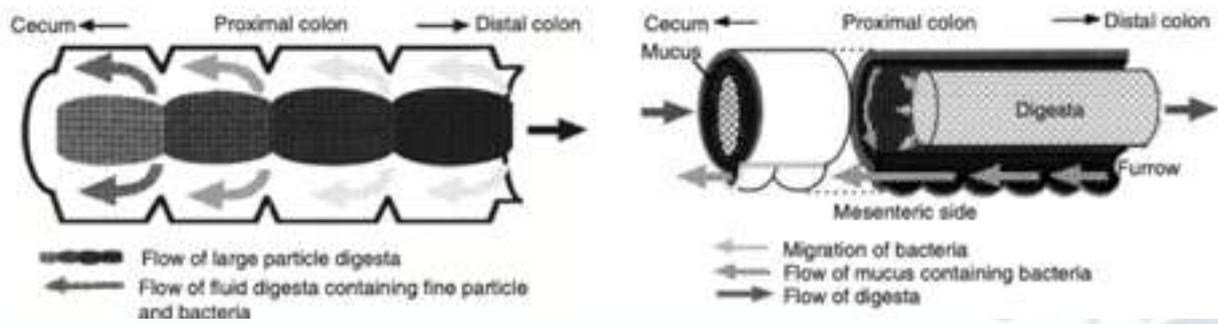
Educamos para Transformar



Carrera de
Medicina Veterinaria y Zootecnia



Educamos para Transformar



Sakaguchi, 2003

Cecotofía





Table 2 Type of colonic separation mechanism (CSM) and concentration of crude protein (% of dry matter) in soft feces and hard feces in some small hindgut fermenters

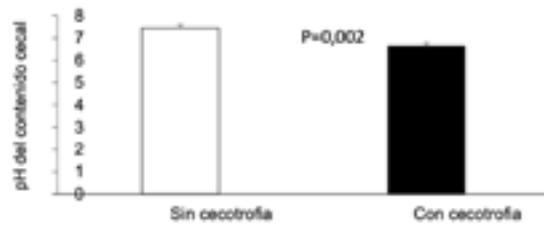
Animal	Type of CSM	Diet (commercial pellets)	Soft feces	Hard feces	Source
Mouse	Mucus-trap	26.2	22.9	18.1	(1)
Guinea pig	Mucus-trap	18.6	19.4	12.5	(2)
Nutria	Mucus-trap	15.4	19.1	13.4	(3)
Rabbit	Wash-back	17.3	35.5	13.6	(4)

Source: (1), Ebino (1993); (2), Y. Takahashi, unpubl. data, (2001); (3), Takahashi and Sakaguchi (1998); (4), E. Sakaguchi, unpubl. data, (1990).

Sakaguchi, 2003



¿La cecotofía en cuyes
es menos importante
?



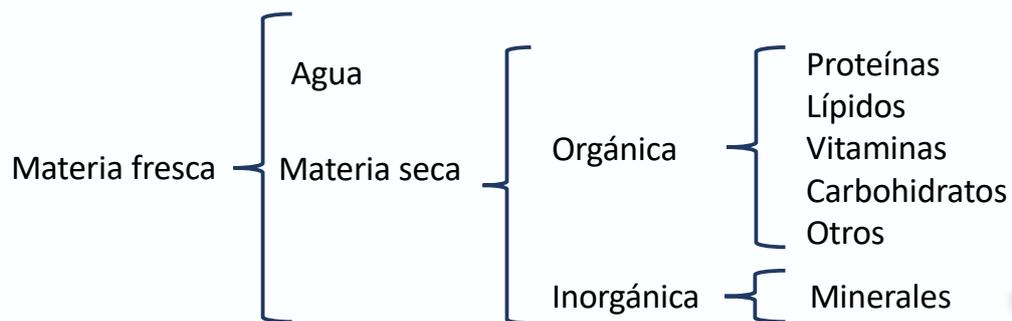


Carrera de
Medicina Veterinaria y Zootecnia

Requerimientos de fibra en cuyes

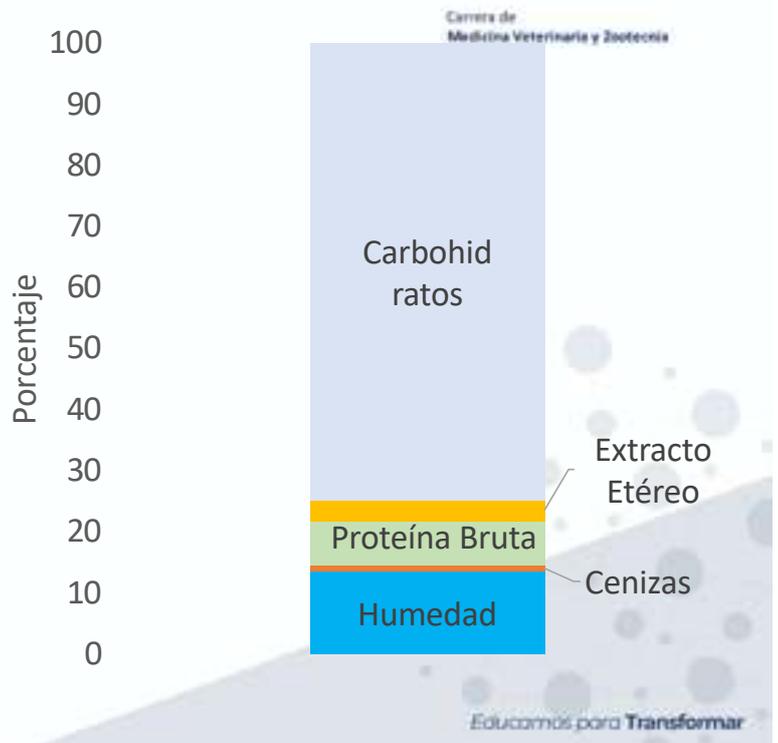
Educamos para Transformar

Componentes del alimento





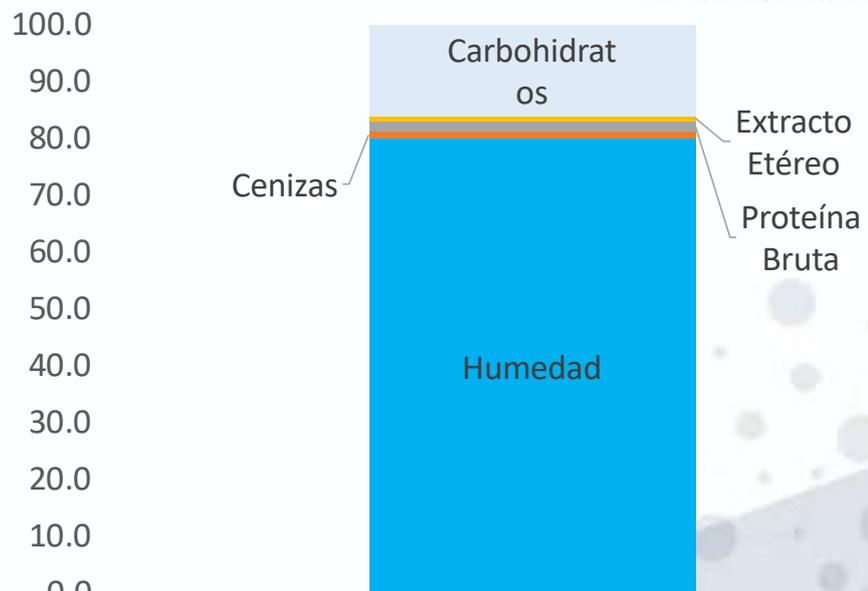
Nutriente	%
Humedad	13.6
Cenizas	1.1
Proteína Bruta	7.3
Extracto Etereo	3.3
Carbohidratos	74.7





Nutriente	%
Humedad	80.0
Cenizas	1.46
Proteína Bruta	1.76
Extracto Etéreo	0.91
Carbohidratos	15.88

Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia



Educomos para Transformar



Carrera de
Medicina Veterinaria y Zootecnia



¿Carbohidratos?

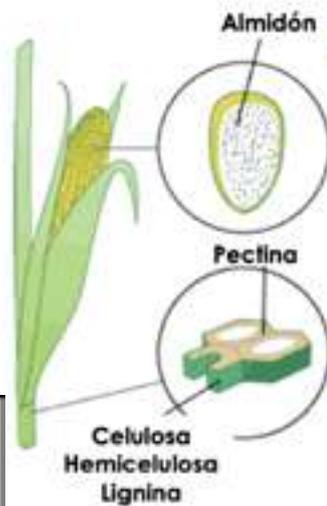
Educar más para Transformar



Tipos de carbohidratos y definiciones de fibra

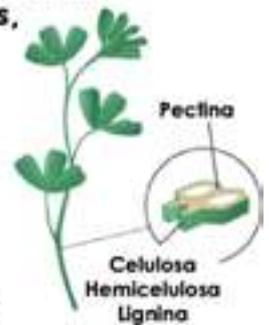
Localización	Carbohidrato	Solubilidad		
Reserva (NSC)	Azucares	+	Fibra dietética	NSP solubles
	Almidón	-		
	<i>Galactanas</i>	±		
	<i>Fructosanas</i>	+		
Pared celular (SC)	<i>Pectinas</i>	±	NSP Insolubles = FND	
	<i>β-glucanos</i>	+		
	<i>Celulosa</i>	-		
	<i>Hemicelulosa</i>	-		
	<i>Lignina*</i>	-		

*No carbohidrato; FND = Fibra neutro detergente; NSP = Polisacáridos no amiláceos; NSC = Carbohidratos no estructurales; SC = Carbohidratos estructurales



Carbohidratos no fibrosos o no estructurales

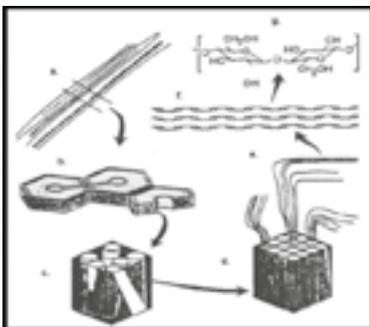
Proveen azúcares que son rápidamente digerida por el rumen: melazas, almidón (granos de maíz)



Carbohidratos fibrosos o estructurales

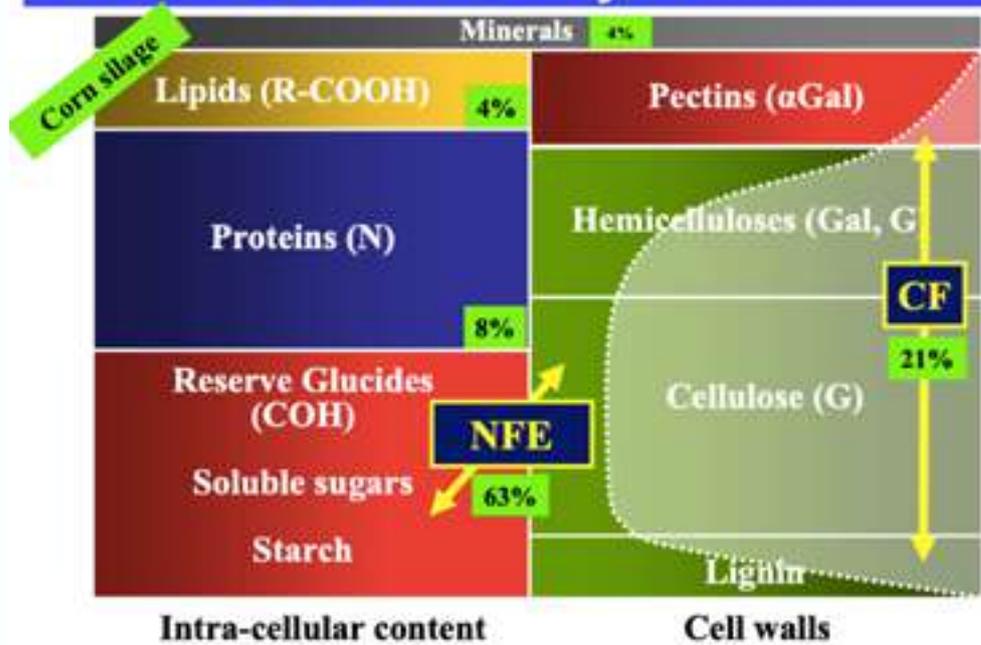
Constituyen la "fibra" que es lentamente digeridos por el rumen: celulosa y hemicelulosa.

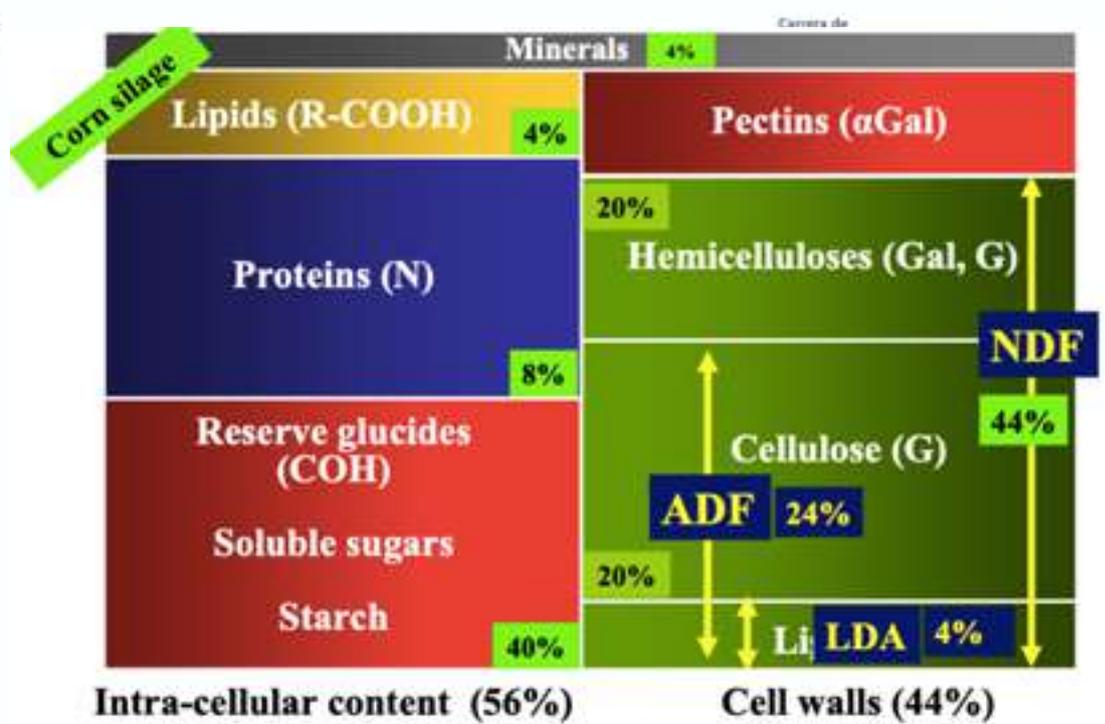
La lignina, es sólida y ata a la celulosa y hemicelulosa. Debido a esto es que la digestibilidad del alimento decrece cuando aumenta su proporción.





Feedstuffs composition of DM for animal nutrition: 2. Weende analysis







UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Carrera de
Medicina Veterinaria y Zootecnia



**Nutrient Requirements of Laboratory Animals,
Fourth Revised Edition, 1995**

Subcommittee on Laboratory Animal Nutrition,
Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture,
National Research Council

ISBN: 0-309-58849-9, 192 pages, 8.5 x 11, (1995)

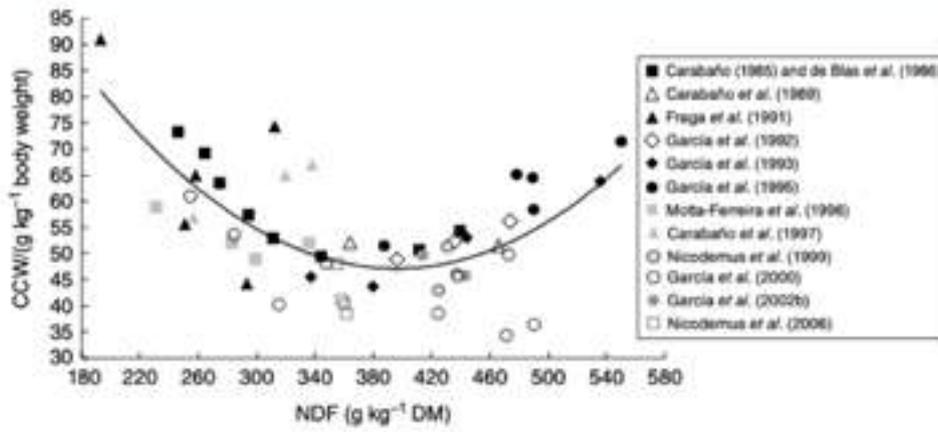
**This PDF is available from the National Academies Press at:
<http://www.nap.edu/catalog/4758.html>**

Fibra bruta

Heinicke and Elvehjem, 1955

Educomos para Transformar





Gidenne et al., 2020



Table 1 Comparison of digestibilities of fiber among various herbivores fed on grass containing diet

	Diet and fibrous component estimated digestibility										
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)
Foregut fermenter											
Cattle	50.7	56.4	60.1								
Sheep	50.4	46.3		50.1	50.1	67.4					
Midgut fermenter											
Horse	36.7	33.4	54.4				34.7				
Pony		36.6					38.1				
Pig					39.7	43.8					
Mara								38.4			
Nutria									41.9		
Rabbit	19.9	6.9*		31.4			18.1			10.4	
Hyrax				41.0							
Guinea pig							38.2	39.0	30.7	33.6	44.3
Deagu											34.9
Rat					20.9	1.5					13.7
Hamster											23.8
Leaf-eating mouse											24.4

(a), Over 10% crude fiber, cellulose (Hintz 1969a); (b), Timothy grass 100%, crude fiber (Viken & Van Soest 1982); (c), Alfalfa 100%, cellulose (Vander Noot & Gilbreath 1970); (d), Alfalfa 100%, cellulose (Paul-Murphy et al. 1982); (e), Alfalfa 50%, cellulose (Keys et al. 1969); (f), Orchard grass 50%, cellulose (Keys et al. 1969); (g), Alfalfa 100%, crude fiber (Slade & Hintz 1969); (h), Alfalfa 50%, acid detergent fiber (Sakaguchi et al. 1992); (i), Alfalfa 50%, acid detergent fiber (Sakaguchi & Nahata 1992); (j), Alfalfa 50%, acid detergent fiber (Sakaguchi et al. 1987); (k), Alfalfa 50%, acid detergent fiber (Sakaguchi & Ohmura 1992); *Timothy grass 50% diet.



¿Cuánto de fibra
requiere un cuy?



PHD. NELSON DUCHI



I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO

TÉCNICAS DE BIOTECNOLOGÍA REPRODUCTIVA ASISTIDA EN MAMÍFEROS Y AVES

Dr. Nelson A. Duchi D., Ph.D





I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOTECNOLOGÍA
REPRODUCTIVA EN LA SINCRONIZACIÓN DE ESTRO
E INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EN OVINAS MESTIZAS**



NÚMERO DE CABEZAS DE GANDO OVINO POR REGIÓN Y PROVINCIA

Región y Provincia	Ovino
TOTAL NACIONAL	355.897
REGIÓN SIERRA	341.004
REGIÓN COSTA	13.294
REGIÓN AMAZÓNICA	1.598
ZONAS NO DELIMITADAS	
REGIÓN SIERRA	
AZUAY	70.281
BOLÍVAR	24.436
CAÑAR	15.816
CARCHI	1.815
COTOPAXI	80.290
CHIMBORAZO	79.251
IMBABURA	8.965
LOJA	11.151
PICHINCHA	24.540
TUNGURAHUA	24.331
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	129

REGIÓN COSTA	
EL ORO	5.544
ESMERALDAS	22
GUAYAS	4.159
LOS RÍOS	1.351
MANABÍ	2.026
SANTA ELENA	192
REGIÓN AMAZÓNICA	
MORONA SANTIAGO	544
NAPO	464
ORELLANA	
PASTAZA	
SUCUMBÍOS	401
ZAMORA CHINCHIPE	188
ZONAS NO DELIMITADAS	

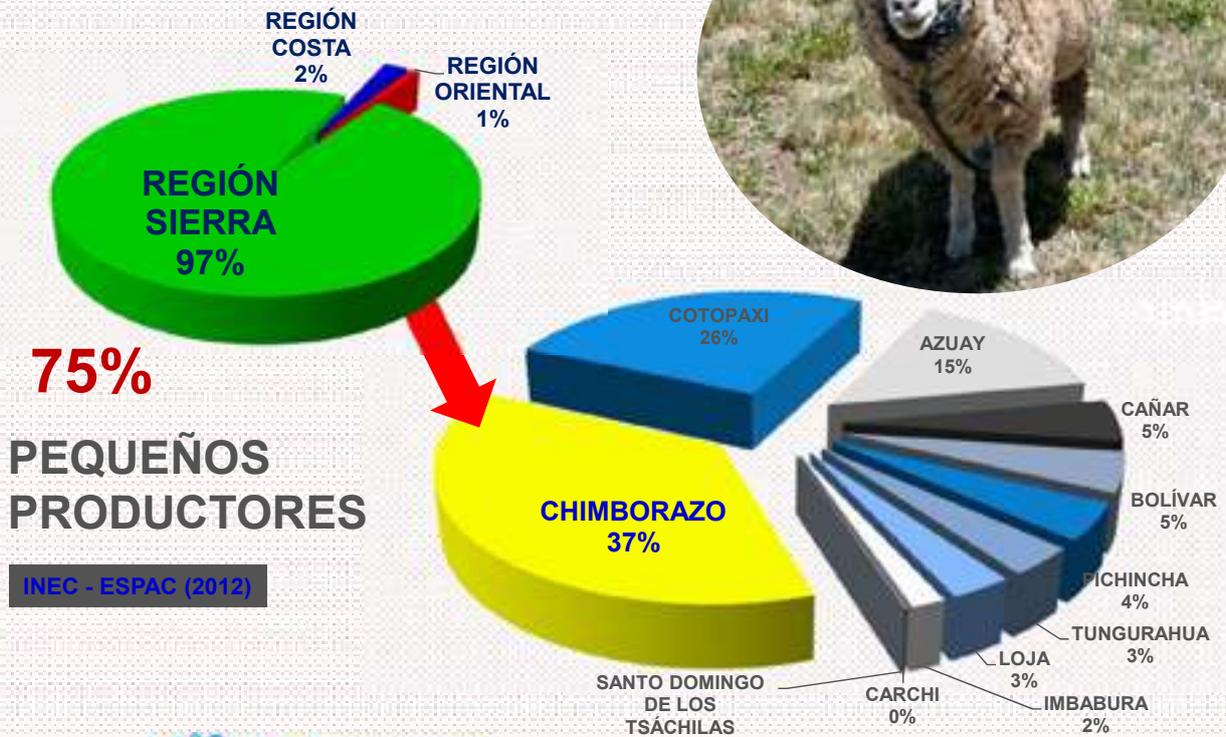
FUENTE: ESPAC - 2018





Introducción

Producción de ganado ovino en el Ecuador



75%

PEQUEÑOS PRODUCTORES

INEC - ESPAC (2012)



MANEJO REPRODUCTIVO



Breedy, A. (2014)

BIOTECNOLOGÍA REPRODUCTIVA

Eficiencia reproductiva

MEJORA GENÉTICA

Leche
Lana
Carne
Pie de cría

Plaszynska, M. 2007





Aplicaciones:

- IA (semen fresco, refrigerado, congelación semen)
- Sincronización e inducción de la ovulación.

Sexaje:

- Spz.
- Embriones

Superovulación,
transferencia y
congelación.



Clonación de animales
por medio de
transferencia nuclear.

EMBRIONES

Producción
in vitro

Micromanipulación:

- Mellizos homocigotas
- Quimeras.



Dolly



Palma, G. & Brem, G. (2014)

Ian Wilmut



OBJETIVO

Aplicar técnicas de biotecnología reproductiva en la sincronización de estro e inseminación artificial en ovejas mestizas.





MATERIALES Y METODOS

A. LOCALIZACIÓN

Unidad académica y de investigación ovina – caprina y camélida, Estación Experimental Tunshi, Facultad de Ciencias Pecuarias - ESPOCH, ubicada en el Km 10 de la Vía Riobamba – Licto.



B. UNIDADES EXPERIMENTALES

Selección y entrenamiento de reproductores para la extracción de semen.

2 Reproductores:

- ✓ 1 reproductor

RAMBOUILLET

- Peso promedio: 90 kg
- Edad: 6 años



- ✓ 1 reproductor

POLL DORSET

- Peso promedio: 90 kg
- Edad: 5 años





B. UNIDADES EXPERIMENTALES

Selección de hembras y aplicación de protocolos

20 ovejas mestizas:

- 10 ovejas mestizas:
 - Peso promedio: 43 kg
 - Estado fisiológico:
Primer parto

- 10 ovejas mestizas:
 - Peso promedio: 44 kg
 - Estado fisiológico:
Segundo parto



C. MATERIALES, EQUIPOS E INSTALACIONES

1. Materiales:

- a. Materiales de campo
- b. Materiales para colecta
- c. Materiales para inseminación
- d. Materiales de laboratorio





C. MATERIALES, EQUIPOS E INSTALACIONES

2. Equipos:

Microscopio



Balanza



Ecógrafo



3. Sincronizantes:

Progesterona
(Crestar)



Benzoato de Estradiol
(Grafoléon)



eCG
(Folligon)



Prostaglandina F2 α
(Estrumate)



CIENCIA Y TECNOLOGIA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2020

E. MEDICIONES EXPERIMENTALES

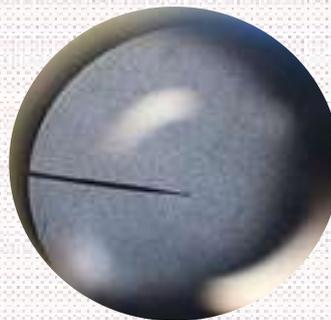
1. Reproductores:

- Color
- Olor
- pH
- Volumen, ml
- Motilidad masal e individual, (0 - 5)
- Spz. sin daño de membrana, %
- Spz. con daño de membrana, %
- Concentración
- Concentración por eyaculado

Carnero 1



Carnero 2





E. MEDICIONES EXPERIMENTALES

2. Hembras

- Peso inicial, Kg.
- Peso final, Kg.
- Ganancia de peso, kg.
- Ganancia de peso/día, g.
- Presencia de celo efectivo, %.
- Tasa de fecundación, %
- Tiempo a la presencia de del celo, h.
- Duración del celo, h.
- Costo por hembra sincronizada y preñada.



G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Pautas de recolección y extracción de semen

- ✓ Extracción.
- ✓ N° extracciones.
- ✓ Horario.
- ✓ Recogida.
- ✓ Dilución.
- ✓ Temperatura del diluyente.

Agua de coco (*Cocus nucífera*)

- Soluciones ácidas naturales y estériles
- Conteniendo sales.
- Proteínas.
- Vitaminas.
- Minerales.
- Factores de crecimiento.
- Osmolaridad 500 miliosmoles
- pH de 4.5





G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Estudio de la calidad seminal

- ✓ Volumen.
- ✓ pH.
- ✓ Concentración espermática.
- ✓ Motilidad masal.
- ✓ Motilidad individual.
- ✓ Daño de membrana celular. [Balcázar, J. y Porras, A. \(2006\)](#)



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA MORONA SANTIAGO CICTMS 2020

G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Protocolo 1





G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Protocolo 2



G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Inseminación artificial Transcervical



RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS SEMINALES DE LOS MACHOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOTECNOLOGÍA REPRODUCTIVA EN LA SINCRONIZACIÓN DE ESTRO E INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EN OVINAS MESTIZAS.

VARIABLE	CARNERO 1	CARNERO 2
Color	Cre moso	Cre moso
Olor	Sui Generis	Sui Generis
pH	6,5	6,5
Volumen, ml	2,13	1,56
Motilidad masal (0 - 5)	5	5
Motilidad individual (0 - 5)	5	5
Spz. sin daño de membrana, %	89,38	92,71
Flagelo doblado, %	9,14	5,48
Spz. con daño de membrana, %	1,48	1,64
Spz. doble cola, %	0	0,17
Concentración, (10 ⁶)/ml	200,192	187,904
Concentración por eyaculado, (10 ⁶)/ml	426,327	293,130



COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO EN LA SINCRONIZACIÓN DE ESTRO E INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EN OVEJAS MESTIZAS, CON LA UTILIZACIÓN DE DOS PROTOCOLOS EN OVEJAS DE PRIMER Y SEGUNDO PARTO.

VARIABLES	Protocolo		E.E.	Prob	Partos		E.E.	Prob.				
	Protocolo 1	Protocolo 2			Primer Parto	Segundo Parto						
Peso inicial(kg)	43,5	a 44,45	a	1	0,51	43,15	a 44,8	a	1	0,26		
Peso final (kg)	47,3	a 48,27	a	1,04	0,52	46,8	a 48,77	a	1,04	0,2		
Ganancia de peso (kg)	2,93	a 2,94	a	0,08	0,96	2,89	a 2,98	a	0,08	0,43		
Ganancia de peso diario (g)	9,48	a 9,51	a	0,35	0,96	9,29	a 9,7	a	0,35	0,43		
Tiempo a la presencia de celo (h)	20,59	a	19,72	a	0,76	0,44	20,09	a 20,22	a	0,76	0,91	
Duración celo (h)	33,4	a 33,6	a	0,85	0,87	34,4	a	32,6	a	0,85	0,16	
Número de servicios / Concepción	2	a	2	a	0	0,33	2	a	2	a	0	0,33
Condición Corporal inicial	2,95	a	2,95	a	0,05	1	2,95	a	2,95	a	0,05	1
Condición corporal final	3,5	a	3,5	a	0	0,33	3,5	a	3,5	a	0	0,33



PRESENCIA DE CELO (%) DE OVEJAS MESTIZAS COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOTECNOLOGÍA REPRODUCTIVA EN LA SINCRONIZACIÓN DE ESTRO E INSEMINACIÓN ARTIFICIAL.

Variables	Tratamientos				X ² Cal	Sign.
	Si	No	Si	No		
A1B1	5	0	50 %	0	5	Ns
A1B2	5	0	50 %	0	5	Ns
A2B1	5	0	50 %	0	5	Ns
A2B2	5	0	50 %	0	5	Ns

100 %

Ungerfeld, R. (2002): Tratamiento corto P4: induce y sincroniza 95,9%.

Rubianes (2004): Implante SC P4: ovinas mestizas Doorper: 90% (48 h.)

Gordon, M. (2010): Ovinas Corriedale, Multíparas (3, 4 Parto), 15/trat. Lloa, Quito, Pichincha.

T1, T2 (EI + CC 2 – 2,5; 3 – 3,5) 100% - 11d.

T3, T4 (CIRDS + CC 2 – 2,5; 3 – 3,5) 100% - 11d.

T5 (No sinc.) 20% - 11d.



PORCENTAJE DE FECUNDIDAD (%) EN OVEJAS MESTIZAS COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOTECNOLOGÍA REPRODUCTIVA EN LA SINCRONIZACIÓN DE ESTRO E INSEMINACIÓN ARTIFICIAL.

Variables	Tratamientos				X ² Cal	Sign.
	Preñadas	Vacías	Preñadas	Vacías		
A1B1	5	0	50 %	0	5	Ns
A1B2	5	0	50 %	0	5	Ns
A2B1	5	0	50 %	0	5	NS
A2B2	5	0	50 %	0	5	Ns

100 %

Ungerfeld, R. (2002): Tratamiento corto P4: 59,6%

Ptaszynska, M. (2007): IA Semen Fresco: Vaginal 50%, Transcervical 40%, Laparoscopia 70%.

Gordon, M. (2010): Ovinas Corriedale, Multíparas (3, 4 Parto), 15/trat. Lloa, Quito, Pichincha. T1 67%; T2 47%; T3 60%; T4 60% y T5 0,20%. → MONTA





ANÁLISIS ECONÓMICO POR HEMBRA PREÑADA Y SINCRONIZADA CON EL PROTOCOLO 1 (NOR "NUEVO" + BE + PF2α + eCG).

PRODUCTO	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Total
<i>Preparación:</i>				
Desparasitantes (IVERLIF L.A. + OMEGA 3)	40	ml	0,18	7,2
Vitaminas (AD3E)	20	ml	0,62	12,3
<i>Sincronizantes:</i>				
Progesterona (Crestar)	5	Implantes	8,5	42,5
Benzoato de Estradiol (Grafoleón)	10	ml	0,29	2,9
Gonadotropina Coriónica Equina (Folligon)	20	ml	2,24	44,8
Prostaglandina F2α (Estrumate)	5	ml	1,68	8,38
<i>Mano de obra</i>	10	Animales	2,19	21,88
<i>Colecta y manejo de semen fresco</i>	2	Procesos	60	120
<i>Proceso de inseminación</i>	20	Procesos	2,19	43,75
TOTAL				303,7

COSTO/HEMBRA PREÑADA Y SINCRONIZADA

30,37



ANÁLISIS ECONÓMICO POR HEMBRA PREÑADA Y SINCRONIZADA CON EL PROTOCOLO 2 (NOR "REUTILIZADO" + BE + PF2 α + eCG).

PRODUCTO	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Total
<i>Preparación:</i>				
Desparasitantes (IVERLIF L.A. + OMEGA 3)	40	ml	0,18	7,2
Vitaminas (AD3E)	20	ml	0,62	12,3
<i>Sincronizantes:</i>				
Progesterona (Crestar)	5	Implantes	5,95	29,75
Benzoato de Estradiol (Grafoleón)	10	ml	0,29	2,9
Gonadotropina Coriónica Equina (Folligon)	20	ml	2,24	44,8
Prostaglandina F2 α (Estrumate)	5	ml	1,68	8,38
<i>Mano de obra</i>	10	Animales	2,19	21,88
<i>Colecta y manejo de semen fresco</i>	2	Procesos	51	102
<i>Proceso de inseminación</i>	20	Procesos	2,19	43,75
TOTAL				272,95

COSTO/HEMBRA PREÑADA Y SINCRONIZADA

27,30





CONCLUSIONES

- ✓ En la sincronización del estro de Ovejas mestizas, con la utilización del implantes de progesterona “NOR”, el 100% de las vientres presentaron un celo efectivo, además del 100 % en tasa de fecundidad.
- ✓ El tiempo de presentación del celo en ovejas mestizas, cuando se aplicó el protocolo 2, tuvo un promedio de 19,72 horas, con una duración del celo de 33,60 horas; en tanto que cuando se utilizó el protocolo 1, el tiempo necesario para inducir y sincronizar el estro fue mayor, con un promedio de 20,59 horas, con una duración del celo menor de 33,40 horas.
- ✓ La ganancia de peso y peso final se vio afectado numéricamente, ya que cuando se utilizó el protocolo 2, se alcanzó un peso final de 48,27 kg y una ganancia de peso de 2,94 kg, y finalizando con una condición corporal de 3,5 puntos.
- ✓ El costo por oveja gestante con la utilización del protocolo 2, se estableció en 27,70 USD, durante el experimento, lo cual resulta ser eficiente, en tanto que al utilizar el protocolo 1, donde el costo por oveja gestante asciende a 30,37 USD, lo que puede representar pérdidas económicas en el rebaño.



RECOMENDACIONES

- ✓ Bajo las condiciones de este estudio se recomienda la aplicación del protocolo 2 con la reutilización del implante, en ganado ovino para los programas de sincronización de celo e inseminación artificial, debido a la eficiencia para obtener una ovina preñada.
- ✓ Desarrollar investigaciones donde se utilice estos protocolos basados en el uso de progestágenos versus prostaglandinas, con inseminación artificial con semen fresco, refrigerado, congelado – descongelado, sexado, a fin de evaluar costos de preñes en ovinas aptas para la reproducción.
- ✓ Difundir los resultados obtenidos en la presente investigación, a nivel de grandes, medianos y pequeños ovinocultores, para que se aprovechen la utilización de los diferentes protocolos de sincronización de celos, los mismos que aseguran la preñes del rebaño de ovejas mestizas en el Ecuador.





I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO

UTILIZACIÓN DE BIOESTIMULANTES EN LA PRODUCCIÓN DE SEMEN DE GALLOS E INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EN GALLINAS CRIOLLAS



INTRODUCCIÓN

INSEMINACIÓN ARTIFICIAL

- Años de Investigación Reproductiva
- Permite el control sobre la reproducción
- Se utiliza como una alternativa a la monta natural



Propósito

Controlar factores de tipo

Sanitarios



Zootécnicos



Alimenticios



Económicos





INTRODUCCIÓN



OBJETIVOS

Adiestrar gallos donantes de semen, mediante la técnica del masaje dorso abdominal

Preparar una fórmula de diluyente para conservación y transporte de semen de gallos.

Inseminar gallinas criollas con semen fresco





MATERIALES Y METODOS

A. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL

Unidad Académica de Investigación y Producción Avícola, ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Zootecnia, Ubicada en la panamericana Sur kilómetro 1 ½, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

Para esta investigación, **el Tamaño de la Unidad Experimental fue** de 2 grupos con un total de 33 animales; 18 gallinas y 15 gallos aptos para la reproducción



C. MATERIALES, EQUIPOS E

1. Materiales.



a. Materiales de campo





C. MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS.

1. Materiales.



b. Materiales para colecta



C. MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS.

1. Materiales.

c. Materiales para inseminación



d. Materiales de laboratorio





C. MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS.

2. Equipos



2. Bioestimulantes



D. TRATAMIENTOS

- 3 tratamientos experimentales con 5 repeticiones : Producción de semen de gallos
- 3 tratamientos con 6 repeticiones: Para la inseminación en gallinas.

Control (T0): animales sin administración de ningún producto bioestimulante
Tratamiento uno (T1): Bioestimulante Solvit Polvo
Tratamiento dos (T2): Bioestimulante Trolvit aminoácidos.

E. MEDICIONES EXPERIMENTALES.

1. Volumen, ml
2. Concentración, $\times 10^9$
3. Calidad del semen
 - Motilidad, %
 - Color
 - Olor
 - Vivos, %
 - Muertos, %



4. Índice de incubabilidad

- Número de huevos
- Huevos fértiles, %
- Huevos infértiles, %
- Huevo fértil sin desarrollo, %
- Incubabilidad, %



I Congreso Internacional de
CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2020



E. MEDICIONES EXPERIMENTALES

1. Volumen, ml
2. Concentración, $\times 10^9$
3. Calidad del semen
 - Motilidad, %
 - Color
 - Olor
 - Vivos, %
 - Muertos, %



4. Índice de incubabilidad
 - Número de huevos
 - Huevos fértiles, %
 - Huevos infértiles, %
 - Huevo fértil sin desarrollo, %
 - Incubabilidad, %

G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Producción de semen de gallos (Diluyente)

1



2



3



4



0,0857 g de acetato de magnesio



0,50 g de acetato de potasio



0,79 g de fructosa



1,691 g de Glutamato de sodio



100 ml de agua bidestilada



Diluyente





2. Inseminación artificial de gallinas criollas

1



2



3



4



5



CICTMS 2020



5

VERIFICACIÓN: Huevos fértiles





RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ESTUDIO DE LAS VARIABLES CON RESPECTO A LA EVALUACIÓN SEMINAL DE GALLOS PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS ANTE LA UTILIZACIÓN DE BIOESTIMULANTES SOLVIT POLVO Y TROLVIT AMINOÁCIDOS FRENTE AL TESTIGO.

VARIABLES	BIOESTIMULANTES			EE	Prob.
	TESTIGO (T0)	SOLVIT POLVO (T1)	TROLVIT AMINOACIDOS (T2)		
<u>Volumen del Eyaculado, ml</u>	0,32 a	0,24 a	0,37 a	0,03	0,40
<u>Concentración Espermática, X10⁹</u>	1,12x10 ¹⁰ a	9,75 x10 ⁹ a	1,39 x10 ¹⁰ a	6,74 x10 ⁸	0,17
<u>Concentración/ ML de semen, X10⁹</u>	8,59 x10 ⁹ a	7,96 x10 ⁹ a	1,03 x10 ¹⁰ a	3,53 x10 ⁸	0,13
<u>SPZ por Eyaculado, X10⁹</u>	2,78E9 a	2,21 x10 ⁹ a	3,91 x10 ⁹ a	3,54 x10 ⁸	0,34
<u>Motilidad, %</u>	4,47 ab	4,15 b	4,73 a	0,07	0,05
<u>SPZ Vivos, %</u>	92,41 a	88,37 a	94,39 a	0,82	0,10
<u>SPZ Muertos, %</u>	7,58 ab	9,69 a	5,60 b	0,45	0,04

Fuente: Tene, J. (2014).
Letras iguales no difieren estadísticamente.

EE: Error estándar.
Prob: Probabilidad.
SPZ: Espermatozoides

RESPUESTA DE LA EVALUACION DE BIOESTIMULANTES EN LA INSEMINACION DE GALLINAS PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS ANTE LA UTILIZACIÓN DE BIOESTIMULANTES SOLVIT POLVO Y TROLVIT AMINOÁCIDOS FRENTE AL TESTIGO.

VARIABLES	TRATAMIENTOS			EE	Prob.
	TESTIGO (T0)	SOLVIT POLVO (T1)	TROLVIT AMIN (T2)		
<u>Numero de huevos</u>	16	15	17	-	-
<u>Huevos no fértil, %</u>	6,67 a	3,33 b	0,00 c	0,00	0,001
<u>Huevos fértil, %</u>	93,33 c	96,67 b	100,00 a	0,00	0,001
<u>Huevo fértil sin desarrollo, %</u>	16,67 b	30,00 a	13,33 c	0,00	0,001
<u>Incubabilidad, %</u>	76,67 b	66,67 c	86,67 a	0,00	0,001

Fuente: Tene, J. (2014).
 Letras iguales no difieren estadísticamente.
 EE: Error estándar.
 Prob: Probabilidad





CONCLUSIONES

El método de adiestramiento de gallos donantes de semen mediante la técnica del masaje dorso abdominal resultó un 86,67% de efectividad para esta investigación. Esta técnica puede resultar como una alternativa en los sistemas de producción avícola con la finalidad de fijar caracteres genéticos en la creación de nuevas estirpes de producción de huevo.

La valoración de la calidad seminal macroscópica y microscópica presentó resultados diferenciados para cada tratamiento como respuesta al uso de bioestimulantes, siendo el mejor tratamiento para el uso de trolvit aminoácidos, entendiéndose que los micro elementos y metabolitos orgánicos son útiles para incrementar el metabolismo reproductivo de machos y hembras avícolas.

Es posible en nuestro entorno la formulación de diluyentes (glutamato de sodio, fructosa, acetato de magnesio y acetato de potasio) para manejo y conservación de semen fresco de gallo.



RECOMENDACIONES

En el entrenamiento del gallo, priorizar los masajes dorsales antes que los abdominales haciendo uso de la yema de los dedos y con movimientos rápidos a lo largo del lomo, terminando con los dedos pulgar y medio en la cloaca como si fuera a exprimir. Es mejor utilizar gallos que no hayan empollado para que el entrenamiento resulte más rápido y efectivo.

En futuras investigaciones evaluar otro tipo de diluyentes para conjeturar su efectividad contrapuesta con el diluyente Lake y Stewart realizado en este estudio.



RECOMENDACIONES

Puesto que la valoración seminal del semen de gallo con respecto a motilidad espermática, vivos y muertos, se desarrolla de manera subjetiva el evaluador se deberá adiestrar previamente con la ayuda de una persona que tenga experiencia antes de proceder a registrar datos. Además se recomienda evaluar profundamente la valoración microscópica con respecto a la calidad de la membrana celular para determinar mejor la efectividad de los bioestimulantes.

Entrenar a las gallinas con métodos alternativos al utilizado en esta investigación, hasta definir el más adecuado para nuestro medio e incubar los huevos y realizar un seguimiento hasta la eclosión de pollitos y comparar con la incubación y eclosión natural en la gallina



GRACIAS POR SU ATENCIÓN





www.espoch.edu.ec



PHD. ANABELLA URBINA

I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO



**Revalorización de
subproductos de la
industria alimentaria
mediante biotecnología.**

Presentado por:

Bqf. Anabell Urbina S. Ph.D





Índice de la presentación

1. Introducción
2. Objetivos
3. Métodos
4. Resultados
5. Conclusiones



Introducción

Los residuos, representan un importante desafío medioambiental. Actualmente estos subproductos son tratados de acuerdo a la denominada:

ECONOMÍA LINEAL





Introducción

Es por ello que actualmente se está intentando cambiar este sistema de producción y consumo, adaptándolo al nuevo sistema denominado:

ECONOMÍA CIRCULAR



Introducción

Desde un punto de vista realista los 2 principales subproductos ricos en quitina son:



Residuos de la Industria de crustáceos

Quitina



Residuos de la Industria de hongos comestibles

Son difíciles de ser eliminados



Contaminación del medio ambiente donde se depositan.





Introducción

Gran cantidad de residuo



Residuos de la Industria de crustáceos



Quitina



Residuos de la Industria de hongos comestibles



difíciles de eliminar



Contaminación del medio ambiente donde se depositan.



Introducción



Residuos de la Industria de crustáceos

Quitina

Al ser procesados



Residuos de la Industria de hongos comestibles

VALORIZACIÓN



- ✓ Quitina/Nanoquitina
- ✓ Quitosano
- ✓ Quito-oligosacáridos
- ✓ Glucosamina.





Introducción

En este estudio nos hemos centrado en la valorización de estos dos subproductos:



Residuos de cefalotórax y exoesqueleto de las colas.



Baratos, Fáciles de obtener y necesarios de ser procesados.

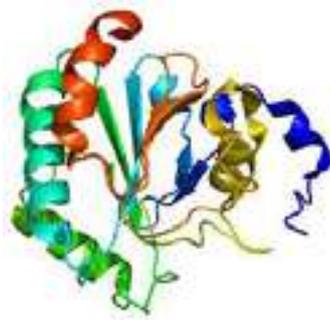


Tallos y champiñones no comercializables



Introducción

Quitinasas



PM: 20-90 kDa

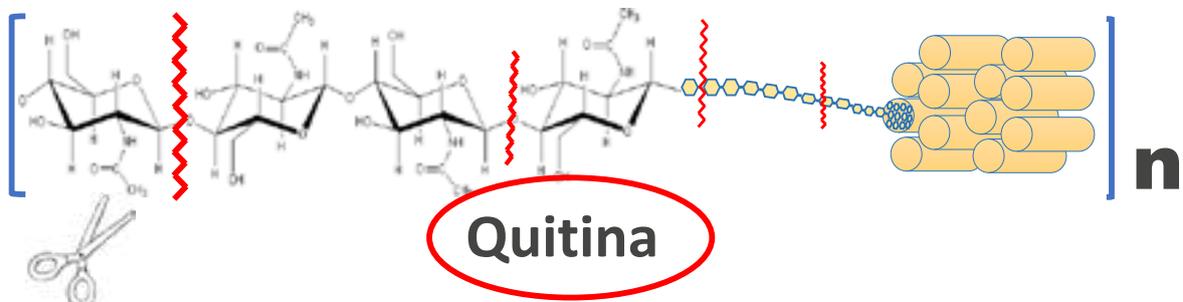
pH: 5-8

Temperatura: 37-50 °C

Tamaño: 350-800 AAs

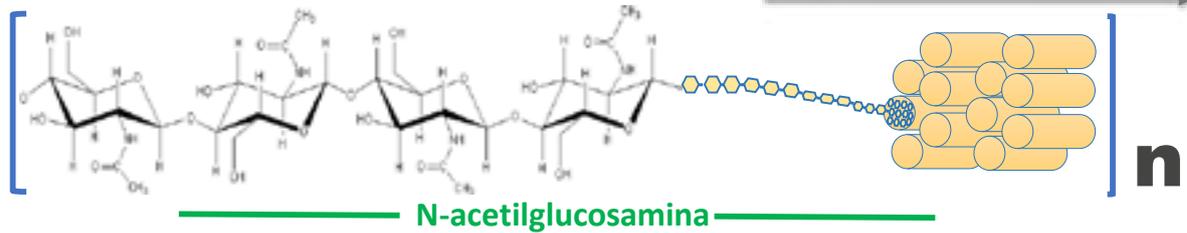
Catalizan la degradación o rotura de enlaces

β -1 \rightarrow 4





Introducción



Quitina

75% p.s
Contenido del material
desmineralizado.

30% p.s

Crustáceos



Moluscos



Insectos



Hongos



Introducción

Aplicaciones



- ❑ Producción de quitooligosacáridos, N-acetilglucosamina y glucosamina.
- ❑ En la terapia de enfermedades fúngicas y como aditivos en cremas antimicóticas.

Quitinasas

Estas enzimas tienen altos potenciales en aplicaciones:



Producción de proteínas unicelulares que pueden ser utilizadas como un alimento o un complemento alimenticio.





Introducción

Generación de protoplastos fúngicos utilizados para estudiar la síntesis de la pared celular.

Tratamiento de residuos ricos en quitina.

Quitinasas

Estas enzimas tienen altos potenciales en aplicaciones en:

Industria Agronómica

Gestión de Residuos

Biocontrol

Tratamiento de Plagas



Introducción

Aplicaciones





Introducción

Debido a que las quitinasas son muy demandadas industrialmente para su producción se requiere:

Producción



Bajo costo

FERMENTACIÓN

- i) Sistema de Producción
- ii) Cepa Productora
- iii) Buen Sustrato



La fermentación es el proceso en que los microorganismos tienen la capacidad de producir metabolitos, mediante el uso de sustancias orgánicas.



Introducción

i) Sistema de Producción

Las quitinasas se pueden producir mediante varios tipos o procesos de fermentación tales como:

FES



- × pH
- × Temperatura
- × Aireación

- ✓ Coste de inversión
 - ✓ Coste energético
 - ✓ Volumen de agua residual
 - ✓ Cultivos con alta estabilidad
 - ✓ Mejor contacto con el sustrato
 - ✓ Mejor difusión de oxígeno
 - ✓ Menor susceptibilidad al estrés osmótico.
- } **Menor**

FS



- × Más procesos en la recuperación y purificación
- × Mayor coste energético
- × Mayor volumen de agua residual.

- ✓ Obtención de un producto más homogéneo
- ✓ Temperatura
- ✓ Agitación
- ✓ pH.

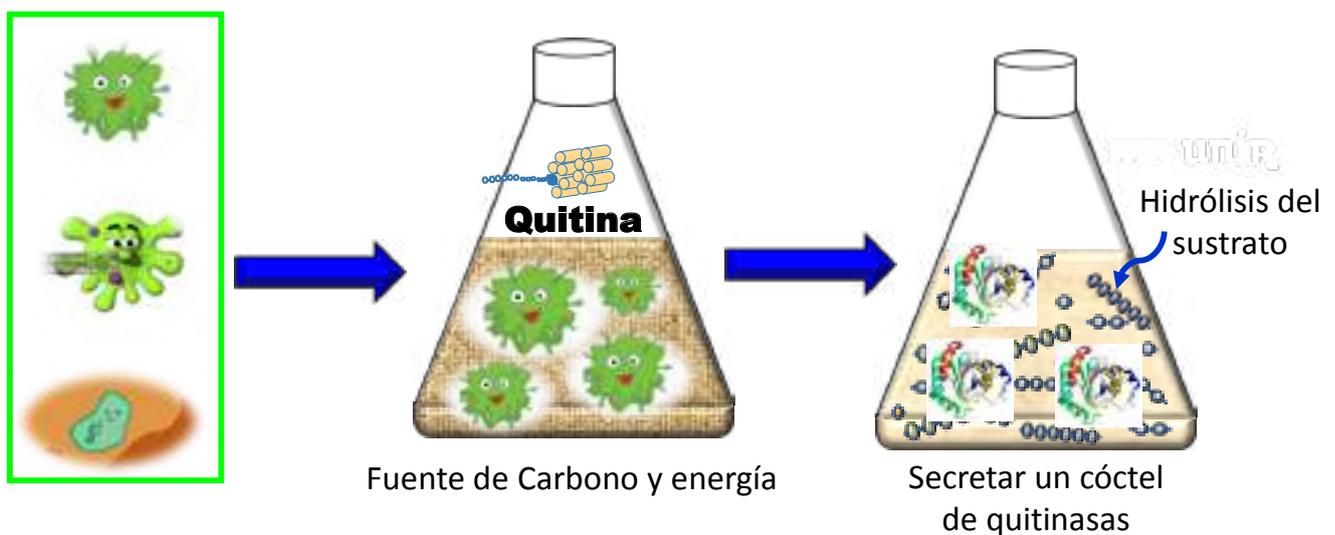




Introducción

ii) Cepa productora

Amplio abanico de microorganismos, siendo los mayores productores de quitinasas microbianas: *Serratia marcescens*, *Serratia liquefaciens*, *Vibrio vulnificus*, *Streptomyces spp.*, *Myrothecium verrucaria*, *Trichoderma harzianum* y *T. atroviride*, entre otras.



Introducción

iii) Sustrato

A escala industrial para la producción de quitinasas utilizan sustratos ricos en:

Quitina



Industria de crustáceos

Sin embargo el uso de otros sustratos ricos en quitina procedentes de otros orígenes, NO han sido utilizados.





Introducción

iii) Sustrato

A escala industrial para la producción de quitinasas utilizan sustratos ricos en:

Quitina



...MORONA SANTIAGO

Industria de Hongos comestibles





Introducción

Original Paper | Published: 14 May 2018

Chitinase Production by *Trichoderma harzianum* Grown on a Chitin-Rich Mushroom Byproduct Formulated Medium

Anabell del Rocio Urbina-Salazar, Alberto Renato Inca-Torres, Gonzalo Falcón-García, Pilar Carbonero-Aguilar, Bruno Rodríguez-Morgado, José A. del Campo, Juan Parrado & Juan Bautista

Waste and Biomass Valorization **10**, 2915–2923(2019) | [Cite this article](#)

289 Accesses | 3 Citations | [Metrics](#)

Residuos de hongos comestibles
(Tallos y champiñones no comercializables)

Por su carácter altamente renovable y por sus cantidades manejables.





Introducción

Polo del Conocimiento  Pol. Con. (Edición núm. 44) Vol. 5, No 04
Abril 2020, pp. 115-140
ISSN: 2550 - 682X
DOI: 10.23857/pc.v5i4.1369

*Preparación de quitina fúngica a partir de subproductos de hongos comestibles (*Agaricus bisporus*).*

Anabell Del Rocío Urbina-Salazar ^{a,b*}; Alberto Renato Inca-Torres ^{a,b*}; Pilar Carbonero-Aguilar ^a; Juan Bautista ^a.

Carbonero Aguilar P, et al., J Food Sci Nutr 2019, 5: 043
DOI: 10.24966/FSN-1076/100045

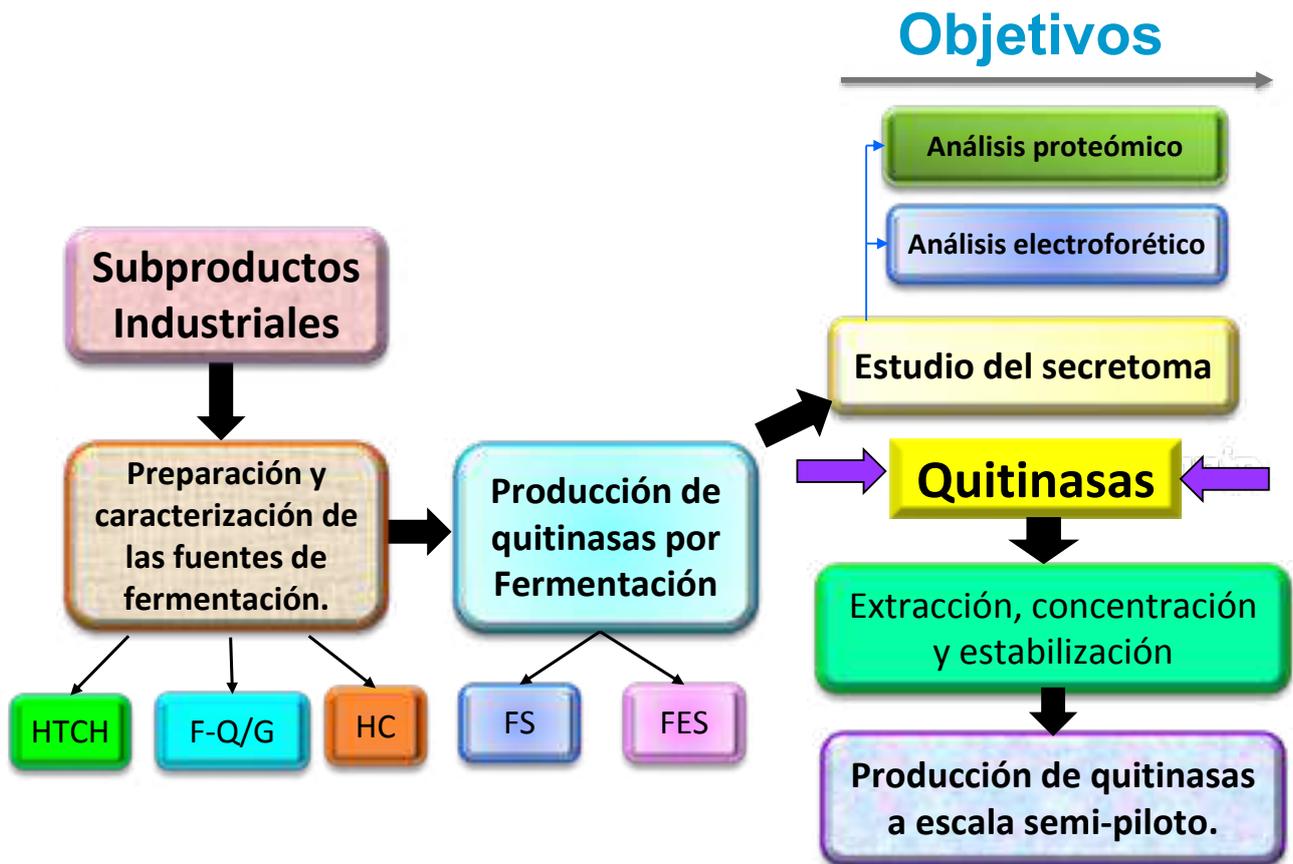
HSOA Journal of Food Science and Nutrition

Pilar Carbonero Aguilar^{1&}, Paloma Gallego^{3&}, Gonzalo Falcón García¹, Olga Cremades², Renato Inca Torres^{1,4}, Anabel Urbina Salazar^{1,4}, José A del Campo³ and Juan Bautista^{1 *}

Research Article

Ergothioneine Rich *Agaricus Bisporus* Extracts Decreases Lipid Accumulation Induced by Oleic Acid in HepG2 Cells: Possible Implications in the Treatment of Nonalcoholic Liver Fatty Disease







Métodos



☐ Recopilación de los subproductos

- ✓ Acopio
- ✓ Estabilización

Materia prima



Residuos de hongos comestibles
(Tallos y champiñones no comercializables)

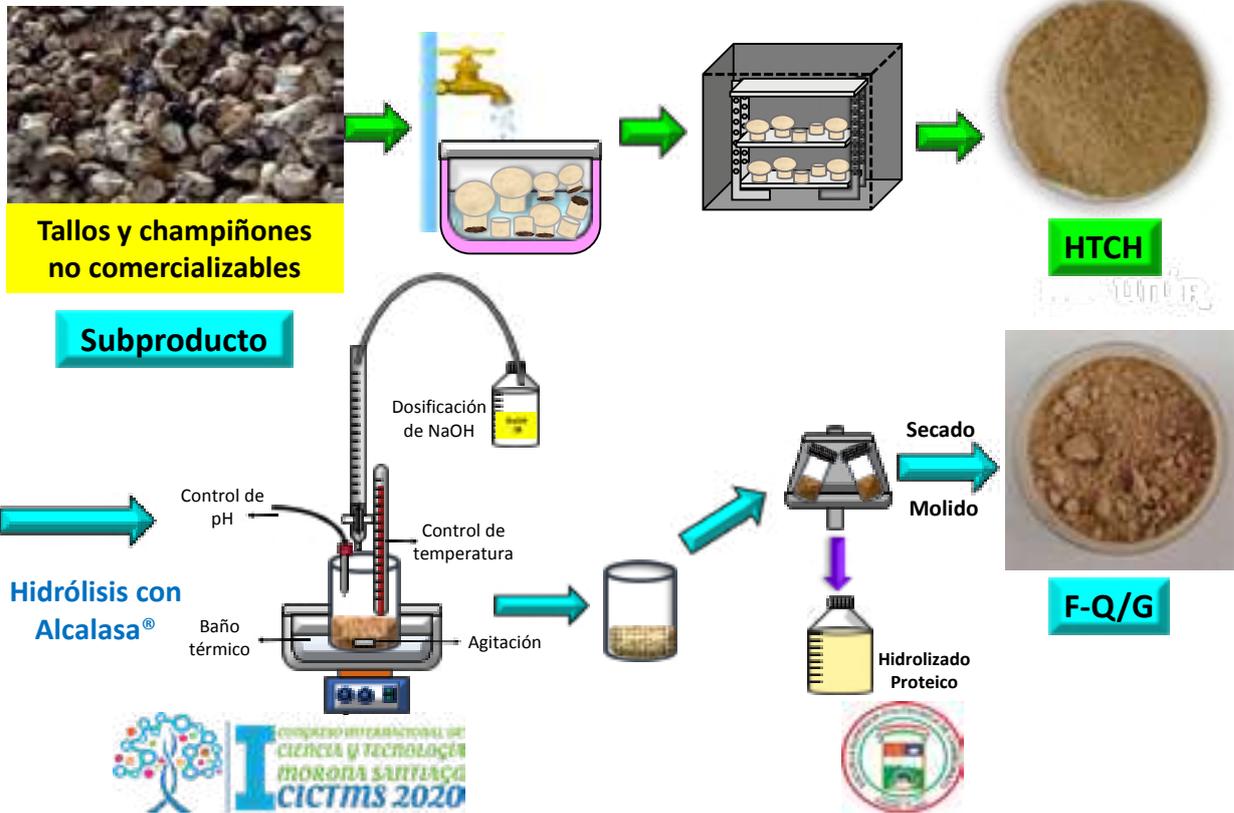


Residuos de cefalotórax y el exoesqueleto de las colas



Métodos

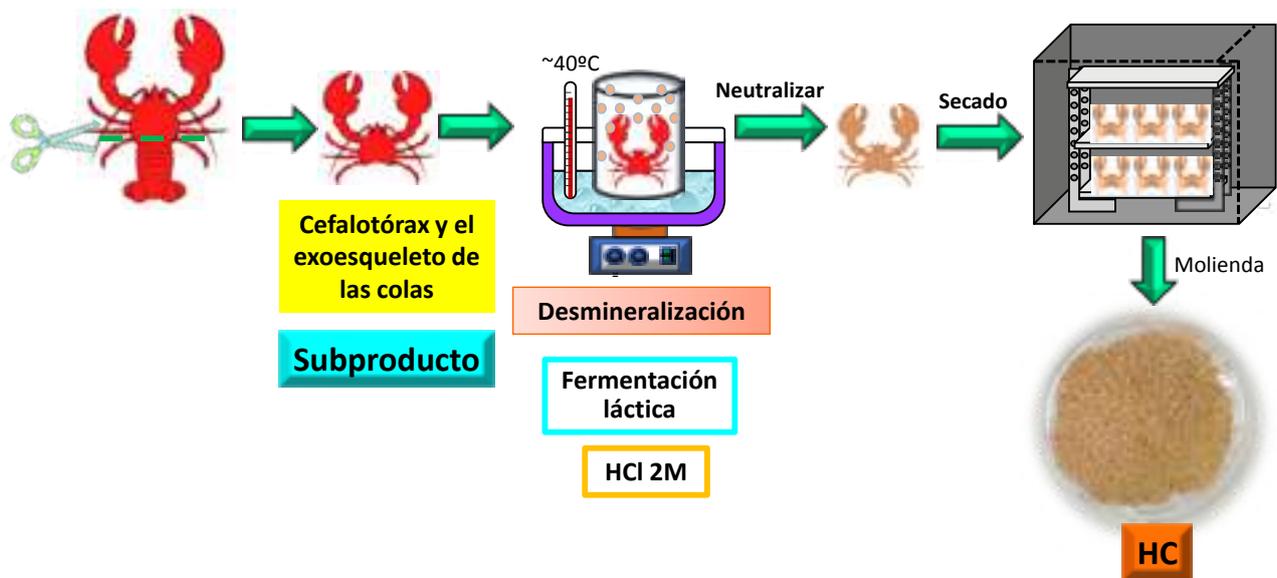
Preparación de los sustratos





Métodos

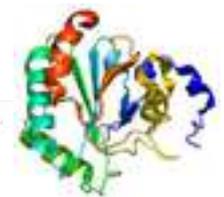
Preparación de los sustratos



Resultados

Caracterización de los sustratos

	HTCH (%)	F-Q/G (%)	HC (%)
Humedad ^{&}	7,3±1,2	7,4±0,5	7,0 ± 0,7
Peso seco [*]	92,7±1,2	92,6±0,5	93,0 ± 0,7
Cenizas [*]	8,8±2,3	7,6±0,7	35,5 ± 2,5
MO ^{&}	91,2±2,3	92,4±3,7	64,5 ± 2,5
Grasa [*]	3,2±0,4	n.d.	12,8 ± 0,9
N _i [*]	5,2±0,3	0,6±0,1	5,04 ±0,72
Proteína ^{&}	28,6±1,7 [§]	3,3±0,5 [§]	31,5±4,5 [#]
HC+Otros ^{&}	59,4±5,1	89,1±0,9	20,2±1,9
- Quitina [*]	22,1±1,9	33,5±2,4	16,1±1,7
pH [*]	6,9±0,3	7,9±0,4	7,2±0,3



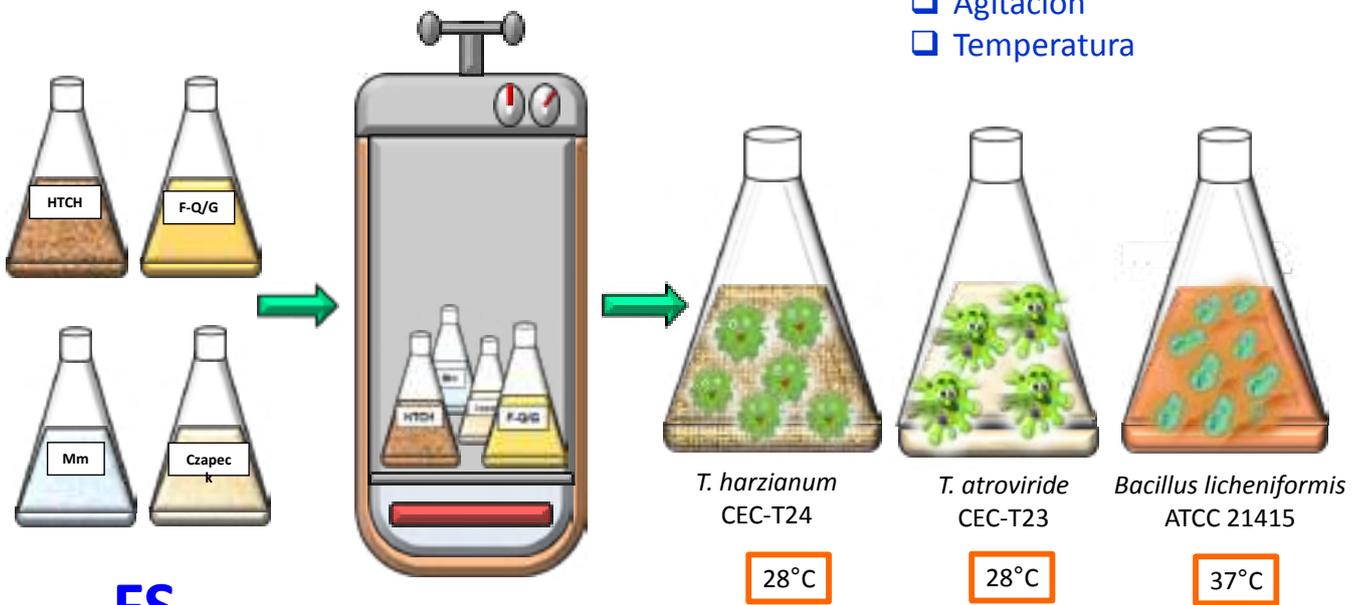
Quitinasas

[&]Datos calculados; ^{*}Datos experimentales; [§]factor 5,45 para HTCH; [#]factor 6,24 para HC.





☐ Fermentación Sumergida



Resultados

- ☐ Durante 14 días.
- ☐ Aerobiosis
- ☐ Agitación
- ☐ Temperatura



Resultados

Fermentación Sumergida

Crecimiento del microorganismo

28°C

28°C

37°C



Quitina Polvo



Quitina Coloidal

Biomasa	<i>T. harzianum</i>	<i>T. atroviride</i>	<i>B. licheniformis</i>
Medios de Cultivo	CEC-T24 (mg mL ⁻¹)	CEC-T23 (mg mL ⁻¹)	ATCC 21415 (mg mL ⁻¹)
H ₂ O/Q _p	0,1±0,1	0,2±0,1	0,2±0,2
H ₂ O/Q _c	0,4±0,1	0,3±0,2	1,3±0,1
Mm/Q _p	0,7±0,2	0,5±0,3	0,4±0,1
Mm/Q _c	3,2±0,4	2,9±0,2	2,3±0,3
Czapeck/Q _c	0,2±0,1	0,3±0,1	0,4±0,1
PB/Q _c	4,6±0,5	3,7±0,3	2,6±0,2
HTCH	9,8±0,5	8,5±0,3	4,7±0,4
F-Q/G	8,2±0,6	7,4±0,4	2,7±0,4

(Q_p: Quitina en polvo, Q_c: Quitina coloidal, Mm: Medio mínimo, PB: (Potato Broth = Extracto de Patata, F-Q/G: Fracción enriquecida de Quitina y Glucano).



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA MORONA SANTIAGO CICTMS 2020



Resultados

☐ Fermentación Sumergida

Producción de Quitinasas

	Microorganismo	UI L ⁻¹ F-Q/G	UI L ⁻¹ HTCH
Día 6	<i>T. harzianum</i> CEC-T24	1446,59	1989,06
Día 9	<i>T. atroviride</i> CEC-T23	1175,35	1627,41
Día 6	<i>B. licheniformis</i> ATCC 21415	361,65	542,47

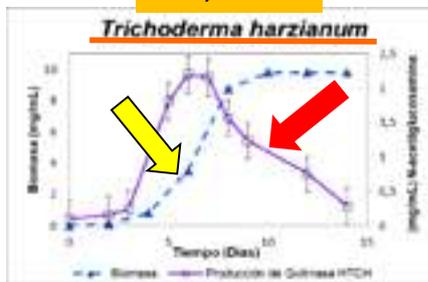
Máxima producción

Quitina fúngica y glucanos insolubles

Se aportan proteínas, péptidos, minerales y vitaminas.

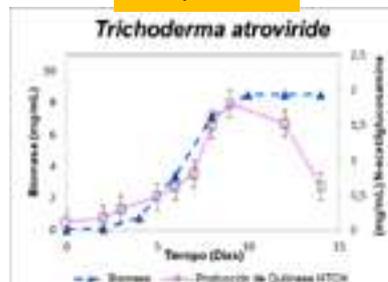
HTCH

1989,06 UI L⁻¹



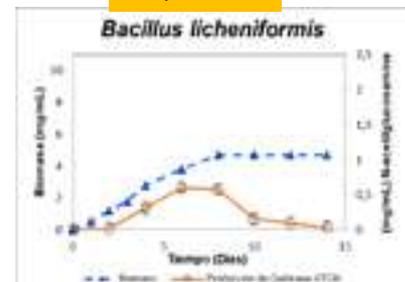
Día 6

1627,41 UI L⁻¹



Día 9

542,47 UI L⁻¹

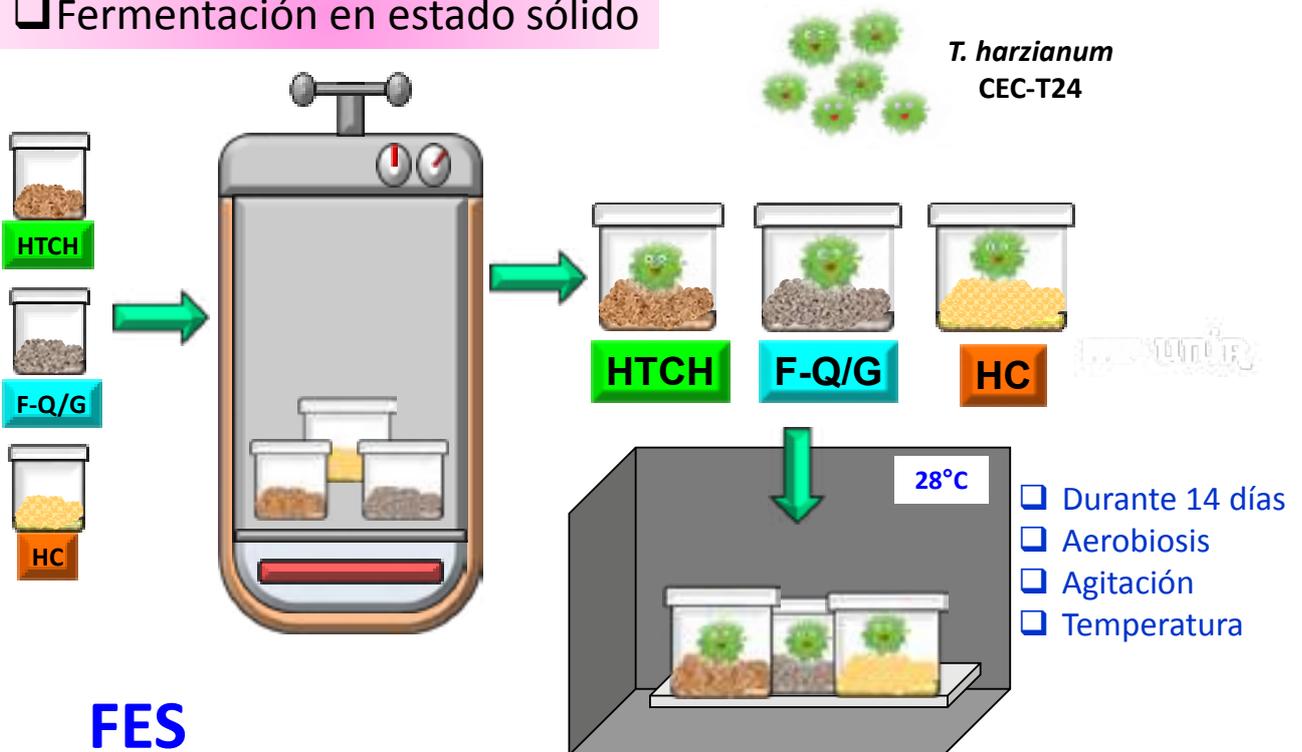


Día 6



Resultados

☐ Fermentación en estado sólido



FES



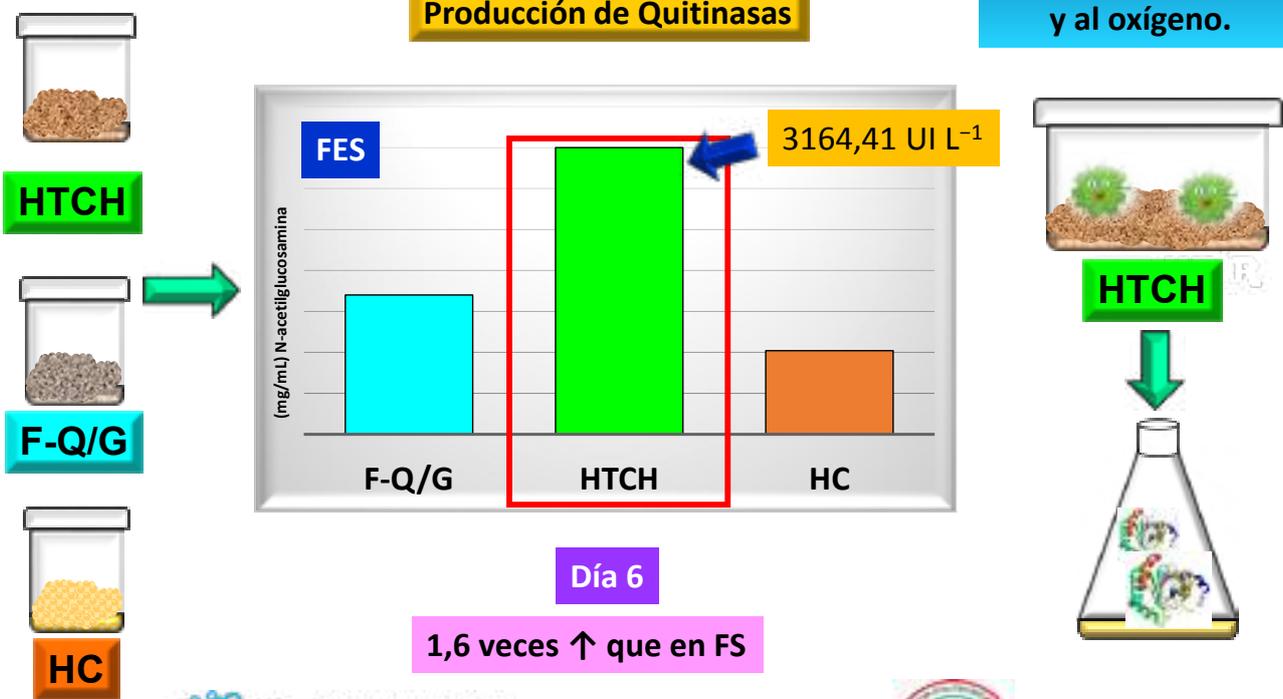


Resultados

☐ Fermentación en estado sólido

Producción de Quitinasas

> Acceso al sustrato y al oxígeno.

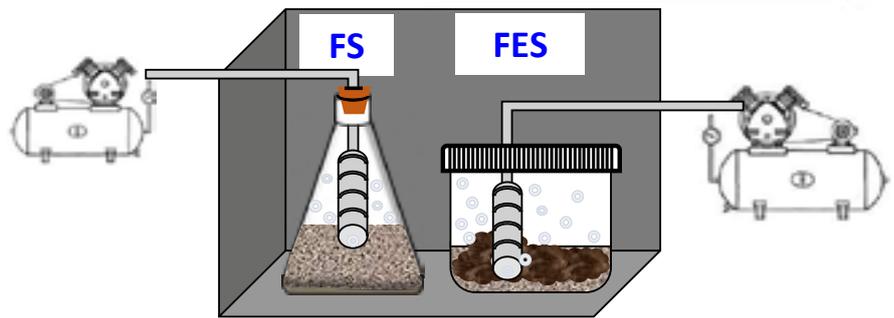
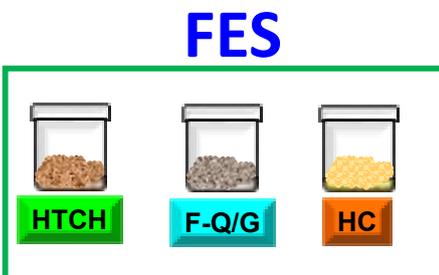
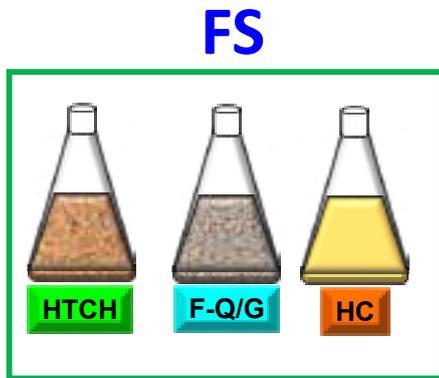


Día 6

1,6 veces ↑ que en FS



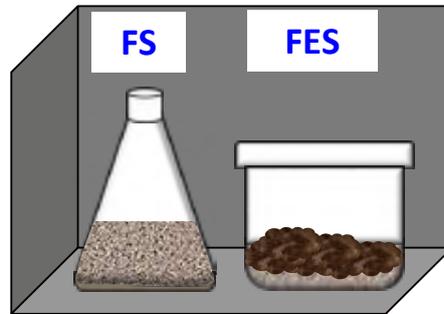
Resultados



Aireación

+A

Aireación efectiva, mediante el uso de un compresor, debido a que probablemente la agitación no sea suficiente.





Medios de cultivos	UI L ⁻¹ FS	UI L ⁻¹ FES
F-Q/G _{-A}	1446,59	1537,00
F-Q/G _{+A}	1537,00	2531,53
HTCH _{-A}	1989,06	3164,41
HTCH _{+A}	2260,30	5243,89
HC _{-A}	361,65	904,12
HC _{+A}	452,06	1084,94

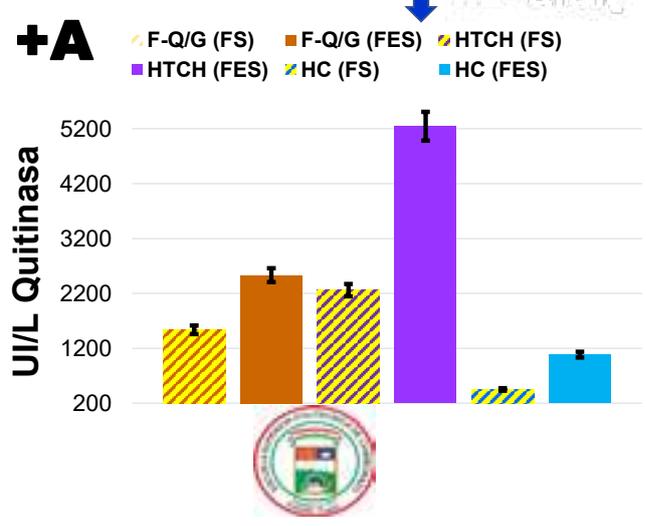
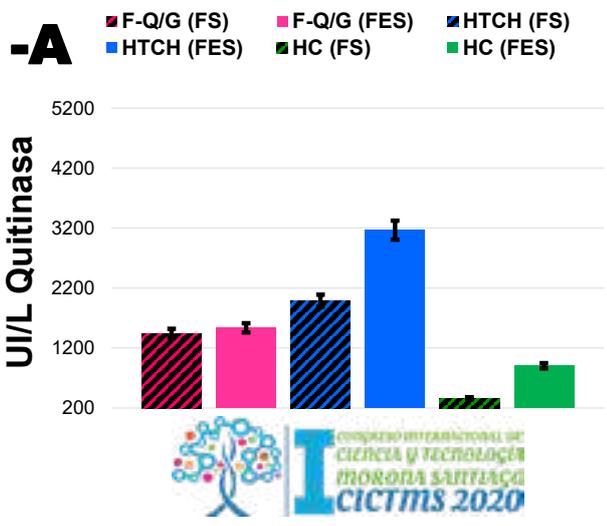
Resultados



+ A

Favorece la producción de quitinasas

5243,89 UI L⁻¹



Resultados

Producción de Quitinasas

FS

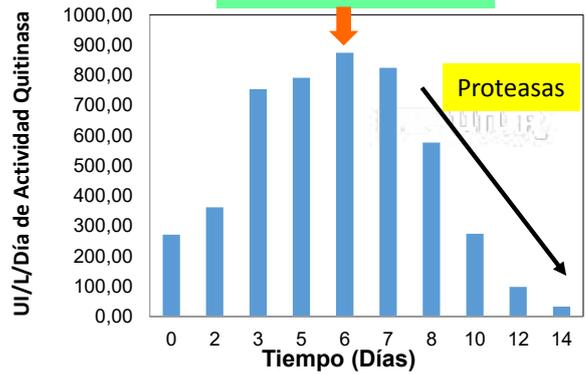
2260,30 UI L⁻¹

1989,06 UI L⁻¹

FES

5243,89 UI L⁻¹

3164,41 UI L⁻¹



Más beneficioso:

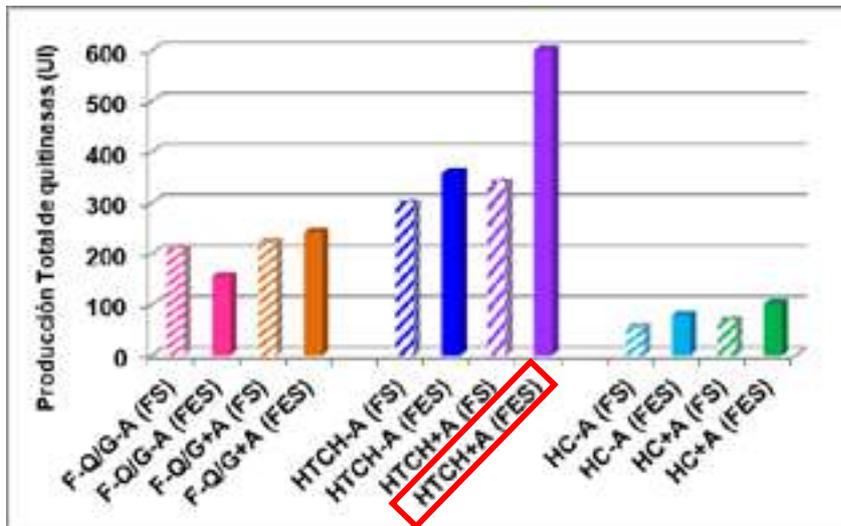
- ✓ Económico, Preparación sencilla
- ✓ No necesita otro procedimiento adicional.





Resultados

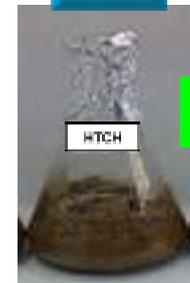
☐ Análisis de la producción total (UI)



FS



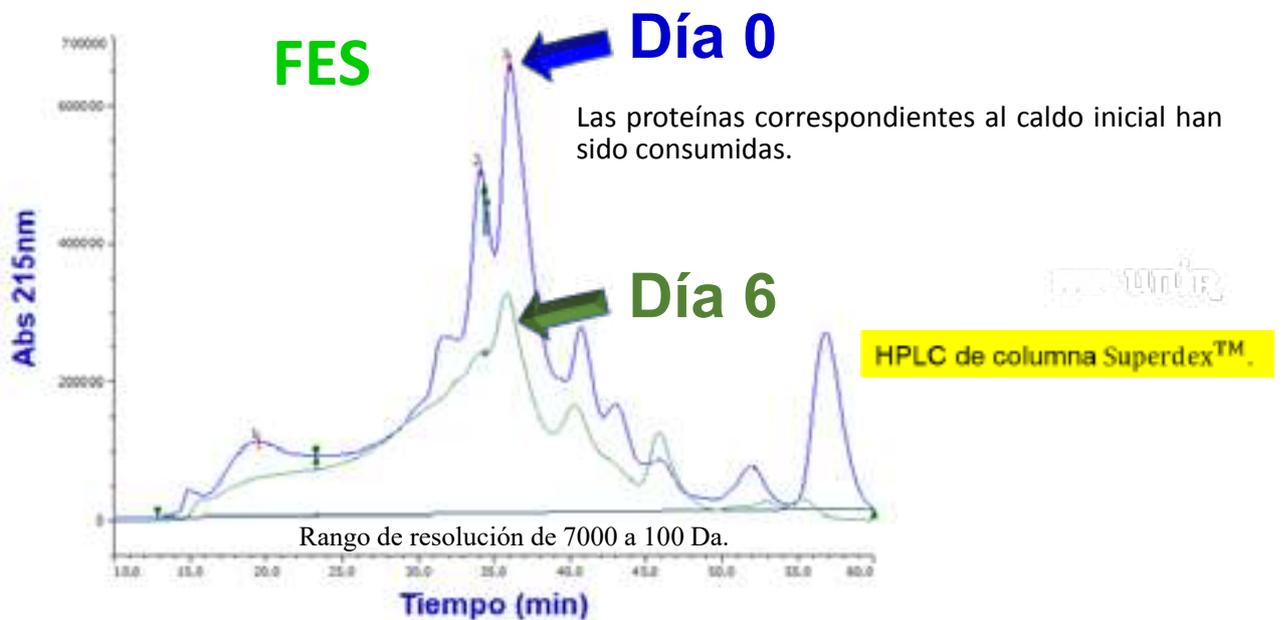
FES



76,99%

Resultados

□ Análisis Cromatográfico



Cromatografía de exclusión molecular



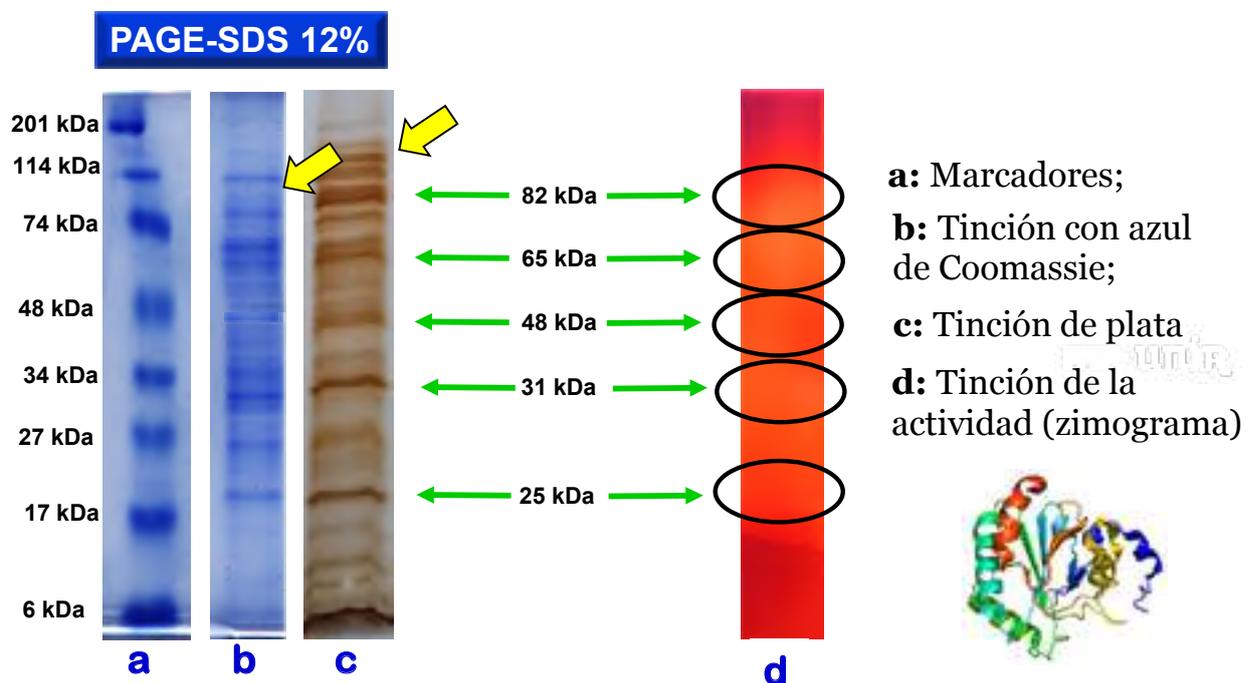
CONGRESO INTERNACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGIA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2020





☐ Análisis Electroforético

Resultados



Esta técnica no permite detectar proteínas que estén presentes a concentraciones bajas (< 0,1 ug/banda), ni diferenciar fácilmente entre proteínas propias del medio de cultivo y las secretadas, por lo que es necesario recurrir a una técnica más resolutive.



Resultados

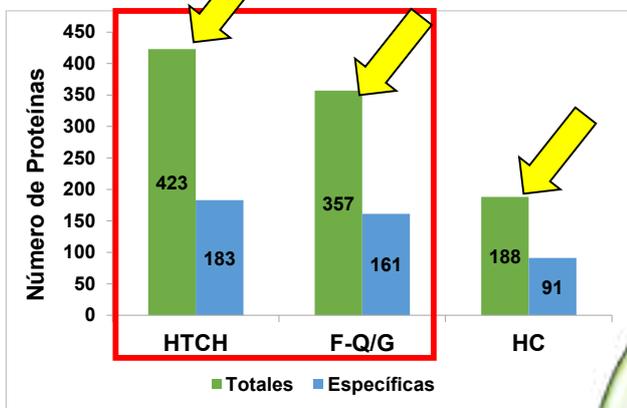
Análisis Proteómico



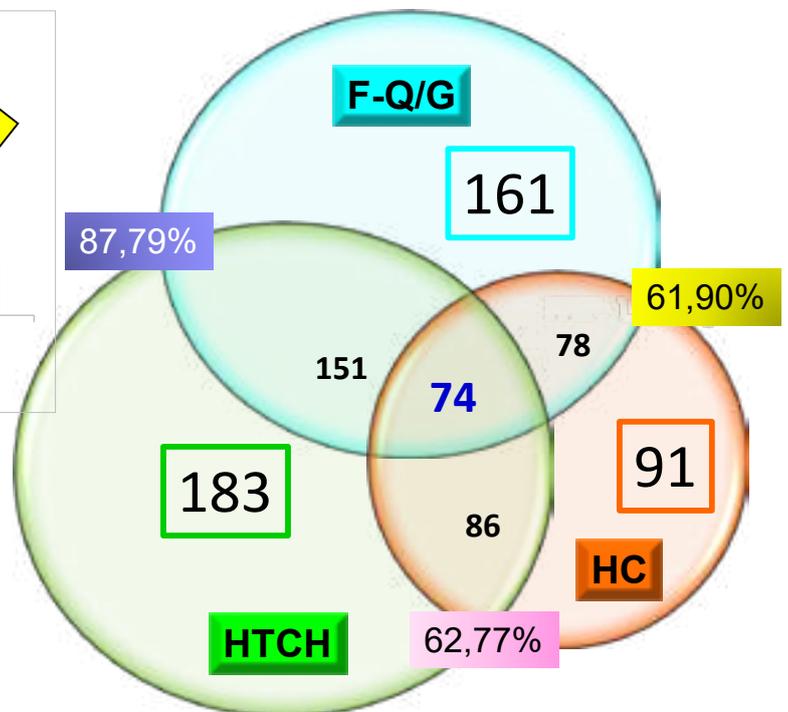


Resultados

☐ Análisis Proteómico

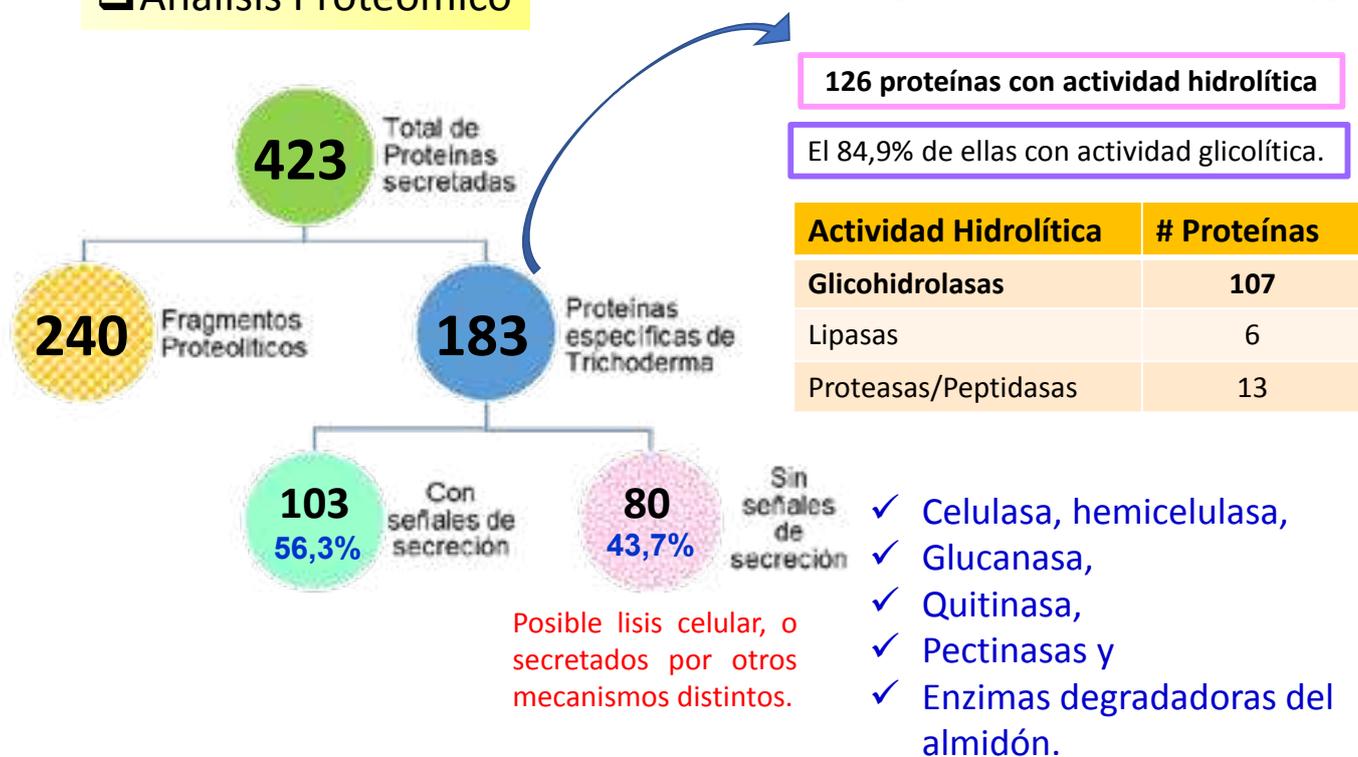


Glucanos



Resultados

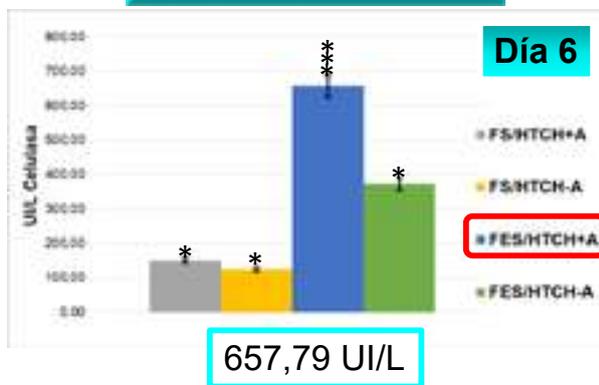
☐ Análisis Proteómico



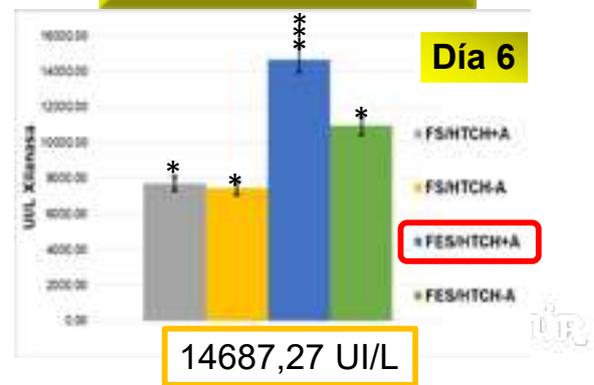


Resultados

Actividad Celulasa



Actividad Xilanasa

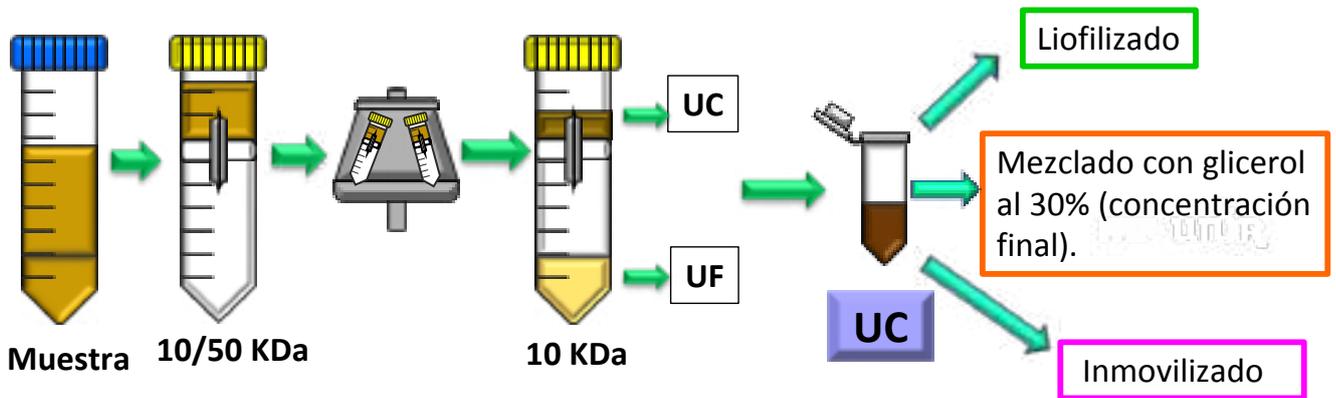


Actividad Proteasa



Resultados

Estabilización

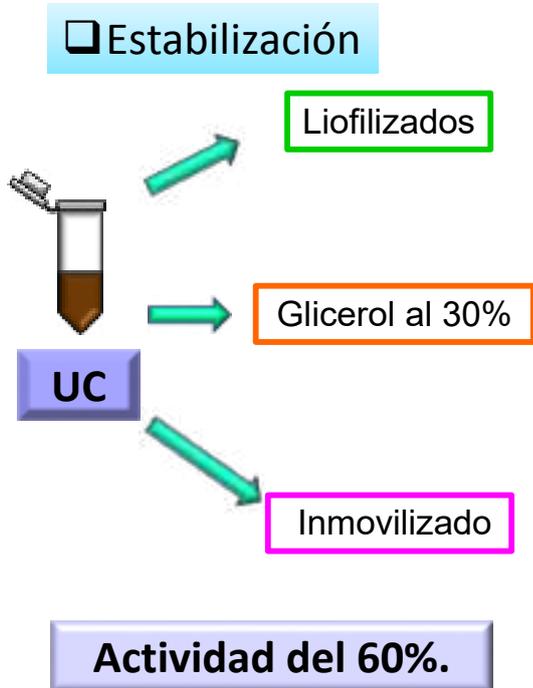


Ultrafiltración





Resultados



45°C	0 meses	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Caldo clarificado	100	32,4±2,8	13,8±1,4	9,7±0,7	4,8±0,3
UC10x	100	45,7±2,9	28,7±2,0	18,6±1,4	13,4±0,9
UC10x-Liofilizado	100	84,6±2,3	52,6±1,9	31,3±2,4	20,6±1,1
UC 10x+Glicerol 30%	100	85,6±4,2	58,3±3,4	33,2±2,6	18,1±1,8
UC 10x+ Inmovilización-alginato	100	80,5±4,3	54,3±3,4	29,4±4,3	19,7±1,4

22-23°C	0 meses	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Caldo clarificado	100	63,4±2,5	63,4±1,7	22,4±0,9	10,6±0,6
UC10x	100	82,6±3,4	60,6±4,3	45,7±2,2	28,7±1,6
UC10x-Liofilizado	100	87,3±2,2	67,5±2,8	43,1±3,1	36,1±2,7
UC 10x+Glicerol 30%	100	87,1±1,8	64,5±1,7	44,3±2,4	33,7±1,3
UC 10x+ Inmovilización-alginato	100	88,4±4,2	68,8±1,1	48,9±1,7	39,8±2,3

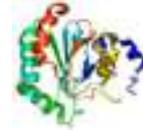
4°C	0 meses	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Caldo clarificado	100	72,2±3,8	53,6±2,2	41,8±1,7	32,1±1,4
UC10x	100	91,1±1,7	77,6±3,5	62,4±2,8	49,2±3,1
UC10x-Liofilizado	100	97,6±1,9	88,1±2,6	79,7±3,1	63,6±4,3
UC 10x+Glicerol 30%	100	98,1±1,1	86,8±4,1	78,3±2,3	66,3±3,6
UC 10x+ Inmovilización-alginato	100	96,7±2,3	88,0±4,3	78,6±4,5	68,1±4,9



Conclusiones



Quitinasas



Industria Farmacéutica



Producción de:
Quito-oligosacáridos,
N-acetilglucosamina
y
glucosamina.



Industria Alimentaria

- ✓ Aditivo y potenciador del sabor
- ✓ Elaboración de envases activos (antimicrobianos) utilizables para la conservación, protección y comercialización de los alimentos frescos.

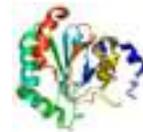




Conclusiones



Quitinasas



Industria Agronómica



✓ Bioplaguicidas,
✓ Biofertilizantes.



Gestión de Residuos



Tratamiento de residuos ricos en quitina.



Conclusiones





Dra.anabellurbina@hotmail.com

0995155057





www.esPOCH.edu.ec





PHD. MARIANA FRÍAS

**I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO**



Manejo Emocional vs. Productividad Científica

Dra. Mariana Farías Mata
Noviembre, 2020



I Congreso Internacional de
Ciencia y Tecnología
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2020

Manejo emocional vs. productividad

Manejo Emocional y Productividad Científica





La sanidad mental se define...

“El **completo estado de bienestar** físico, psíquico y social y **no sólo la ausencia de enfermedad**”

(OMS, 2016)



“Estado de bienestar en el cual el individuo es **consciente de sus propias capacidades**, puede **afrentar las tensiones normales de la vida**, puede trabajar de forma **productiva** y fructífera y es capaz de hacer una **contribución a su comunidad**”

(OMS, 2016)

Condiciones laborales, sociales y emocionales que afectan la salud y la PRODUCTIVIDAD



¿Qué entendemos por PRODUCTIVIDAD Científica?

Expresiones del **talento humano** sobre su conocimiento producto del trabajo intelectual realizado en áreas **tecnológicas, científicas y de servicios**, utilizando **metodologías científicas-tecnológicas** que contribuye al **desarrollo del país**. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181414861004>

FAVORABLES



DESFAVORABLES

PRODUCTIVIDAD afectada por condiciones **sociales, laborales y EMOCIONALES**





Manejo emocional vs. productividad

¿Cuáles son las condiciones IDEALES para producir intelectualmente?

LABORALES

- Disponibilidad de recursos
- Coherencia de políticas
- Reforzamiento de la eficiencia
- Salarios dignos

SOCIALES

- Seguridad ciudadana
- Abastecimiento
- Estabilidad política
- Seguridad social



EMOCIONALES

- Ambiente seguro, nutritivo, estable, motivante, garante del respeto y diversidad de posiciones

Actualmente...

¿contamos con esas condiciones?



Manejo emocional vs. productividad



UNA SOCIEDAD EN CRISIS...

Condiciones **desajustadas** que nos afectan en todos los ámbitos...





Manejo emocional vs. productividad



Por si no fueran suficientes
las tensiones que nos
afectan desde marzo 2020
se desató una

Pandemia por Covid-19

con su consecuencia mas inmediata, el

Confinamiento



Reacciones ANTE el CONFINAMIENTO

FISICAS

Aislamiento
Cansancio
Aburrimiento
Exceso de trabajo:
estudiantes, hijos, hogar

SOCIALES

Temor a incapacidad de
proveer.
Soledad
Amigos, colegas
Carga laboral



ESPIRITUALES

¿Por qué pasó?
Confusión sobre mis
competencias.
Miedo
Incertidumbre

EMOCIONALES

Sin soluciones
Sin esperanzas
Angustia
Miedo a la muerte





¿Emocionalmente...¿Cómo nos afectan estas condiciones?

INDIVIDUALMENTE...

Impulsos "descontrolados"
Trastornos de sueño
Pérdida de concentración
Falla en la memoria
Ataques de pánico / Ansiedad
Desmotivación



Desinterés
Confusión

PRODUCTIVIDAD...

Parálisis intelectual
Impuntualidad
Ausentismo laboral
Retraso en la entrega de proyectos
Terminación precoz de la jornada
Dificultad para culminar tareas
Búsqueda de "otros empleos"



ESTRÉS LABORAL



Estrés laboral

Incapacidad del individuo para responder a demandas internas y externas presentes en su entorno socioafectivo y laboral, causadas por múltiples factores (Saraz, 2006 & Karasek & Theorell, 1990).



Los **factores psicosociales** representan una nueva generación de **riesgos laborales**, es decir, condiciones que se encuentran presentes en una situación de trabajo que no son físicas, químicas ni biológicas, y que **afectan** tanto a la **salud** del trabajador como su **desempeño**. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2018)

Adicionalmente Latinoamérica es una **REGIÓN** con

ESCASA y POBRE PRODUCTIVIDAD
Científica y Tecnológica





Manejo emocional vs. productividad

¿Cómo reacciona el talento humano ante situaciones estresantes?

AMENAZA (DAÑO O PÉRDIDA)

Percepción de aspectos negativos vinculados a una situación, que aleja y dificulta el logro de objetivos y metas laborales.



OPORTUNIDAD (RETO O DESAFÍO)

Percepción de **aspectos desafiantes** que permiten activar **expresiones emocionales** y estrategias de **afrontamiento** para **alcanzar metas**.



La situación estresante puede ser evaluada como:



Capacidad evaluativa **DIFERENCIAS INDIVIDUALES**

EMOCIONES ASOCIADAS

Esperanza
Optimismo
Alegría
Confianza

RETO O DESAFÍO



DAÑO O PÉRDIDA

Rabia
Ansiedad
Depresión
Manifestaciones
físicas
Enfermedad



COVID-19
IMÁGENES DE UNA CRISIS

RABIA, TRISTEZA, INCERTIDUMBRE Y MIEDO

Emociones principales del SER HUMANO en los últimos tiempos





Entonces...ante este panorama

¿Podemos MANEJARNOS EMOCIONALMENTE?

LAS EMOCIONES

Procesos **adaptativos** cuyo efecto positivo o negativo dependerá de la **valoración o significado** que tenga la situación y de los **recursos** que tenga el individuo para **adaptarse** a esos cambios.



Poseen una **función social**, por lo que su regulación y expresión **impactará** de modos muy diversos en el **contexto laboral**.



Con las **EMOCIONES** Hacemos...
no solo reaccionamos...



Un cambio profundo en la perspectiva con que
PERCIBIMOS nuestro **ENTORNO** puede
hacernos **influir** en nuestros **PENSAMIENTOS**,
EMOCIONES y **ACCIONES**

Cuando expresamos emociones
establecemos una relación entre lo
que se **PIENSA**, se **DICE**, se **HACE** y
se **SIENTE**





Manejo emocional vs. productividad

Podemos **PENSAR** de manera **DISTORSIONADA** y **NUBLAMOS** nuestro sentir y hacer...

Pensamientos ...

- ERRÓNEOS
- CATASTRÓFICOS
- PERFECCIONISTAS
- DE NEGACIÓN
- SOBREGENERALIZACIÓN
- ETIQUETAS
- POLARIZADOS
- NEGATIVISTAS



PENSAMIENTOS claros...EMOCIONES adecuadas

NOS PERMITEN:



Conocernos, **satisfacer** **necesidades** y entendernos.

Concientizar pensamientos y actitudes.

Indicador de **cómo evaluamos y juzgamos** las diferentes situaciones que vivimos.

Adaptarnos al entorno y actuar adecuadamente.

Tomar decisiones y elegir conscientemente.

SER RESILIENTES





Manejo emocional vs. productividad

Capacidad humana de desarrollar un modo de **PENSAR, SENTIR Y ACTUAR** para **afrontar** las adversidades, **superarlas** y **transformarlas** en oportunidades, logrando el **fortalecimiento** del individuo.

Reconstrucción y adaptación continua para el manejo de la crisis



Ajuste activo entre el sujeto y el entorno laboral cambiante

RESILIENCIA

Salir reforzado de eventos adversos y **mejorar** el funcionamiento



Soy RESILIENTE cuando...

Me responsabilizo de mi **HACER**.

Incremento mis fortalezas.

Asumo trabajar utilizando mecanismos de **confrontación efectivos** para vencer el fatalismo y afrontar la crisis de la manera menos lesiva posible.

Evalúo los problemas en su justa medida.

Elimino pensamientos distorsionados.

Acepto sentimientos displacenteros.





Manejo emocional vs. productividad



**¿Cómo SER PRODUCTIVOS
EMOCIONALMENTE?**

Somos **productivos** y emocionalmente **estables** cuando...



ASUMO mi **REALIDAD**.

Concientizo **mi** adversidad...**NUESTRA** adversidad.

Decido motorizar la adversidad para generar una **reestructuración cognoscitiva, emocional y conductual**.

Reconozco un **entorno desfavorable**.

Tomo control y Afronto situaciones que en su momento veía sin solución.

Desagrego la situación y evalúo en donde puedo **actuar y cambiarla** para mi beneficio y para los demás.





Manejo emocional vs. productividad

Organizo mi trabajo intelectual, **enfoco** metas y **actúo** en consecuencia.

Construyo científicamente y tecnológicamente **desde** mi-nuestra **realidad social**.

PARTICIPO ACTIVAMENTE en la **toma de decisiones** y en la **ejecución** de cambios en mi entorno.



Ser RESILIENTEMENTE PRODUCTIVO es...

Avanzar con **propuestas concretas**, que permitan
"incorporarse e incorporarme" progresivamente a proyectos
viables y conectar de nuevo con la **esperanza** de vivir en un
mejor país





TODO PARECE
IMPOSIBLE HASTA
QUE SE HACE
Nelson Mandela

كيفية النجاح



Gracias por su
Atención

mfariasmm@gmail.com



PHD. GUILLERMO MACHADO

I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO

Enfoque transdisciplinario de los Autómatas Celulares
en la simulación de superficies de flujo para la
mitigación de riesgos en las comunidades humanas
dentro de su entorno

Presentado por: Guillermo Machado Sotomayor





Contenidos

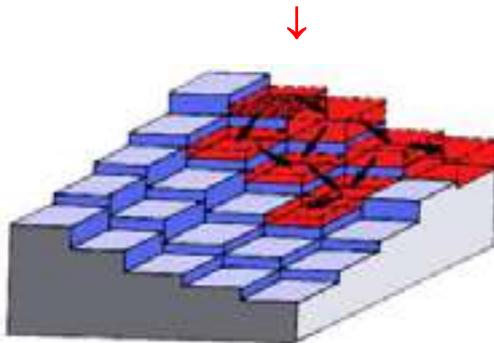
1. Breve introducción de Autómatas Celulares (AC)
2. Criterios de AC para modelar fenómenos macroscópicos complejos de tipo: flujos de superficies
3. LLUNPIY: un modelo para simular lahares
4. Aplicaciones del modelo LLUNPIY
5. Conclusiones



Breve introducción

Autómata Celular (AC)

Los comportamientos complejos emergen por reglas locales relativamente simples :



La dinámica general surge como consecuencia de las aplicaciones simultáneas de la función de transición a cada celda.

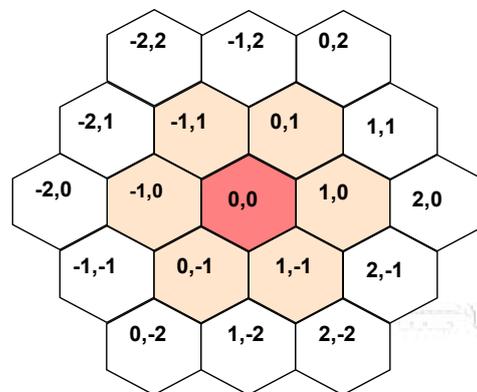




Breve introducción

-2, 2	-1, 2	0, 2	1, 2	2, 2
-2, 1	-1, 1	0, 1	1, 1	2, 1
-2, 0	-1, 0	0, 0	1, 0	2, 0
-2, -1	-1, -1	0, -1	1, -1	2, -1
-2, -2	-1, -2	0, -2	1, -2	2, -2

von Neumann neighbouring



hexagonal neighbouring

En el tiempo $t=0$, las celdas están en estados arbitrarios y los AC evoluciona cambiando el estado en tiempos discretos, de acuerdo a la función de transición $\tau: S^m \rightarrow S$, donde S es el estado finito de los estados del af



Breve introducción

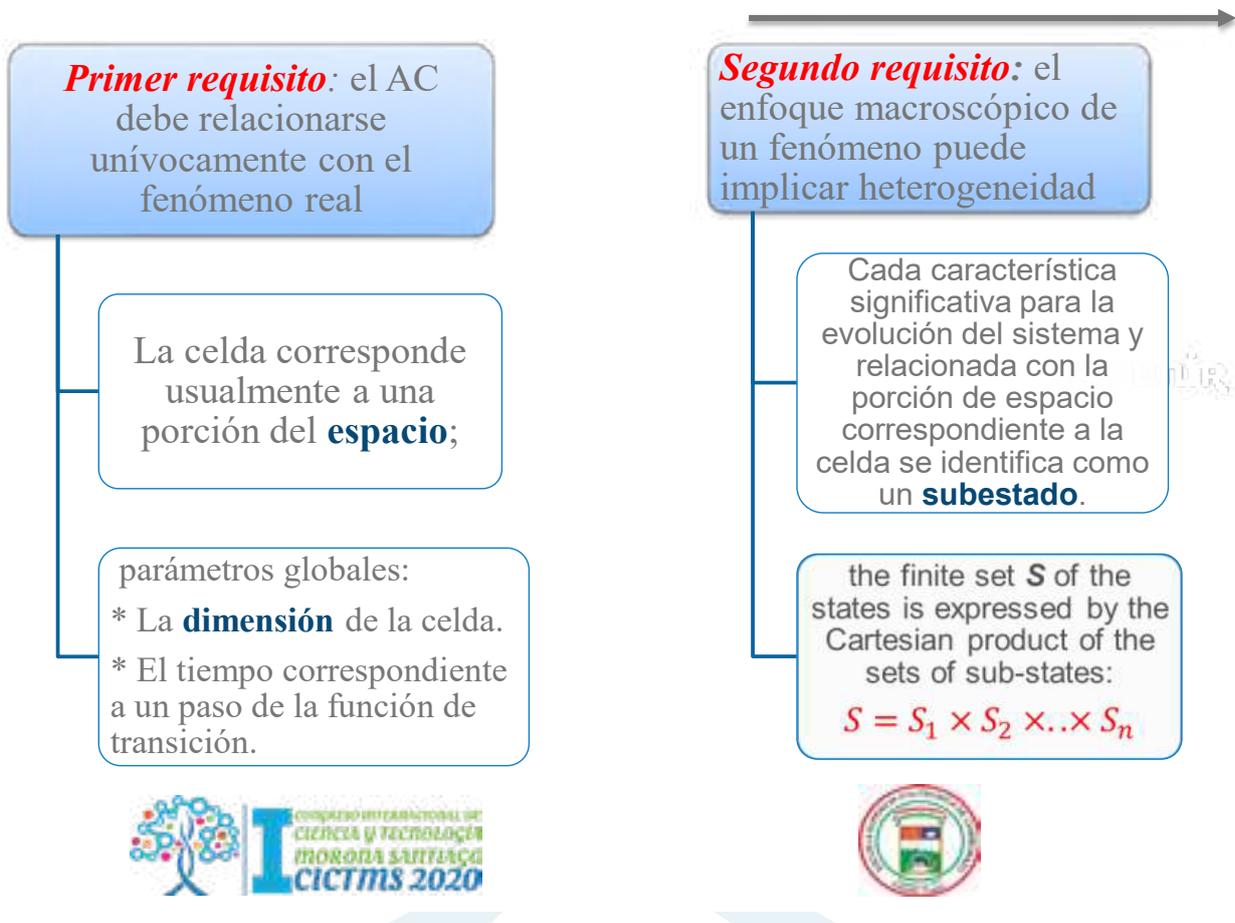
Algunas Aplicaciones de los AC

- Los estudios de AC se refieren tanto a aspectos **teóricos** como **aplicativos**.
- Los estudios **teóricos** se refieren a la teoría de la computabilidad (computación paralela), vida artificial, sistemas complejos, etc.
- Los estudios **aplicativos** se refieren al modelado y simulación de muchos fenómenos complejos: dinámica de fluidos en muchos aspectos diferentes, incendios forestales, tráfico, bio-remediación de suelos, dinámica de poblaciones, percolación del café, etc.
- El comportamiento global se obtiene mediante reglas locales.





Criterios de AC para modelar fenómenos macroscópicos



Tercer requisito: el fenómeno macroscópico puede implicar una complejidad de procesos de naturaleza similar o diferente

La función de transición τ tiene que ser descompuesta en "procesos elementales",
 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$;

cada proceso elemental implica la **actualización del estado** de cada celda.



Cuarto requisito:

a veces, se debe considerar una especie de entrada del "mundo externo" en las celdas de la AC.

Funciones especiales y/o adicionales (γ) puede ser especificado por

$$G = \{G_1 \cup G_2 \cup \dots \cup G_n\}$$

Es el conjunto de celdas que se ven afectadas por el "mundo externo"

$\gamma: N \times G \rightarrow S$
expresa las influencias externas para las celdas de G en el espacio celular.





SCIDDICA, un modelo para simular flujos de escombros

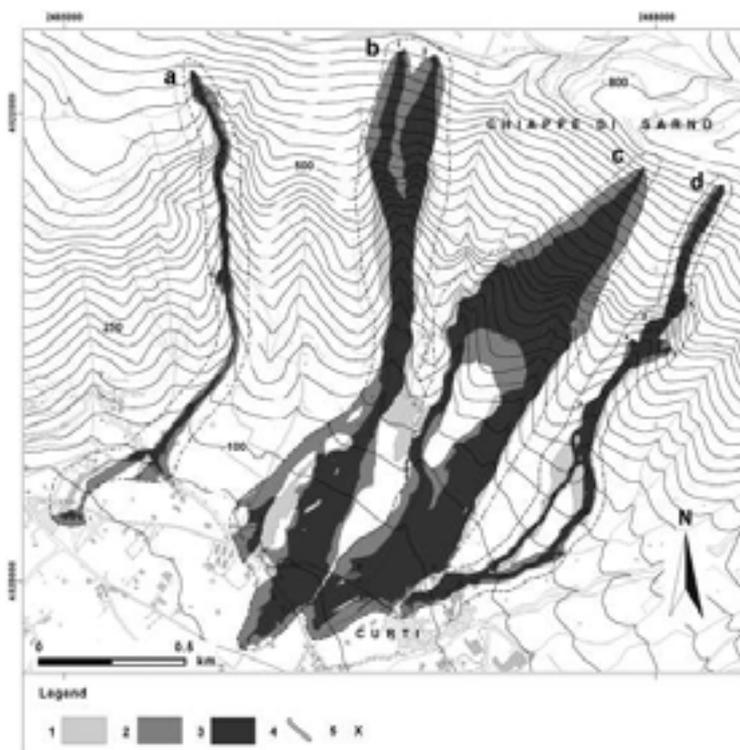
- **the 1998 Sarno debris flows**

En mayo de 1998, en Campania, sobre todo en las laderas del Pizzo d'Alvano, se desencadenaron numerosos flujos de escombros muy rápidos a causa de lluvias excepcionales.



SCIDDICA, un modelo para simular flujos de escombros

- **the 1998 Sarno debris flows**



La figura muestra la superposición de eventos reales y simulados:

- > gris claro = solo flujos de escombros reales,
- > gris oscuro = solo flujos simulados,
- > negro = flujos de escombros tanto reales como simulados.

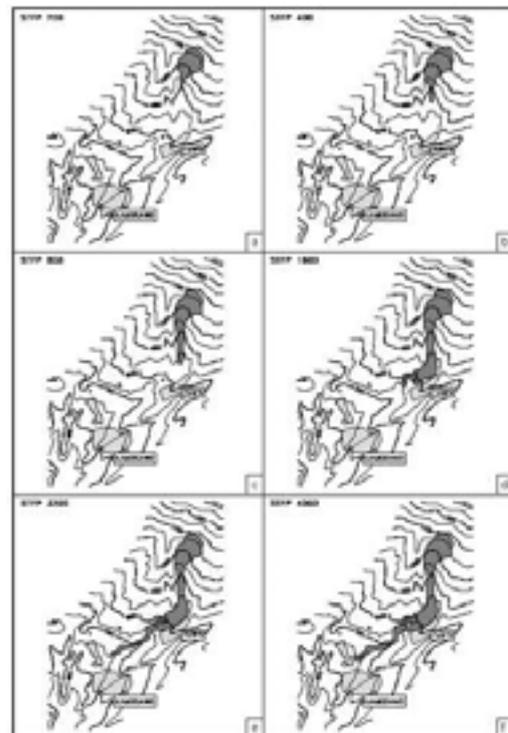
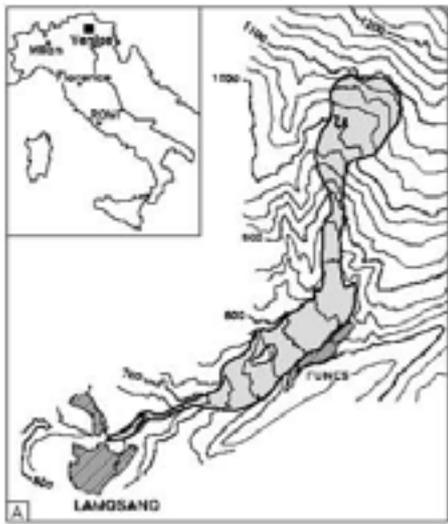
La comparación entre el evento real y el simulado es satisfactoria si comparamos el área involucrada y el espesor de los escombros.



SCIDDICA, un modelo para simular flujos de escombros

- **the 1992 Tessina mud flow**

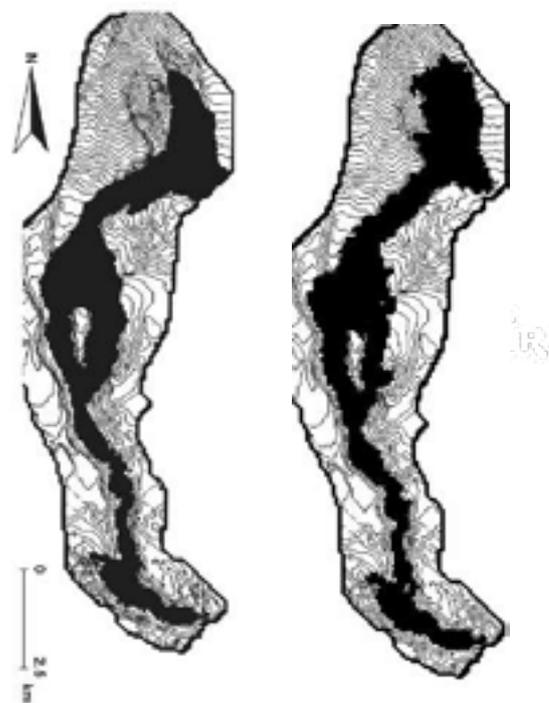
El deslizamiento de Tessina es un movimiento complejo con un área de origen afectada por deslizamientos roto-traslacionales en el sector superior



SCIDDICA, un modelo para simular flujos de escombros

•the 1973 Mount Ontake debris flow

Un deslizamiento de tierra gigante se desencadenó en la ladera del volcán Ontake (Japón) por un terremoto en 1984 y se movió a lo largo del río Denjo a unos 20-26 m / s en 9 km, con un relieve de 1625 m.



Real event

Simulated event

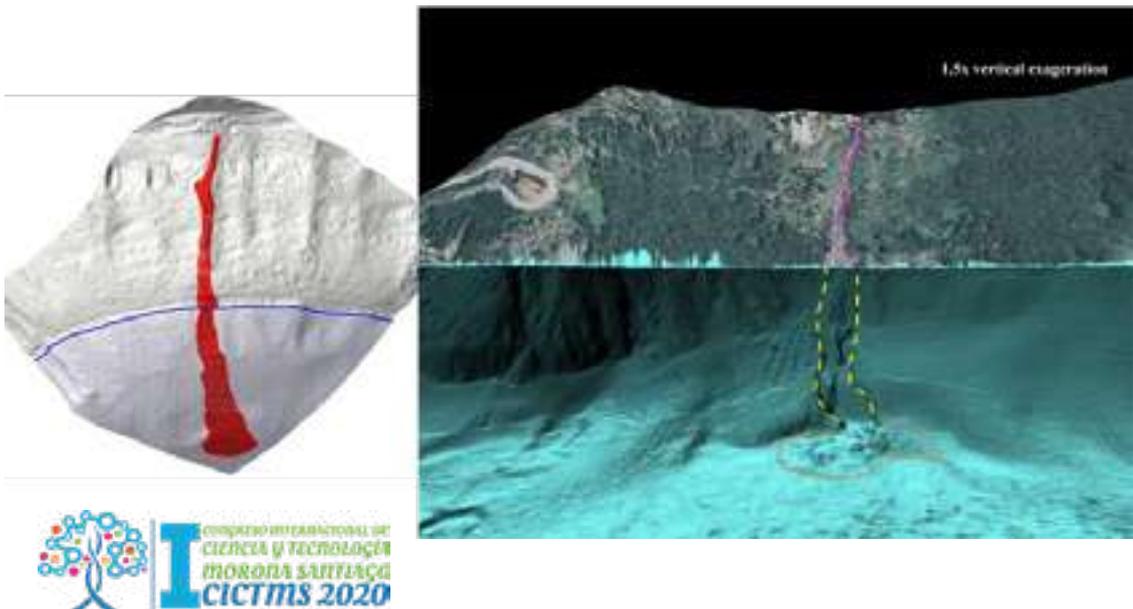




SCIDDICA-ss2: un modelo para simular deslizamientos de tierra de tipo flujo subaéreo-subacuático

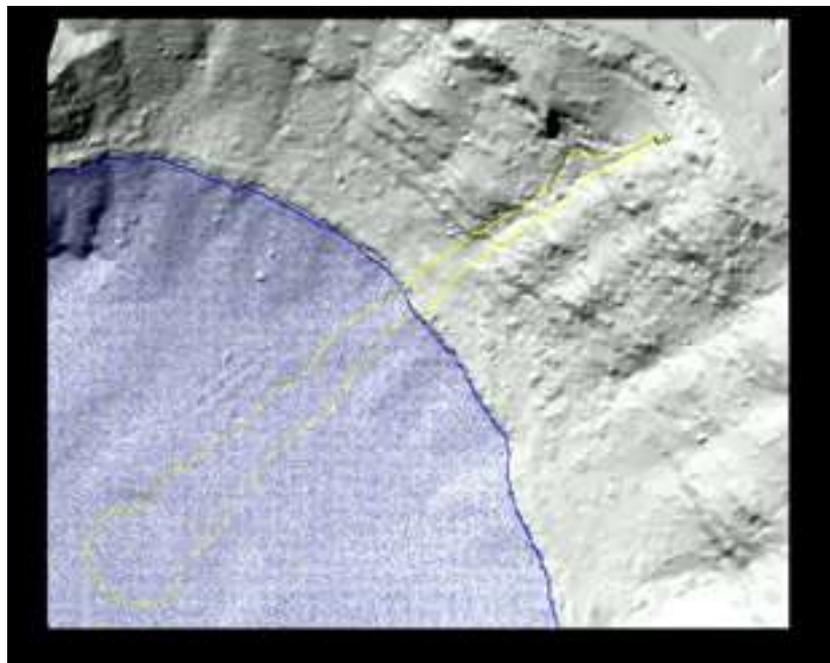
- **the 1997 Albano subaerial/subaqueous debris flow**

Este deslizamiento se produjo en la vertiente oriental del lago Albano en noviembre de 1997 luego de un evento de lluvia intensa (128 mm en 24 horas), y comenzó como un deslizamiento de suelo, movilizándose cerca de 300 m³ de material eluvial.



SCIDDICA-ss2: un modelo para simular deslizamientos de tierra de tipo flujo subaéreo-subacuático

- the 1997 Albano subaerial/subaqueous debris flow





SCIDDICA-ss2blocks: una extensión para simular deslizamientos de tierra tipo flujo con megabloques en su interior

- **the 1783 Scilla catastrophic subaerial-subaqueous landslide**

En 1783, el sur de Calabria (Italia) fue golpeado por una violenta secuencia sísmica, con cinco choques principales, que indujeron varios deslizamientos de tierra.

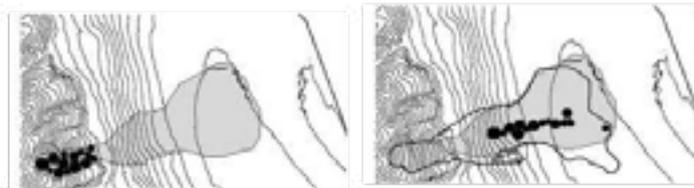


SCIDDICA-ss2blocks: una extensión para simular deslizamientos de tierra tipo flujo con megabloques en su interior

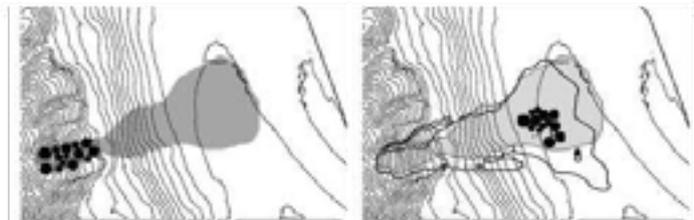
- the 1783 Scilla catastrophic subaerial-subaqueous landslide



Configuration 1: wider blocks are located above, smaller blocks are located below (fitness=0.79)



Configuration 2: taller blocks are located above, shorter blocks are located below (fitness=0.94)



Configuration 3: the blocks are randomly located (fitness=0.81)

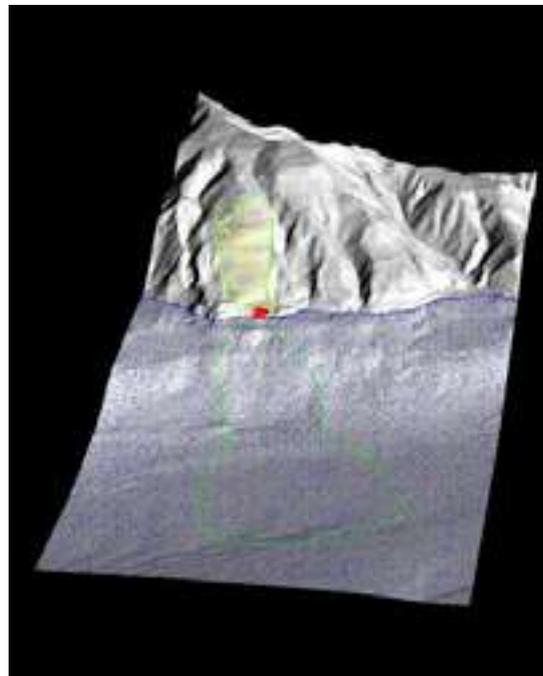




SCIDDICA-ss2blocks: una extensión para simular deslizamientos de tierra tipo flujo con megabloques en su interior

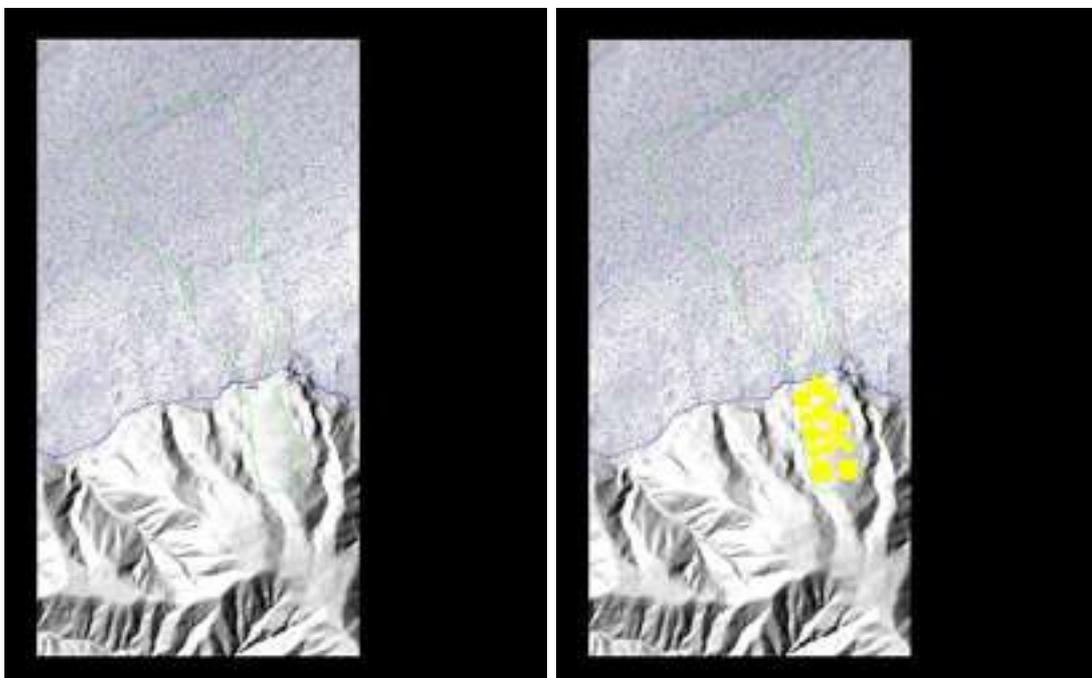
- the 1783 Scilla catastrophic subaerial-subaqueous landslide

Total Length 1700 m



SCIDDICA-ss2blocks: una extensión para simular deslizamientos de tierra tipo flujo con megabloques en su interior

- the 1783 Scilla catastrophic subaerial-subaqueous landslide

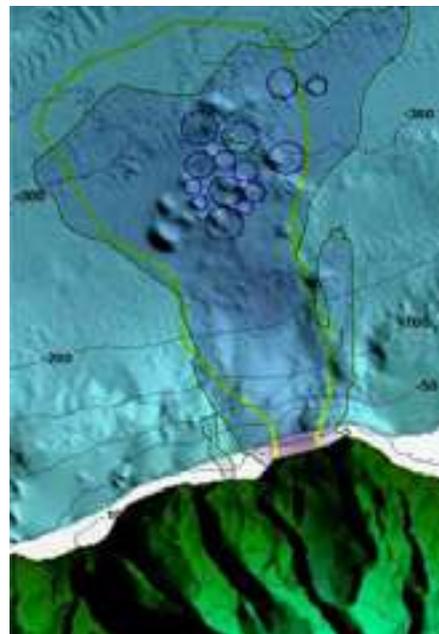
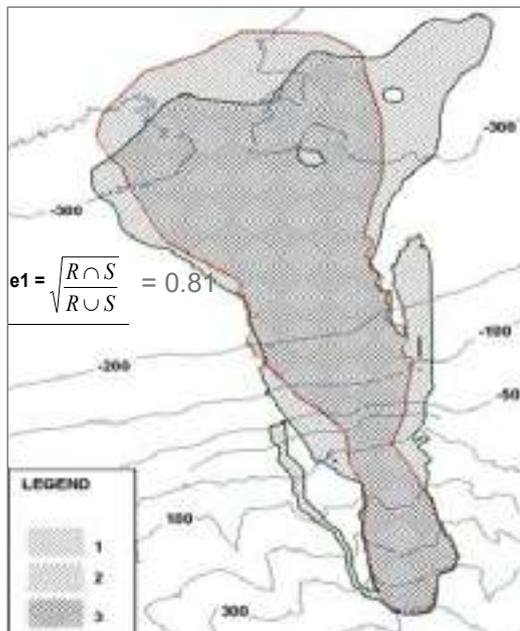




SCIDDICA-ss2blocks: una extensión para simular deslizamientos de tierra tipo flujo con megabloques en su interior

- **the 1783 Scilla catastrophic subaerial-subaqueous landslide**

Intersección entre el evento real y el simulado



- 1) Evento real
- 2) Evento simulado
- 3) Intersección entre el evento real y el simulado



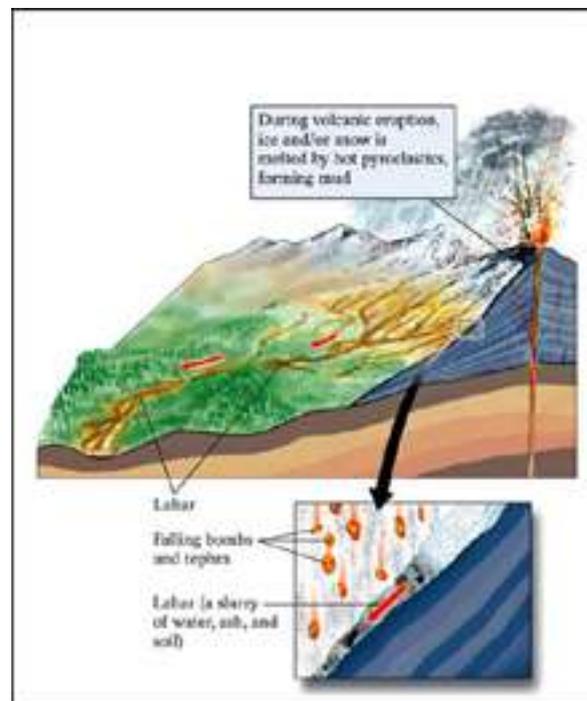
LLUNPIY: un modelo para simular lahares

Lahar: una mezcla altamente móvil de agua y sedimentos de origen volcánico

Los lahares pueden fluir a velocidades más rápidas de 100 kilómetros por hora. Ellos pueden inundar grandes áreas y recorrer grandes distancias en los canales de los ríos.

Los lahares primarios se originan por la actividad eruptiva volcánica directa.

Los lahares secundarios se originan a lo largo de grandes depósitos volcánicos cuando una cantidad más grande de agua llega a estar disponible por las fuertes lluvias.

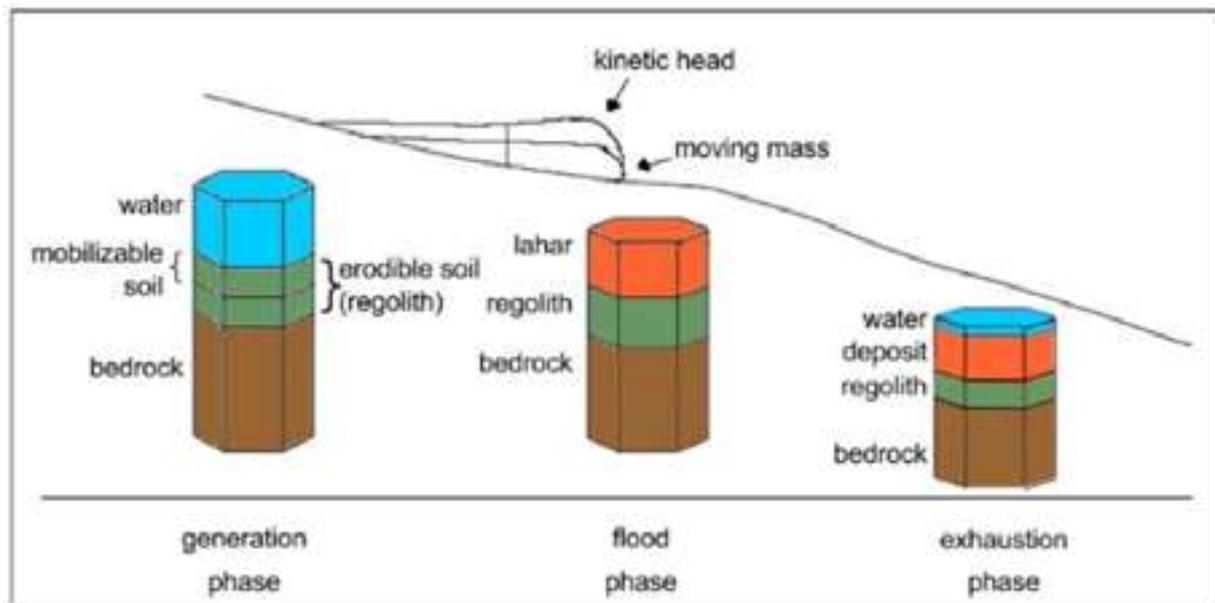




LLUNPIY: un modelo para simular lahares

LLUNPIY:

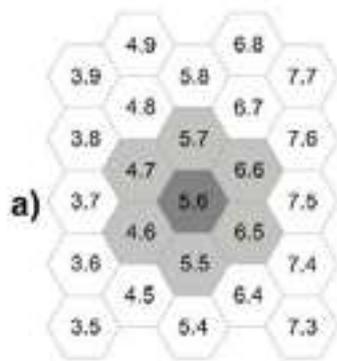
Lahar modelling by Local rules based on an **UN**derlying **P**ick of **Y**oked processes



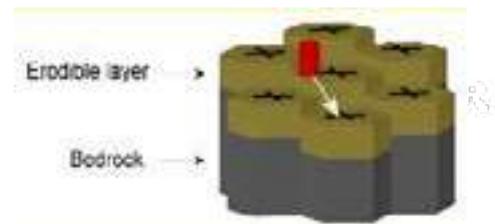
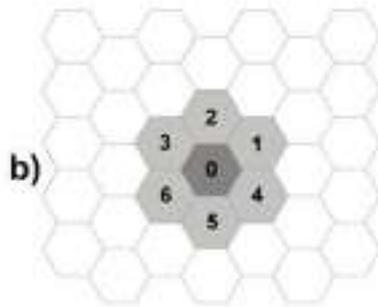
LLUNPIY: un modelo para simular lahares

El modelo ACM LLUNPIY/3r se especifica como: $\langle T, E, X, S, P, \tau, \gamma \rangle$

$T = \{(x, y) \mid x, y \in \mathbb{N}, -l_x \leq x \leq l_x, -l_y \leq y \leq l_y\}$ es el conjunto de celdas hexagonales regulares, que cubren la región finita, donde evoluciona el fenómeno.



a) La vecindad de la celda (5,6);
b) índices de vecindad.



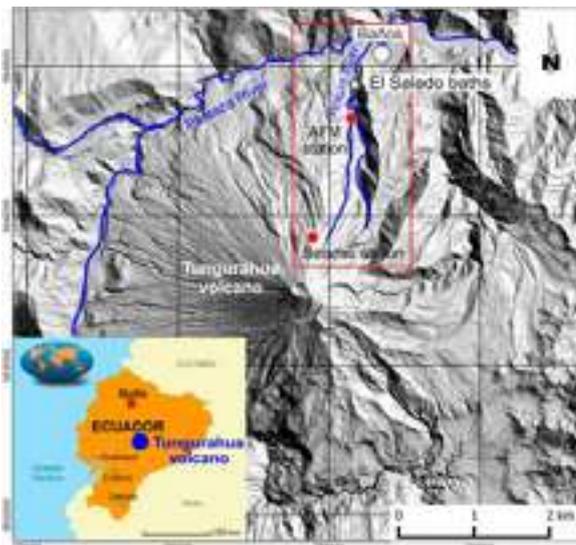
Dirección del flujo de salida desde la celda central hacia el centro de una celda adyacente en 3 dimensiones.



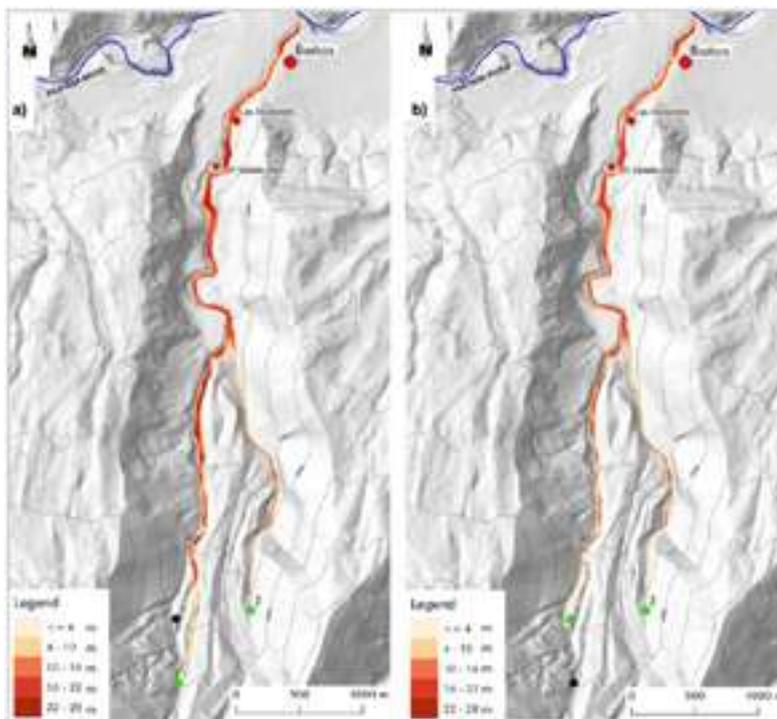


Aplicaciones del modelo LLUNPIY

El valle de Vascún es un desfiladero profundo, ubicado en el flanco norte del estratovolcán Tungurahua atravesado por el río Vascún.



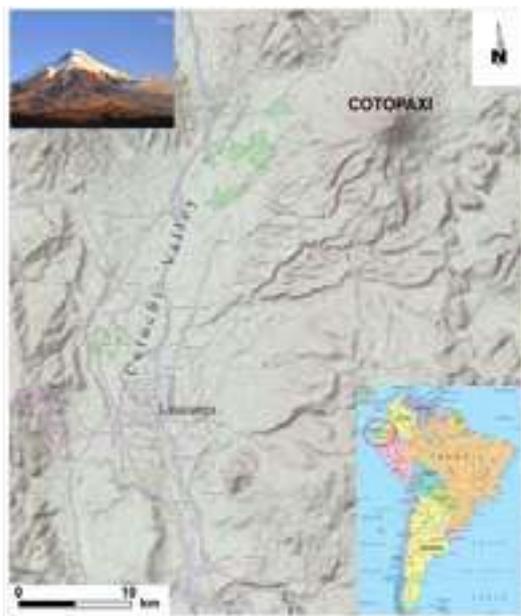
Aplicaciones del modelo LLUNPIY



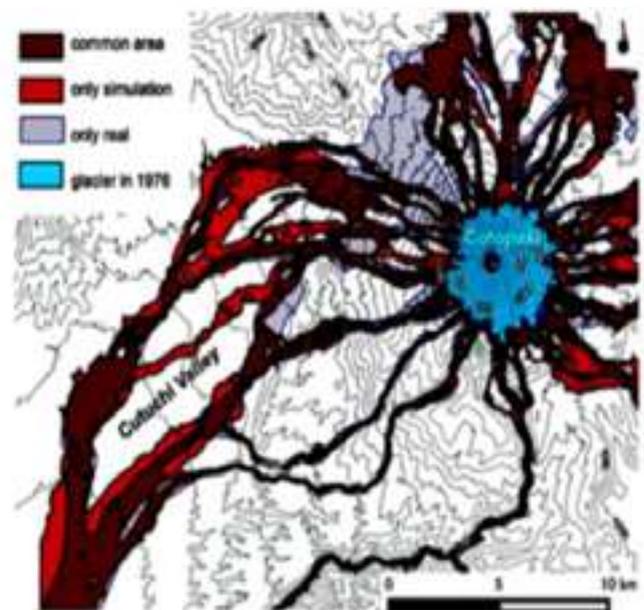
Activación simultánea de lahares desde los puntos 1 y 2 (a), desde los puntos 2 y 3 (b). El espesor máximo del lahar durante los eventos conjeturados se informa en metros según la leyenda.



Aplicaciones del modelo LLUNPIY



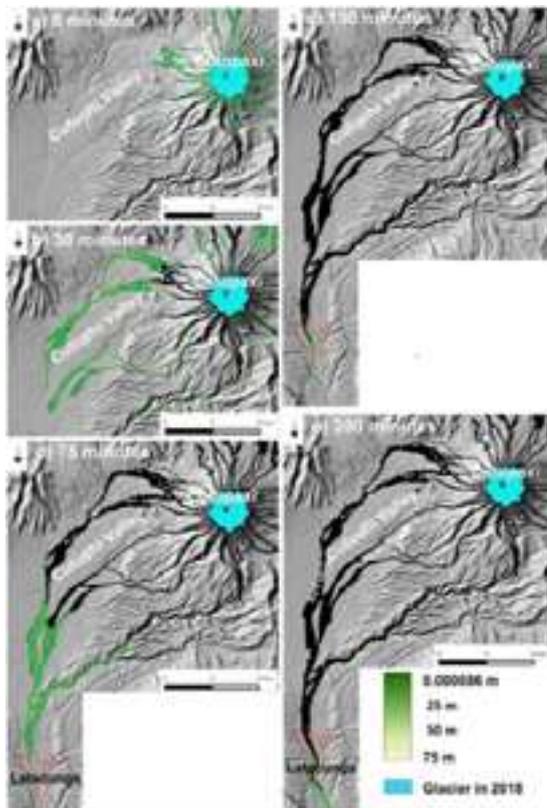
LLUNPIY Lahar simulations: the model was applied to Cotopaxi 1877 event of primary lahars.



Intersección entre el evento real (reconstrucción de la ruta de lahar de 1877) y el sector correspondiente del evento simulado de "fusión gradual del glaciar" (bombas piroclásticas).



Aplicaciones del modelo LLUNPIY



- Simulación LLUNPIY-P2 de los lahares causados por el derretimiento gradual del casquete de hielo del Cotopaxi 2018 por bombas piroclásticas.



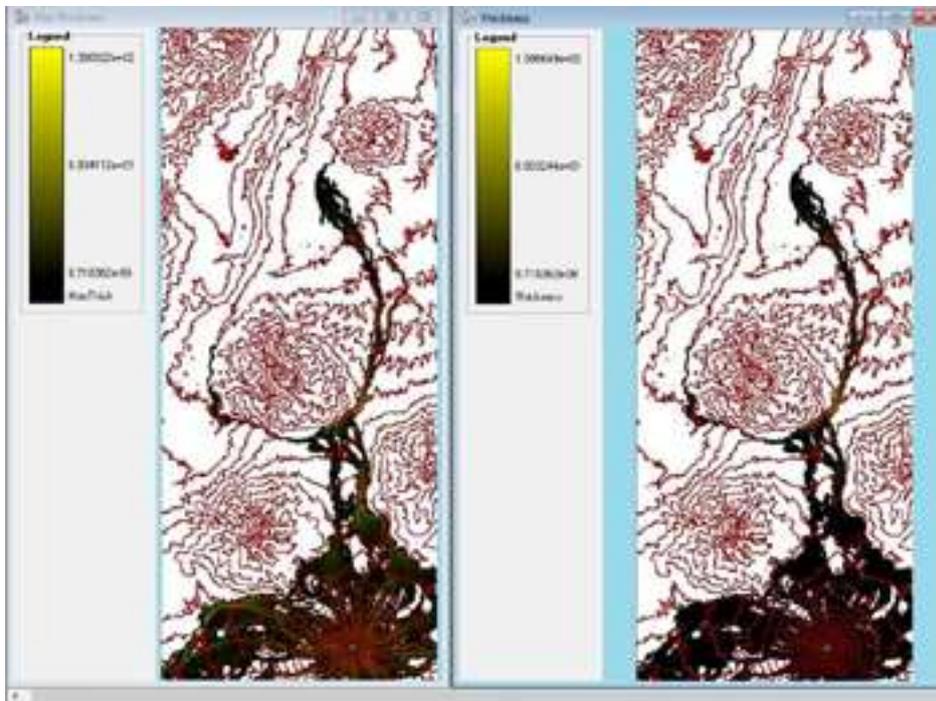
Aplicaciones del modelo LLUNPIY



- Simulación LLUNPIY-P2 de los lahares causados por el derretimiento gradual del casquete de hielo del Cotopaxi 2018 por bombas piroclásticas.



Trabajo futuro



Un lahar que embiste el Valle de los Chillos, San Rafael, y quiere desembocar en Cununyacu





Conclusiones y Comentarios

- Para futuras investigaciones no pueden separarse de una investigación climática / meteorológica para estudiar la extensión variable de los, para desarrollar escenarios de precipitación lluviosa y para monitorear en el tiempo el penacho volcánico, la precipitación y acumulación de cenizas.
- La complejidad del objetivo presupone un enfoque multidisciplinario transdisciplinario, lo que implica un esfuerzo aún mayor para asegurar aquellas competencias de diferente tipo: Física, Ciencias Computacionales, Ciencias de la Computación, Hidrología, Ingeniería Ambiental, Geofísica, Geomorfología, Vulcanología, Glaciología y Meteorología pueden cooperar para lograr objetivos comunes.
- Las versiones actuales disponibles del software LLUNPIY (Microsoft OS) deben ser reformuladas para ser ejecutadas por computación paralela / concurrente y luego aplicarse a situaciones críticas (por ejemplo, el volcán Cotopaxi) en Ecuador con el fin de proporcionar planes de mitigación de peligros a las autoridades públicas y los actores sociales.





www.esPOCH.edu.ec



PHD. LORENA MOLINA

I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO

Seguridad Informática: Moda o Necesidad



Presentado por: Lorena MOLINA VALDIVIEZO

lmolina(at)unach.edu.ec



Agenda

1. Introducción
2. Seguridad & Ataques
3. Ataques DDoS
4. Resultados
5. Conclusiones





Introducción



Mundo Globalizado

- ¿Estamos realmente seguros?
- ¿Es una moda o es una necesidad?

UR





Seguridad & Ataques

2018



¿Qué es Seguridad Informática?



“Es la protección de la integridad y privacidad de la información que se almacena en un sistema informático”.





Tipos de Seguridad



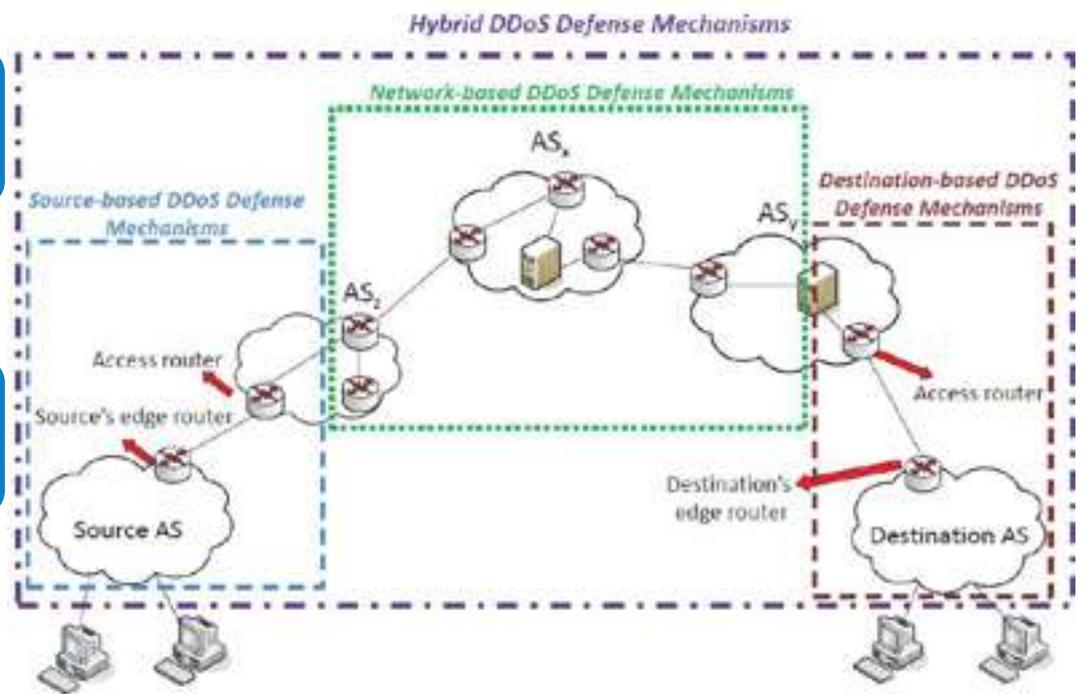
Mecanismos de Defensa

Centralizado

- Basado Fuente
- Basado Destino
- Basado Red

Distribuido

- Híbrido



Fuente: ZARGAR et al.: A SURVEY OF DEFENSE MECHANISMS AGAINST DISTRIBUTED DENIAL OF SERVICE (DDOS) FLOODING ATTACKS



CONGRESO INTERNACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGIA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2020





Ataques Informáticos



“Es un intento de acceder a los equipos informáticos o servidores, mediante la introducción de virus o archivos malware, para alterar su funcionamiento, producir daños o sustraer información sensible para la empresa u organización.”



Los ataques cada vez son numerosos y sofisticados



Tipos de Ataques

Malware

Virus

Gusanos

Troyanos

Phishing

Denegación de Servicio Distribuido (DDoS)

Entre otros





3

Ataques DDoS



Ataques DDoS

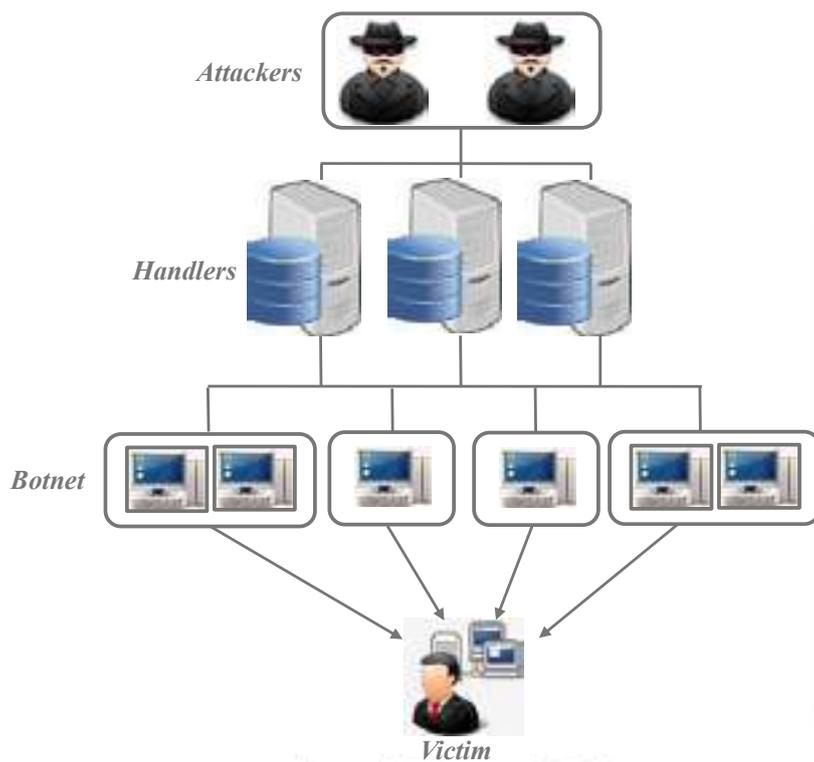


Figura 1: Ataques DDoS



- DDoS es una de las técnicas de ataque más sofisticadas.
- Un ataque DDoS es un intento malicioso de coordinar los comportamientos de varios hosts para que inunden un host víctima.





Ataques DDoS por países



Figura 2: Ataques DDoS por países



Impacto & Costo

45% de organizaciones son atacadas

75% son atacadas más de una vez

10% son atacados semanalmente



Fuente: Imperva





Principales tipos de ataques DDoS

- **A nivel de capa de Red**

- ✓ Consume todo el ancho de banda de carga y descarga disponible para evitar el acceso a sitios web.

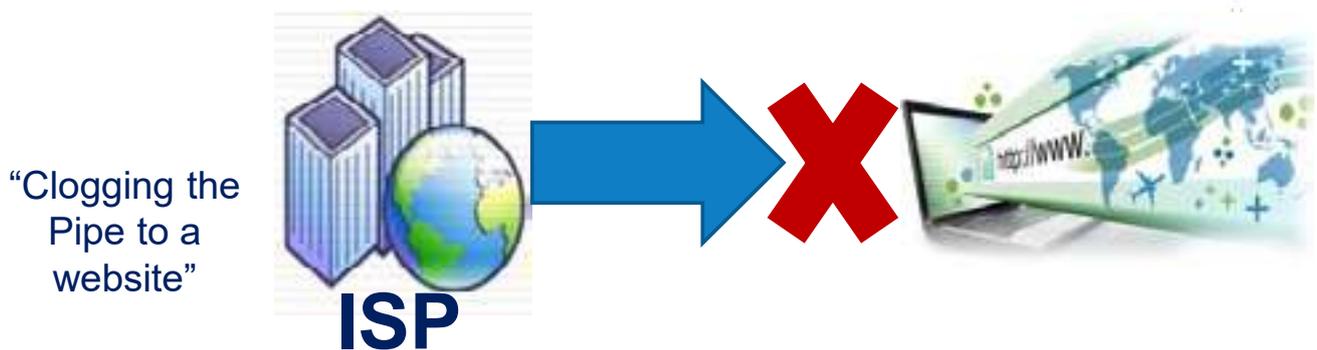


Figura.4: Ataque DDoS a nivel de capa de Red

Fuente: Imperva



Principales tipos de ataques DDoS

- **A nivel de capa de Aplicación**
 - ✓ Las solicitudes saturan el servidor web o a la base de datos, por ende, se bloquea.
 - ✓ El sitio web no está disponible.

"Overloading the server"

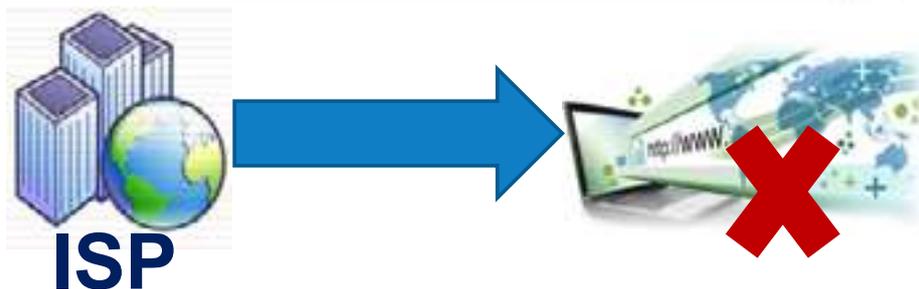
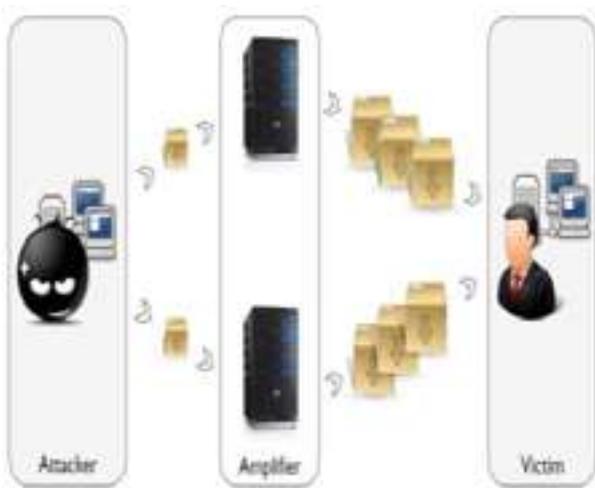


Figura 4: Ataques DDoS a nivel de capa de Aplicación
Fuente: Imperva





Ataques DDoS Amplificados



Factor de Amplificación del Ancho de Banda (BAF)

$$= \frac{\text{Len(UDP payload) amplifier to victim}}{\text{Len (UDP payload) attacker to amplifier}}$$

Factor de Amplificación de Paquetes (PAF)

$$= \frac{\text{Number of packets amplifier to victim}}{\text{Number of packets attacker to amplifier}}$$

Figure 5. Amplificación DDoS:
Fuente: C. Rossow.



Ataques al DNS

- DNS, es un sistema distribuido jerárquico dedicado a resolver los nombres de los hosts de la red.
- DNS, usa **UDP** como su capa de **transporte** sobre el puerto predeterminado **53**.
- Existen dos tipos de consultas DNS: recursivo y no recursivo.

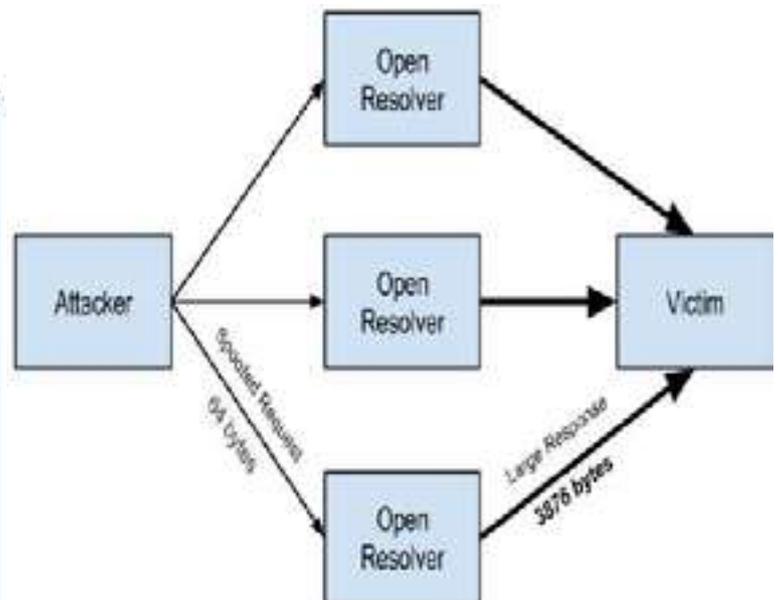


Figure 6: Ataque al DNS



Ataques - NTP

Abusing Network Time Protocol (NTP) to perform massive Reflection DDoS attack



Figura 7: Ataques - NTP

- Network Time Protocol, es un protocolo de Internet que permite la sincronización del reloj de los sistemas informáticos.
- NTP, utiliza **UDP** como capa de **transporte** sobre el puerto predeterminado **123**.



Simulador NeSSi²

- **NeSSi²** es un simulador de red basado en agentes y eventos discretos,
- **NeSSi²** se ha estructurado en una arquitectura de complementos de tres niveles:
 - Frontend gráfico,
 - Backend de simulación basada en agentes y,
 - Base de datos de resultados.





Escenario de Simulación

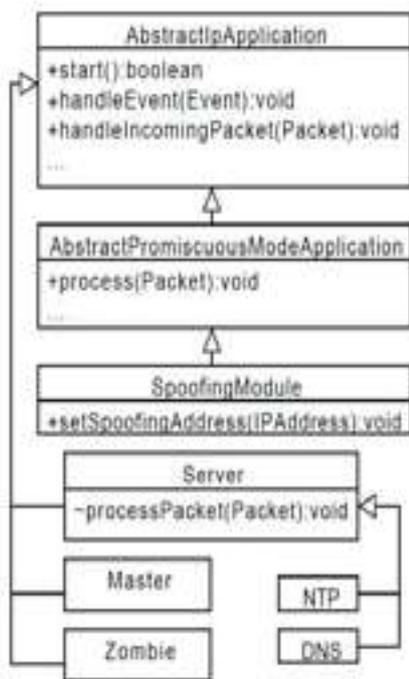


Figura 9: Diagrama de Clase

- La clase **Master** modela el comportamiento del atacante que controla una botnet para inundar un host sin exponerse,

- La clase **Zombie** modela el comportamiento del código malicioso que infecta una máquina zombie.
 - intervalo:** la cantidad de tiempo que transcurre entre dos solicitudes del servidor;
 - puerta trasera:** el puerto a través del cual se reciben los comandos;
 - snumber:** el número de servidores contactados por cada solicitud emitida,



Escenario de Simulación

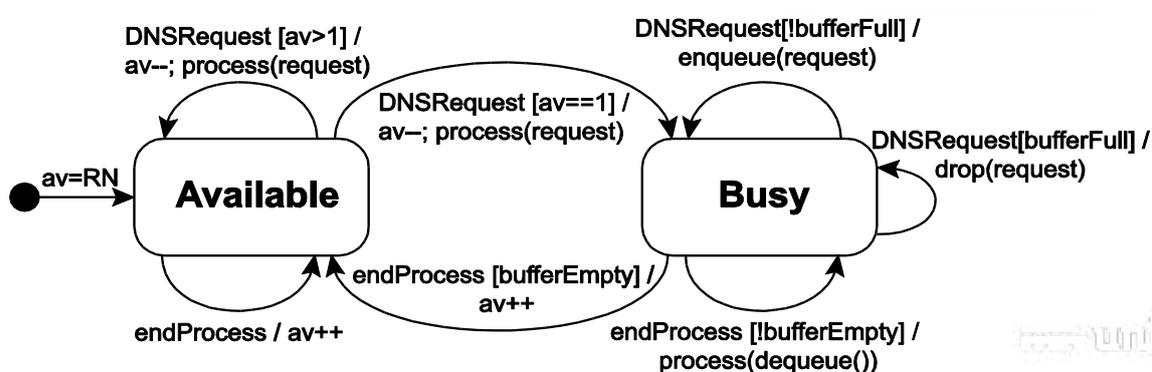
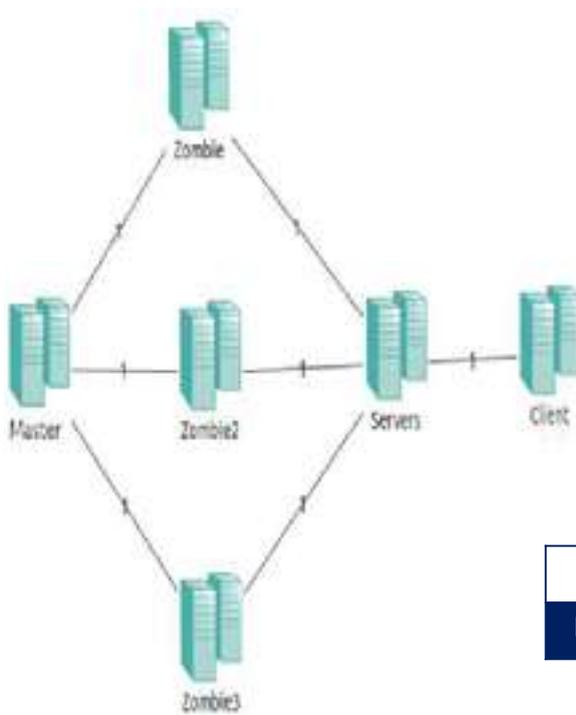


Figura 10: Comportamiento del Servidor

- La aplicación del servidor se puede configurar mediante los siguientes parámetros:
 - RN: el número de recursos del servidor (cero se interpreta como infinito),
 - Puerto: el puerto a través del cual se reciben las solicitudes,
 - Media: el valor esperado de la distribución exponencial negativa,



Topología



Bandwidth of links between subnets

	Master	Zombie	Server	Victim
Master		1 Mbit		
Zombie	1 Mbit		10 Mbit	
Server		10 Mbit		1Gbit
Victim			1 Gbit	

Subnet internal link bandwidths

	Master	Zombie	Server	Victim
Link Size	1Mbit	10Mbit	200Mbit	1Gbit

Figura 11. Topología



4 Resultados

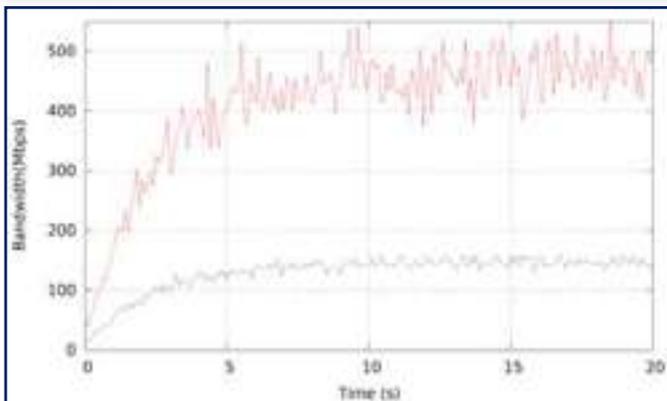




Estadísticas



- Un enlace dentro de una subred zombi para evaluar el ancho de banda necesario para un zombi que coopera en el ataque DDoS.
- Un enlace perteneciente a la subred del servidor para evaluar el tráfico generado por cada servidor,
- Un enlace entre los servidores y la subred víctima para observar el poder del ataque.



STATISTICS FOR THE VICTIM'S LINK		
PROTOCOL	NTP	DNS
Packets	1863889	79840
Interval (s)	20,00	20,00
Avg. Packets/sec	105304	4090
Avg. Mbit/sec	406	130
Max. Peak Bandwidth (Mbit)	500	200

Figura 12: Comparación entre DNS y NTP



Paquetes de entrada y Salida

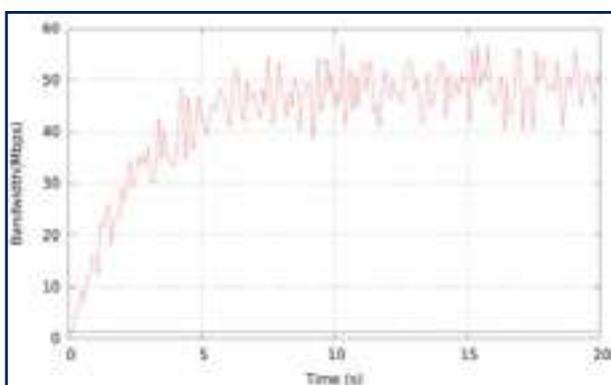


Figura 13: DNS fuera de servicio

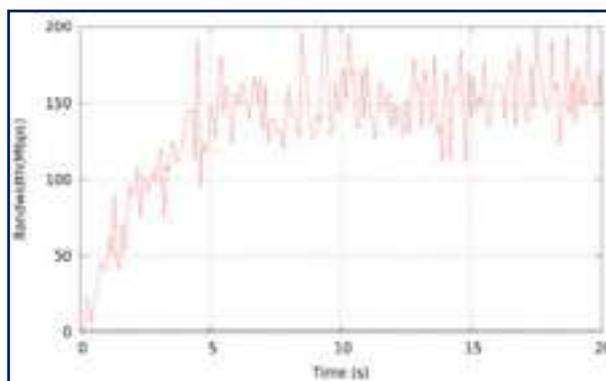


Figura. 14: Servidor NTP fuera de servicio

INCOMING AND OUTGOING PACKETS FOR NTP AND DNS SERVER		
	NTP	DNS
Ingoing AVG. Mbit/sec	1,6	1,2
Outgoing AVG. Mbit/sec	142,7	45,6

La enorme diferencia entre las dos direcciones hace que sea difícil comprender el ancho de banda generado por la botnet. Un solo host puede unirse al ataque utilizando 25 Kbit / seg para el ataque DNS y 67 Kbit / seg para el ataque NTP.





4

Conclusiones



Conclusiones



- Los resultados de la simulación obtenidos demuestran la peligrosidad efectiva de los ataques de amplificación que permiten a un solo host generar un gran volumen de tráfico mediante la explotación de hosts infectados (botnet) y servidores vulnerables.
- El modelo desarrollado constituye una valiosa herramienta para facilitar el estudio de los efectos de este tipo de ataques, o para desarrollar y probar técnicas / mecanismos de defensa adecuados.





Gracias por su atención





www.esPOCH.edu.ec





DR. JOSÉ PRATO, DR. IVÁN RÍOS, DRA. LUISA GONZALES, DRA. ANITA RÍOS

Reducción de la dureza de aguas naturales con lechos volcánicos

Dr. José G. Prato M., Dr. Iván Ríos,
Dra. Luisa C. González, Dra. Anita Ríos
Facultad de Ingeniería – Unach
Ingeniería Ambiental

Macas – Ecuador (17 - 19 Noviembre 2020)



ÍNDICE



1. Introducción
2. Objetivos
3. Metodología
4. Resultados
5. Conclusiones
6. Agradecimientos





INTRODUCCIÓN



Un agua natural que contenga en disolución cantidades apreciables de cationes bivalentes (calcio y magnesio) se denomina “agua dura”.

En el continente americano se cree que el 85 % del agua es dura



la variación de la localización geográfica determina la concentración de sustancias disueltas en el agua



INTRODUCCIÓN



N

El agua de la red #2 que abastece a la ciudad de Riobamba, presenta niveles de dureza en promedio de 336,86 mg/L CaCO_3

Clasificación de aguas la dureza

CaCO_3 (mg/L)	Tipo de agua
0 – 60	Blanda
61 – 120	Moderadamente dura
121 – 180	Dura
>180	Muy dura

El agua dura se vuelve indeseable al superar los 150 mg/L debido a que genera problemas a nivel *industrial, doméstico y agrícola*, además podría dar origen a enfermedades



Necesario implementar medios de reducción de dureza de agua

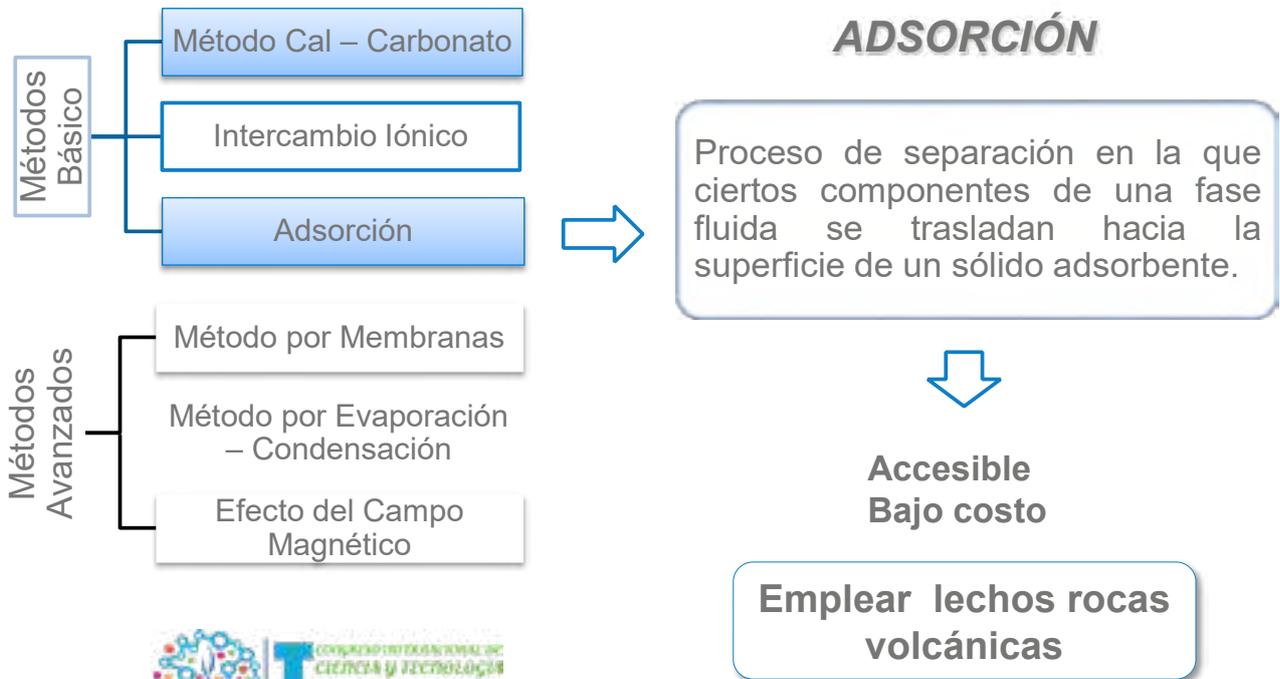




INTRODUCCIÓN

N

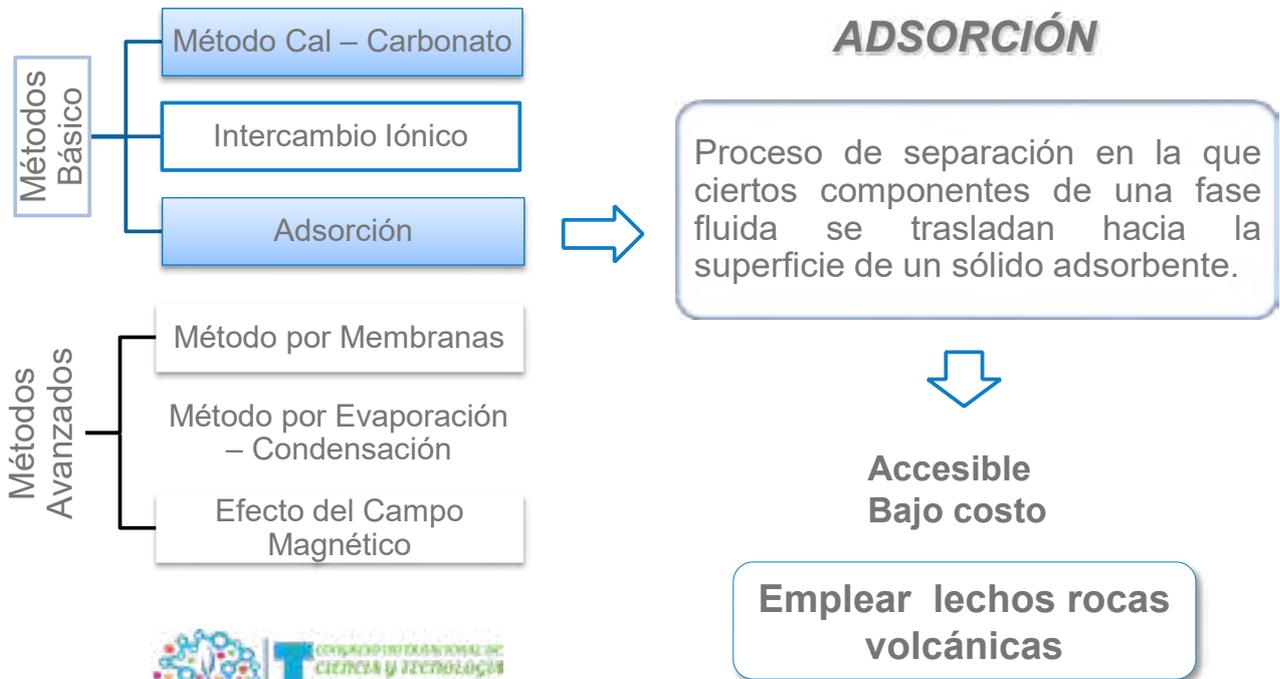
Métodos para el tratamiento de aguas duras



INTRODUCCIÓN

N

Métodos para el tratamiento de aguas duras





INTRODUCCIÓN



Volcán

Estructura geológica desde el cual el magma y otras sustancias brotan a la superficie

Rocas ígneas

Se forman a partir de la solidificación de magma
Es un material de roca fundida (600 a 1.300 °C)

En Ecuador existen 84 volcanes continentales registrados en diferentes ambientes geológicos

Volcán / Estado	Tipo de Volcán	Formación Geológica
Chimborazo / Inactivo	Estratovolcán	Se encuentra en el periodo Cuaternario (Pleistoceno – Holoceno) en las formaciones de: Volcánicos Cotopaxi
Tungurahua / Activo	Estratovolcán	Se encuentra en el periodo Cuaternario (Pleistoceno – Holoceno) en las formaciones Volcánicos Pisayambo
Reventador / Activo	Estratovolcán	Se encuentra en el periodo Cuaternario (Pleistoceno – Holoceno) en las formaciones Volcánicos Cotopaxi



OBJETIVOS



OBJETIVO GENERAL

Reducir la dureza del agua a partir de rocas volcánicas en lechos de adsorción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS



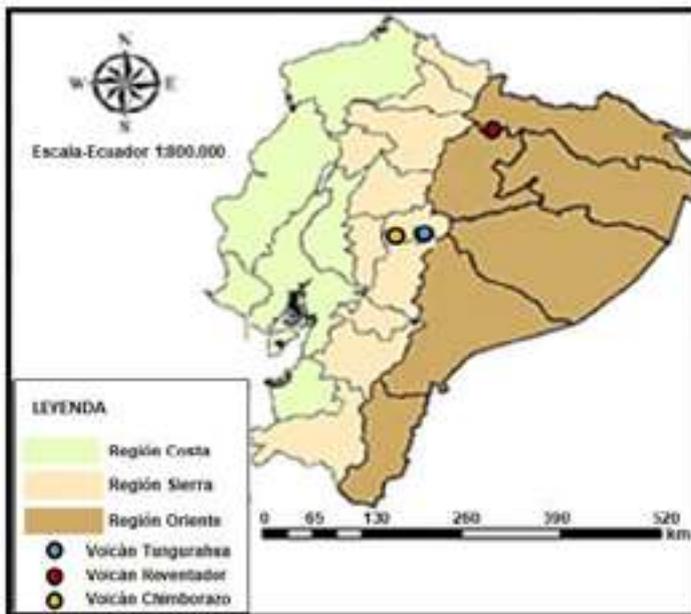
- Diseñar las columnas de adsorción a partir de rocas volcánicas.
- Caracterizar química y mineralógicamente las rocas volcánicas.
- Evaluar la eficiencia en la reducción de la dureza del agua empleando los lechos de adsorción preparados con rocas volcánicas.





METODOLOGÍA

1. Recolección del material volcánico



METODOLOGÍA



2. Caracterización del material y preparación de los lechos

- ❑ Análisis químico elemental y morfológico de las rocas:
 - ❑ EDS, SEM
- ❑ Análisis mineralógico de las rocas:
 - ❑ DRX, IR
- ❑ Otros Análisis:
 - ❑ pH de los materiales, granulometría de los lechos





METODOLOGÍA

A

3. Diseño de las columnas de adsorción

- ❑ Materiales de bajo costo y fácil acceso
- ❑ Sencillez
- ❑ Mantenimiento



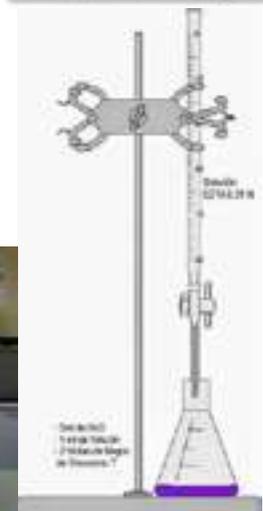
METODOLOGÍA



4. Pruebas de reducción de la dureza del agua

- ❑ Pruebas con agua sintética:
 - ❑ Concentración 400 ppm CaCO_3
 - ❑ Flujo de percolación de 100 mL/min
 - ❑ Recolección de muestras
 - ❑ Análisis de la dureza total (Método 2340 C)

- ❑ Pruebas con aguas naturales:
 - ❑ Recolección
 - ❑ Caracterización fisicoquímica básica
 - ❑ Ensayos de adsorción





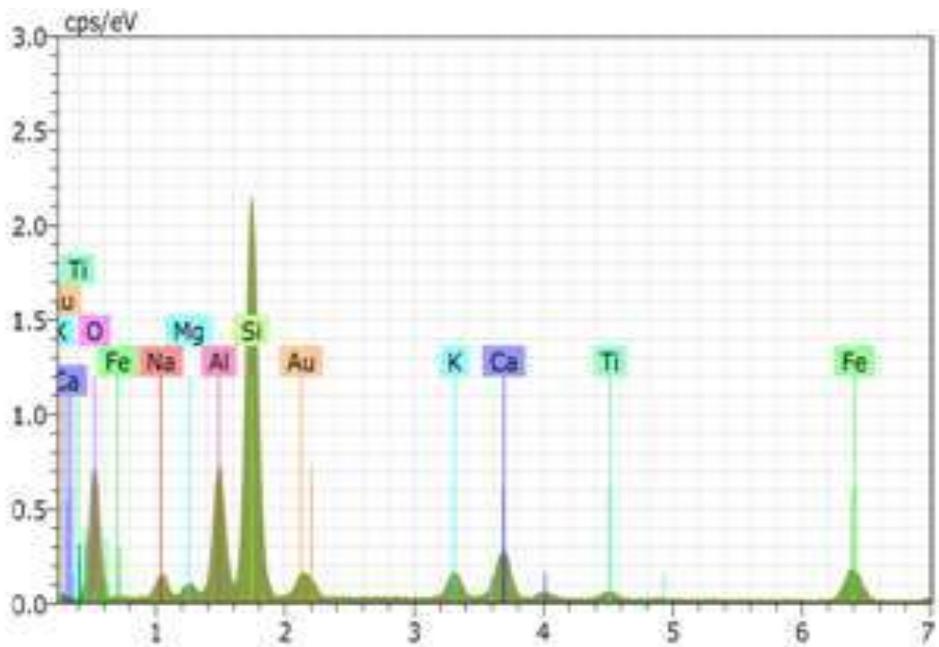
RESULTADOS



Análisis Químico y Mineralógico

EDS

Volcán Chimborazo



Elementos	% en peso
O	49,85
Si	25,69
Al	9,00
Na	3,99
Fe	3,90
Ca	3,67
K	1,72
Mg	1,51
Ti	0,66

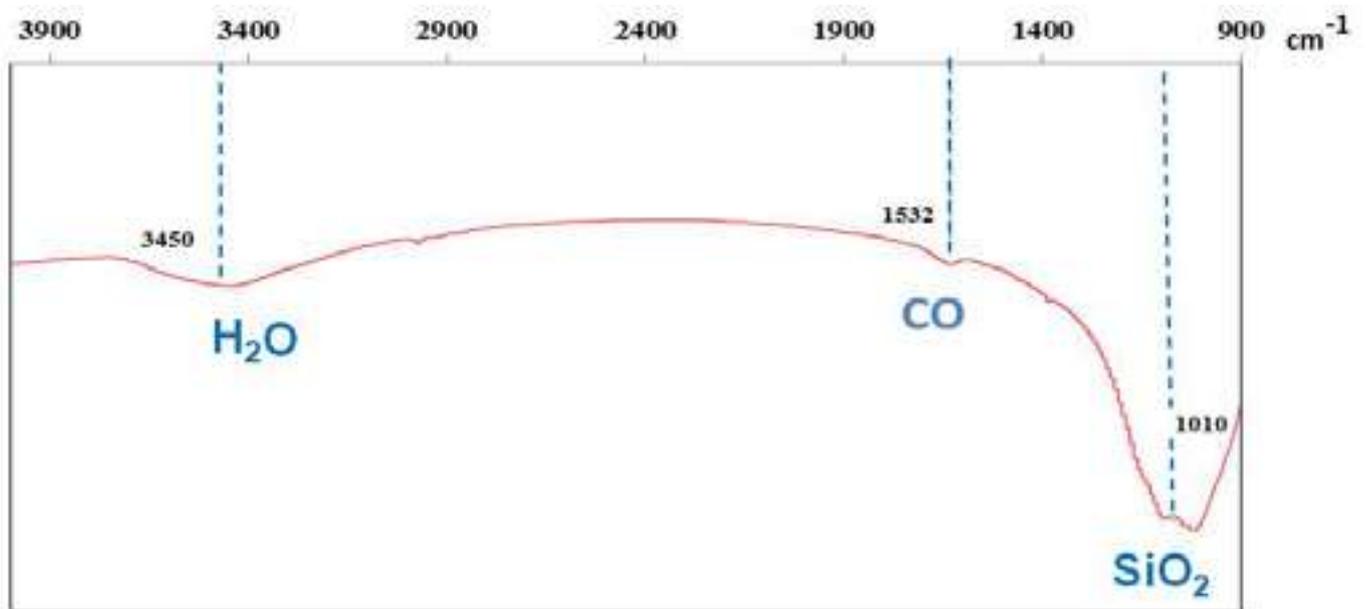


RESULTADOS

Análisis Químico y Mineralógico

FTIR

Volcán Chimborazo





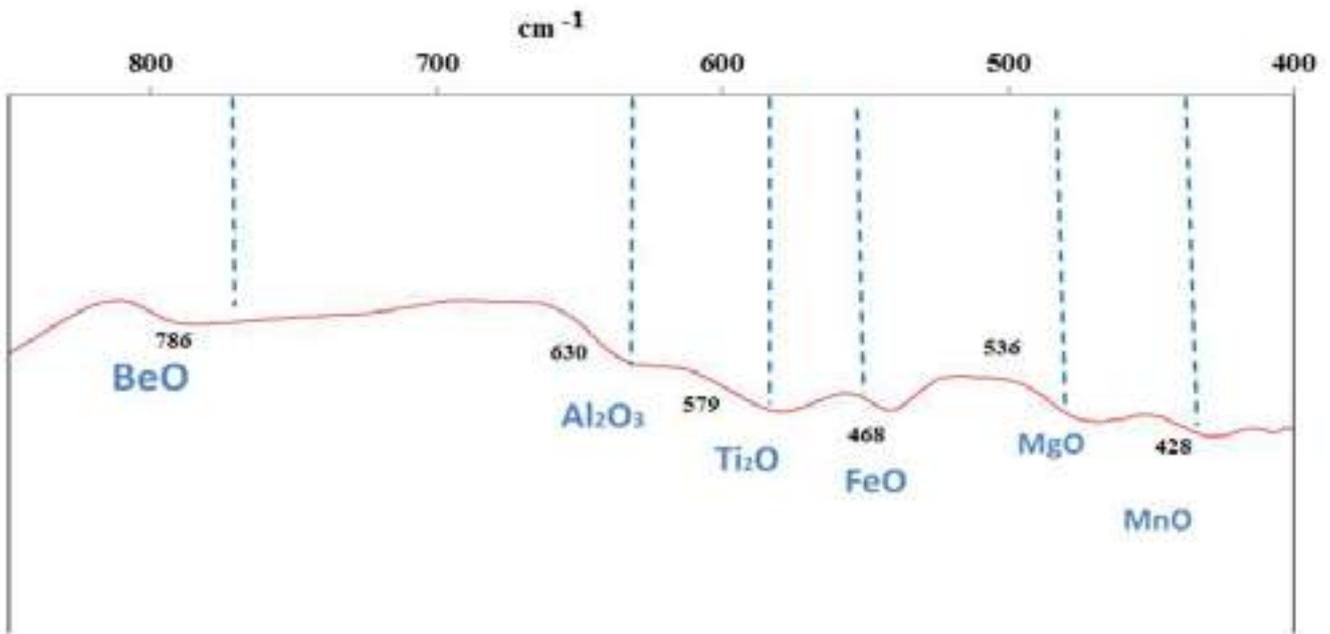
RESULTADOS



Análisis Químico y Mineralógico

FTIR

Volcán Chimborazo

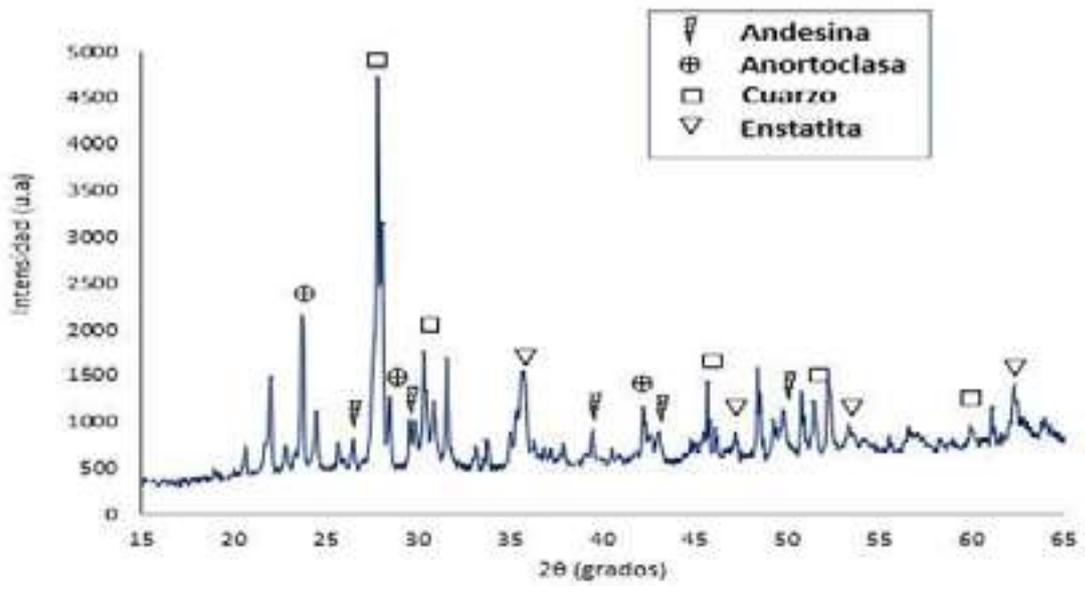


RESULTADOS

Análisis Químico y Mineralógico

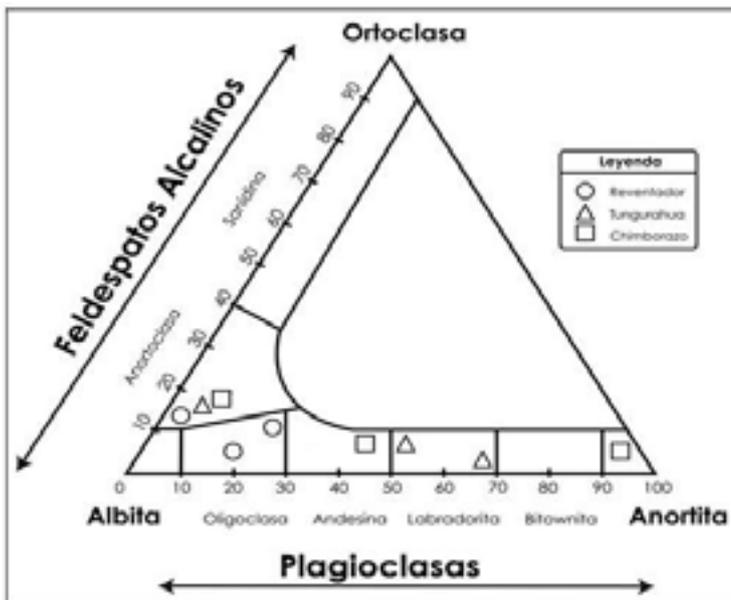
DRX

Volcán Chimborazo



RESULTADOS

Análisis Químico y Mineralógico



Plagioclasas	Fórmula química
Andesina	$(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8$
Albita	$Na(AlSi_3O_8)$
Anortita	$Ca(Al_2Si_2O_8)$

Feldespatos Alcalino	Fórmula química
Anortoclasa	$(Na, K)AlSi_3O_8$

Chimborazo □

Andesina	44,9%
Anortoclasa	21,1%
Albita	7,4%

Tungurahua △

Anortita	52,7%
Albita	30,7%
Anortoclasa	19,8%

Reventador ○

Albita	73,5%
Anortita	20,7%
Anortoclasa	11,0%

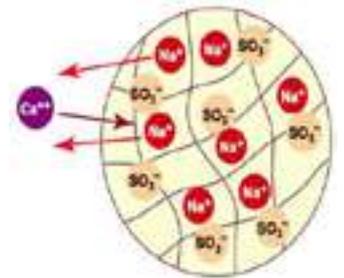


RESULTADOS



Δ pH de las rocas

Las rocas de Reventador y Tungurahua poseen un Δ pH positivo, a diferencia de Chimborazo que muestra como resultado un Δ pH negativo, determinando que la capacidad de intercambio catiónico es favorable. (Casanova, 2005; Millán *et al.*, 2017; Prato *et al.*, 2019)





RESULTADOS

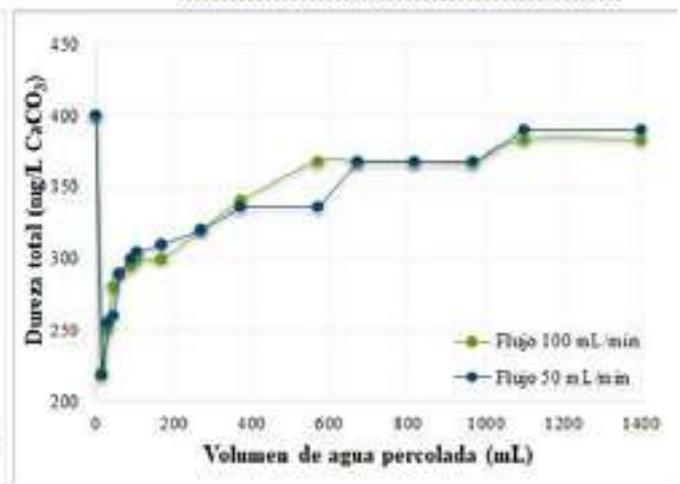


Evaluación de la reducción de la dureza con una solución patrón en los lechos (Chimborazo)

Efecto del tamaño del lecho



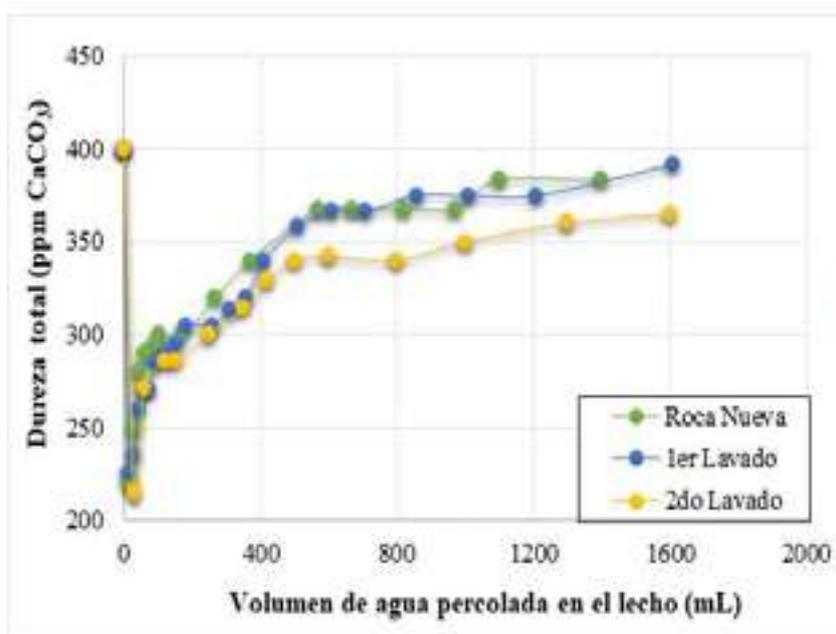
Efecto del caudal de flujo



RESULTADOS



Evaluación de la reducción de la dureza con una solución patrón en los lechos (Chimborazo)



Inicialmente presentan una adsorción inmediata de la dureza del agua

Adsorbió
- Roca Nueva = 100 ppm
- Primer lavado = 175 ppm
- Segundo lavado = 186 ppm

Con las 3 pruebas se llegó a demostrar que las rocas se pueden reutilizar varias veces



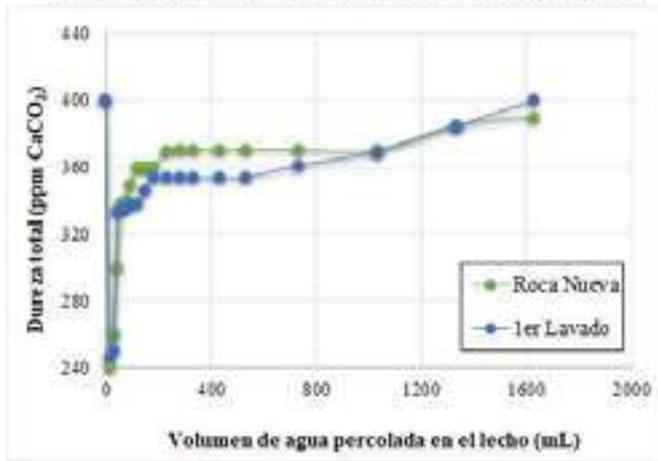


RESULTADOS



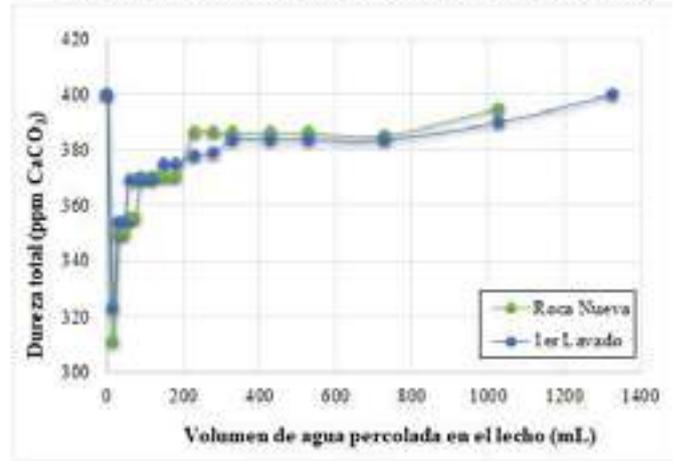
Evaluación de la reducción de la dureza con una solución patrón en los lechos

Reducción de la dureza con roca volcánica del Tungurahua



Adsorbió
 - Roca Nueva = 160 ppm
 - Primer lavado = 154 ppm

Reducción de la dureza con roca volcánica del Reventador



Adsorbió
 - Roca Nueva = 89 ppm
 - Primer lavado = 77 ppm

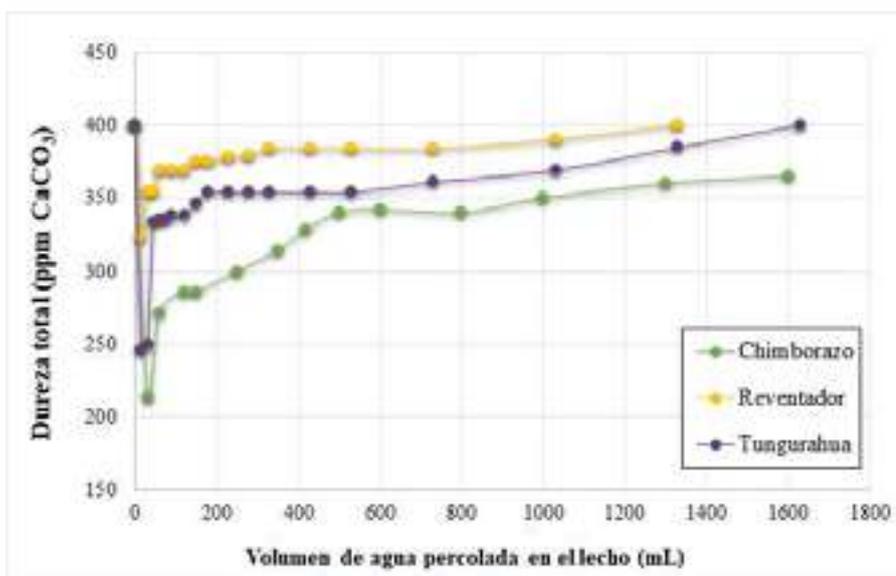


RESULTADOS



Evaluación de la reducción de la dureza con una solución patrón en los lechos

Comparación de las 3 rocas volcánicas



Las rocas que dieron mayor rendimiento presentan un pH negativo caso contrario las de pH positivo

El volcán Chimborazo es el que reduce en > cantidad, tarda más tiempo en saturar; posteriormente el volcán Tungurahua y por último el Reventador





RESULTADOS

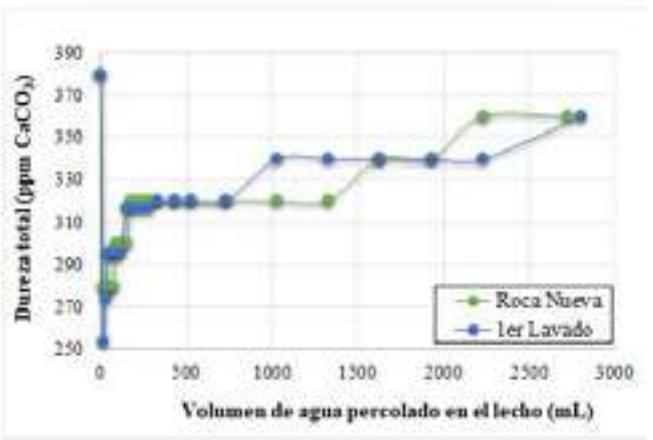
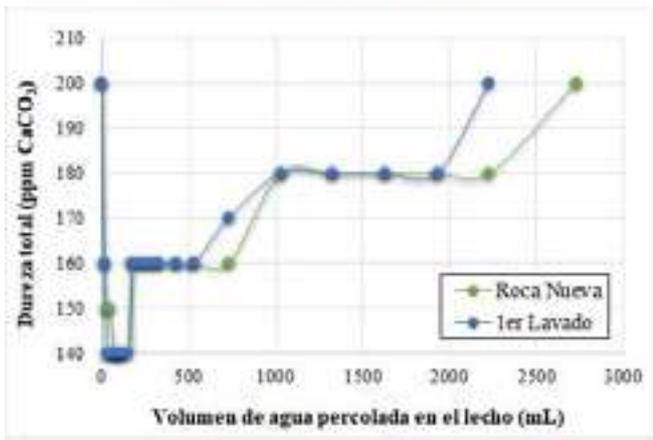


Pruebas de reducción de la dureza usando agua natural

Prueba con la roca del volcán Chimborazo

Vertiente San Pablo

Pozos de la UNACH



Adsorbió
 - Roca Nueva = 60 ppm
 - Primer lavado = 60 ppm

Adsorbió
 - Roca Nueva = 100 ppm
 - Primer lavado = 127 ppm



RESULTADOS



Pruebas de reducción de la dureza usando agua natural

VERTIENTE "SAN PABLO"							
Parámetros	Unidades	Valor Inicial	Valor en el punto de máxima eficiencia	Valor en el punto de saturación	Límites Máximos Permisibles		
					TULSMA	OMS	UE
pH	-	7,47	7,47	7,45	6 - 9	6,5 - 9,2	-
Turbidez	NTU	0,56	0,56	0,48	10	5	-
Alcalinidad	$\frac{mg}{L} CaCO_3$	176	152	160	-	30 - 200	-
Dureza Total	$\frac{mg}{L} CaCO_3$	200	140	200	500	500	-
Fosfatos	mg/L	0,64	0,50	0,39	-	-	0,52
Sulfatos	mg/L	150	120	90	250	500	250

POZO "UNACH"							
Parámetros	Unidades	Valor Inicial	Valor en el punto de máxima eficiencia	Valor en el punto de saturación	Límites Máximos Permisibles		
					TULSMA	OMS	UE
pH	-	8,64	8,44	8,26	6 - 9	6,5 - 9,2	-
Turbidez	NTU	0,29	0,49	0,37	10	5	-
Alcalinidad	$\frac{mg}{L} CaCO_3$	304	244	268	-	30 - 200	-
Dureza Total	$\frac{mg}{L} CaCO_3$	380	250	360	500	500	-
Fosfatos	mg/L	0,50	0,50	0,45	-	-	0,52
Sulfatos	mg/L	120	90	70	250	500	250

Aguas Naturales

El lecho no aporta cambios en la composición del agua. No se observa cambios en el pH, turbidez y alcalinidad

Se observa una adsorción de los aniones fosfatos y sulfatos





CONCLUSIONES



- ❖ Todo el material volcánico probado presenta una capacidad de adsorción en forma natural, observándose diferencias entre los 3 volcanes, la mayor adsorción la presenta el lecho del Chimborazo, seguido del Tungurahua y Reventador, estos lechos pueden ser reutilizados después del lavado.
- ❖ La eficiencia del lecho está relacionada con la composición química del material, se observó que la presencia de la fase Andesina es la que más favorece la retención de la dureza, luego las fases Anortita y Anortoclasa, mientras que la presencia de Albita no beneficia el proceso de adsorción catiónica estudiado.



CONCLUSIONES



- ❖ **Generar nuevos estudios utilizando rocas de otros volcanes, o materiales de carga variable y activando sus cargas positivas y negativas, con la finalidad de poder determinar la capacidad de adsorción que tienen estos materiales en la retención de iones de aguas naturales o residuales (Nuevos Proyectos).**
- ❖ **Eliminación de contaminación microbiológica se puede evaluar en función de las características de los materiales usados como lechos (Adsorción / Filtración)**





Unach
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Agradecimientos

- **Comité de Organización del I CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA MORONA SANTIAGO - ESPOCH**
- **Dirección de Investigación: Vicerrectorado de Investigación, Vinculación y Postgrado (UNACH)**
- **Instituto de Tecnología Química (UPV)**
- **Proyectos:**
 - **LECHOS DE MATERIALES OXÍDICOS COMO MEDIOS DE ADSORCIÓN Y FILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS NATURALES**
 - **LECHOS DE ROCAS VOLCÁNICAS PARA REDUCIR LA DUREZA EN AGUAS NATURALES**





Unach
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE
INGENIERÍA
AMBIENTAL



CONGRESO INTERNACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2020



INTEGRANTES DE LA INVESTIGACIÓN

Investigadores:

Dra. C. Omaira Márquez
Dr. Iván Ríos
Dr. Luisa González
Dra. Anita Ríos
Dr. Víctor García
Dr. Fernando Millán (USA)
Dr. Eduardo Palomares (España)

Técnico:

Ing. Marco Rodríguez

Estudiantes:

F. Carolina Barahona G.
Darío Córdova Llerena
Joselyn V. Logroño L
Angie M. Bautista
Rebeca L. Vásquez
Carlos A. Ortiz N.

Gracias

Ing. José G. Prato *Ph.D*

Grupo: Clean Energy and Environment

**Facultad de Ingeniería
Ingeniería Ambiental**



Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial del material protegido por estos derechos de propiedad intelectual, o su uso en cualquier forma, o por cualquier medio, ya sea electrónico o mecánico, incluyendo fotocopiado, grabación, transmisión o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información, sin el permiso de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo sede Morona Santiago

CONTRA portada



AV. Milton Reyes y Francisco Roca
0995924412 Riobamba/ Ecuador

ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO