

# Estudos em Biociências e Biotecnologia:

Desafios, Avanços  
e Possibilidades

Manuel Simões  
(organizador)

 EDITORA  
ARTEMIS  
2021

# Estudos em Biociências e Biotecnologia:

Desafios, Avanços  
e Possibilidades

Manuel Simões  
(organizador)

 EDITORA  
ARTEMIS  
2021

2021 by Editora Artemis  
Copyright © Editora Artemis  
Copyright do Texto © 2021 Os autores  
Copyright da Edição © 2021 Editora Artemis



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

<b>Editora Chefe</b>	Prof <sup>ª</sup> Dr <sup>ª</sup> Antonella Carvalho de Oliveira
<b>Editora Executiva</b>	M. <sup>ª</sup> Viviane Carvalho Mocellin
<b>Direção de Arte</b>	M. <sup>ª</sup> Bruna Bejarano
<b>Diagramação</b>	Elisangela Abreu
<b>Organizador</b>	Prof. Dr. Manuel Simões
<b>Imagem da Capa</b>	Vivilweb/123RF
<b>Bibliotecário</b>	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

#### Conselho Editorial

Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba*  
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, *Universidade Federal de Uberlândia*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Amanda Ramalho de Freitas Brito, *Universidade Federal da Paraíba*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano, Peru*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Angela Ester Mallmann Centenaro, *Universidade do Estado de Mato Grosso*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla, Espanha*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Carmen Pimentel, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Catarina Castro, *Universidade Nova de Lisboa, Portugal*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Cláudia Padovesi Fonseca, *Universidade de Brasília-DF*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Cláudia Neves, *Universidade Aberta de Portugal*  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, *Universidade Federal da Grande Dourados*  
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, Espanha*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal*  
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo*  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*



Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha  
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay  
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México  
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha  
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, *Universidade Federal do Triângulo Mineiro*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina  
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, *Instituto Politécnico da Guarda*, Portugal  
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo Dias, *Universidade São Francisco*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina  
Prof. Dr. Ivan Amaro, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*  
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Ivânia Maria Carneiro Vieira, *Universidade Federal do Amazonas*  
Prof. Me. Javier Antonio Alborno, *University of Miami and Miami Dade College*, USA  
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha  
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, *Universidade de Évora*, Portugal  
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, *UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros*  
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha  
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*  
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, *Universidade Estadual Paulista*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Livia do Carmo, *Universidade Federal de Goiás*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Luciane Spanhol Bordignon, *Universidade de Passo Fundo*  
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha  
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha  
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, *Universidade Estadual Paulista*  
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, *Universidade Federal de Sergipe*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Margarida Márcia Fernandes Lima, *Universidade Federal de Ouro Preto*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria Aparecida José de Oliveira, *Universidade Federal da Bahia*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria do Céu Caetano, *Universidade Nova de Lisboa*, Portugal  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, *Universidade Federal do Maranhão*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria Lúcia Pato, *Instituto Politécnico de Viseu*, Portugal  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"*, Cuba  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Mauriceia Silva de Paula Vieira, *Universidade Federal de Lavras*  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Odara Horta Boscolo, *Universidade Federal Fluminense*



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal  
Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru  
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

E82 Estudos em biociências e biotecnologia [livro eletrônico] : desafios, avanços e possibilidades / Organizador Manuel Simões. – Curitiba, PR: Artemis, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-87396-50-7

DOI 10.37572/EdArt\_211221507

1. Biociência. 2. Biotecnologia. 3. Biomedicina. 4. Bioética.  
I. Simões, Manuel.

CDD 574

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

## PREFÁCIO

A biotecnologia baseia-se em conhecimentos multidisciplinares fortemente associados às ciências naturais e exatas, e às ciências aplicadas. As ciências biológicas e o seu enquadramento na biotecnologia têm aplicações em grandes áreas de importância socioeconómica, principalmente na medicina humana e animal, ambiente, agronomia e na indústria. Os processos biotecnológicos são caracterizados por usarem células procariotas ou eucariotas, partes das mesmas ou análogos moleculares - com o objetivo de se obterem produtos e serviços. Avanços significativos na biotecnologia surgiram das sinergias estabelecidas entre engenheiros, cientistas e reguladores para transformar descobertas científicas em novos processos e produtos, com impacto socioeconómico. A elevada dinâmica académica e industrial no desenvolvimento de conhecimento em ciências biológicas e biotecnologia é revelador da sua importância. Contudo, a necessidade de atualização dos avanços científicos, em conjugação com a transformação desse novo conhecimento em conteúdo curricular técnico-científico relevante são desafios para um eficaz processo formativo de recursos humanos altamente qualificados. O enquadramento ético e regulamentar de novos processos e produtos é igualmente desafiante.

Este livro foi dividido em quatro partes: a primeira parte reúne capítulos (1 a 6) relacionados com as biociências e a biotecnologia na área biomédica. A segunda parte concentra capítulos (7 a 11) na área do ambiente. A terceira parte é composta pelos capítulos 12 a 14 que se enquadram em aspetos da bioprospeção. A quarta parte contém os capítulos 15 e 16 que abordam aspetos do ensino/aprendizagem em biotecnologia e da bioética, respetivamente. Neste contexto, pretende com este livro contribuir para que estudantes e professores do ensino superior, ligados às biociências e à biotecnologia, quer a nível de graduação quer de pós-graduação, possam ter uma perspetiva de avanços na área. Este livro pode ser também útil a profissionais ligados a setores nos quais as biociências e a biotecnologia têm um papel de relevo, bem como para professores do ensino pré-académico.

**Manuel Simões**

## SUMÁRIO

### BIOMEDICINA

#### **CAPÍTULO 1.....1**

A DESCOBERTA DA INSULINA CELEBRA 100 ANOS

Maria Teresa Rangel-Figueiredo

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2112215071](https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215071)

#### **CAPÍTULO 2..... 16**

COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE SUSPENSIONES DE NANOTUBOS DE CARBONO CON APLICACIONES BIOMÉDICAS

Arisbel Cerpa-Naranjo

Begoña Ibañez Martínez

Isabel Lado Touriño

Mariana P. Arce


Javier Pérez Piñeiro

Niurka Barrios Bermúdez

María Luisa Rojas Cervantes

Rodrigo Moreno Botella

Sebastián Cerdán García-Esteller

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2112215072](https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215072)

#### **CAPÍTULO 3.....28**

PREMOLARES HUMANOS: ESTUDIO DE FOSITAS INYECTADAS CON COLORANTE Y SU RELACION CON ESTRUCTURAS DENTINALES

Marcela Zaffaroni

Santiago Cueto

Alicia Kohli

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2112215073](https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215073)

#### **CAPÍTULO 4..... 40**

EFFECT OF *Zinnia peruviana* ROOT EXTRACT ON THE PRODUCTION OF MICROBIAL BIOFILMS

Ana Mariel Mohamed

Diego Alberto Cifuentes

Sara Elena Satorres

Claudia Maricel Mattana

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2112215074](https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215074)

**CAPÍTULO 5..... 50**

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL TERAPÉUTICO DE TETRATIOMOLIBDATO DE AMONIO EN LA ENDOMETRIOSIS EXPERIMENTAL

Rocío Ayelem Conforti

María Belén Delsouc

Marilina Casais

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2112215075](https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215075)

**CAPÍTULO 6..... 61**

LAS CARDIOPATÍAS, EL EJERCICIO Y SU INTERRELACIÓN AMBIENTAL: REVISION DE LITERATURA

Pedro Jorge Cortes Morales

Eduarda Eugenia Dias de Jesus

Fabrizio Faitarone Brasilino

Luis Fernando Rosa

Maria Caroline Marcomini Tezolin

Luana de Andrade Mazia

Gilmar Sidnei Erzinger

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2112215076](https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215076)

**AMBIENTE**

**CAPÍTULO 7..... 74**

MICROFAUNA EM CÓRREGOS DE CABECEIRA DO CERRADO CENTRAL DO BRASIL

Claudia Padovesi-Fonseca

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2112215077](https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215077)

**CAPÍTULO 8..... 85**

ESTUDO SOBRE A GERAÇÃO, O PROCESSO SELETIVO E O DESTINO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO CAMPUS DE PORTO NACIONAL, UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS

Brenda Thais Kalife de Assunção

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2112215078](https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215078)



**CAPÍTULO 9..... 95**

TRATAMIENTO BIOLÓGICO EM EFLUENTES DE ÁGUA PARA USINAGEM DE OLIVEIRA

Mariela Beatriz Maldonado

Emiliano Gabriel Fonarsin

Leonel Lisanti

Ariel Marquez

Walter Pirán

Noemi Graciela Maldonado

Pablo Enrique Martín

Daniela Adriana Barrera

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2112215079](https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215079)

**CAPÍTULO 10..... 110**

PRODUCCIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU USO EN SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

Jairo Vanegas Gordillo

Daniela Forero Gutiérrez

Paola Navarro Munoz

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_21122150710](https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150710)

**CAPÍTULO 11..... 132**

USO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS PRODUCIDAS POR TRATAMIENTO HIDROTHERMAL Y RADIACIÓN POR MICROONDAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA CAPTURA DE CARBONO Y AUMENTO DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS

Jairo Vanegas Gordillo

Laura Milena Bejarano

Paola Alexandra Aguilar Díaz

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_21122150711](https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150711)

**BIOPROSPEÇÃO**

**CAPÍTULO 12..... 154**

DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE EXTRAPOLISACÁRIDO DE BACTERIAS PROVENIENTES DE RESIDUOS OLIVÍCOLAS

Fodda Assad Robledo

María Alejandra Soloaga

Patricia Alejandra Córdoba

María Celeste Rosso  
María de los Ángeles Spano Cruz  
Verónica Alejandra Galleguillo  
Gema Blanca Reynoso

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_21122150712](https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150712)

**CAPÍTULO 13.....163**

SESQUITERPENOIDES DE PLANTAS NATIVAS DEL NOROESTE ARGENTINO CON ACCION INSECTICIDA

Susana Beatriz Popich

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_21122150713](https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150713)

**CAPÍTULO 14.....177**

DORMANT RUPTURE AND HORMONES LEVELS IN *Jatropha curcas* L. AND *Jatropha macrocarpa* GRISEB SEED

Nancy Elisabeth Tavecchio  
Lihué Olmedo Sosa  
Ana Edit Vigliocco  
Oscar Terenti  
Erika Ayelen Escudero  
Hilda Pedranzani

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_21122150714](https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150714)

**ENSINO E ÉTICA EM BIOTECNOLOGIA**

**CAPÍTULO 15.....190**

DESAFIOS NO ENSINO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS BIOFILMES

Manuel Simões  
Lúcia Chaves Simões  
Conceição Fernandes  
Maria José Saavedra

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_21122150715](https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150715)

**CAPÍTULO 16.....199**

BIOÉTICA EN LA FORMACIÓN EN MEDICINA

Julia Susana Elbaba

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_21122150716](https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150716)

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>206</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>207</b>

# CAPÍTULO 11

## USO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS PRODUCIDAS POR TRATAMIENTO HIDROTERMAL Y RADIACIÓN POR MICROONDAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA CAPTURA DE CARBONO Y AUMENTO DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS

*Data de submissão: 25/10/2021*

*Data de aceite: 05/11/2021*

**Jairo Vanegas Gordillo**

Universidad de La Salle  
Departamento de Ciencias Básicas  
Carrera 2 No. 10 -70. Bloque A, Piso 5  
CV

**Laura Milena Bejarano**

Universidad de La Salle  
Facultad de Ingeniería Ambiental  
Carrera 2 No. 10 -70. Bloque A, Piso 6  
Lbejarano07@unisalle.edu.co

**Paola Alexandra Aguilar Diaz**

Universidad de La Salle  
Facultad de Ingeniería Ambiental  
Carrera 2 No. 10 -70. Bloque A, Piso 6  
Paguilar76@unisalle.edu.co

**RESUMEN:** El objetivo es mostrar el aprovechamiento y transformación de los residuos orgánicos, en biocarbones por pirólisis asistida por microondas y carbonización hidrotermal como nuevas alternativas para la generación de enmiendas orgánicas a partir de residuos orgánicos. Con rendimientos superiores al 90% para los procesos de calentamiento hidrotermal

y de pirólisis asistida por microondas en la producción de biocarbones. Estas tecnologías les dan un valor agregado a los residuos utilizados al transformarlos en biochar e hidrochar, que además de tener propiedades de mejorar el suelo, es posible usarlos como secuestradores de carbono. La aplicación de los biocarbones obtenidos se realizó en la finca Villa María, ubicada en la vereda el tunal, Zipaquirá con coordenadas geográficas 5°01'01,27" N 73° 56'22,84" O. con un área aproximada de 3.380 m<sup>2</sup>, y suelos entisoles. con pendiente mayor al 50%, y un paisaje montañoso con drenaje imperfecto a excesivo ("Geoportal, IGAC," 2002). Este proyecto se desarrolló con una metodología de estudios comparativos con aplicación al suelo de biocarbones producidos con residuos orgánicos, con el fin de relacionar el aumento de materia orgánica y captura de carbono en el suelo, Esta se llevó a cabo mediante (3) fases. Primera fase Selección, Clasificación, recolección, pretratamiento de biomasa, producción y caracterización de biochar e hidrochar. Segunda fase caracterización y adecuación de suelos tercera fase relación entre el aumento de carbono orgánico y materia orgánica y captura de dióxido de carbono Los biocarbones producidos, obtuvieron un porcentaje de carbono orgánico de 39,05% para hidrochar y 29,41% para Biochar, y un aumento en la materia orgánica del suelo, pasando de 0,258 a 4,926% por efecto del hidrochar y de 1,395 a 5,391% por

el Biochar, y mayor estabilidad en el suelo. Y un CO<sub>2</sub>eq por el hidrochar de 0,002247 Toneladas de CO<sub>2</sub>eq en comparación con 0,001673 CO<sub>2</sub>eq para Biochar.

**PALABRAS CLAVES:** Hidrochar. Biochar. Microondas. Tratamiento Hidrotermal. Captura de Carbono. Enmiendas Orgánicas.

## USE OF ORGANIC AMENDMENTS PRODUCED BY HYDROTHERMAL TREATMENT AND MICROWAVE RADIATION OF ORGANIC RESIDUES IN CARBON CAPTURE AND INCREASE OF ORGANIC MATTER IN SOILS

**ABSTRACT:** The objective is to show the use and transformation of organic waste into biofuels by microwave-assisted pyrolysis and hydrothermal carbonization as new alternatives for the generation of organic amendments from organic waste. With yields greater than 90% for hydrothermal heating and microwave-assisted pyrolysis processes in the production of biofuels. These technologies give added value to the waste used by transforming them into biochar and hydrochar, which in addition to having soil-improving properties, it is possible to use them as carbon sequestrants. The application of the biochar obtained was carried out in the Villa María farm, located in the village of El Tunal, Zipaquirá with geographic coordinates 5 ° 01'01.27 "N 73 ° 56'22.84" W. with an approximate area of 3,380 m<sup>2</sup>, and entisole soils. with a slope greater than 50%, and a mountainous landscape with imperfect to excessive drainage ("Geoportal, IGAC," 2002). This project was developed with a methodology of comparative studies with application to the soil of biofuels produced with organic waste, in order to relate the increase in organic matter and carbon capture in the soil. This was carried out through (3) phases. First phase Selection, Classification, collection, biomass pretreatment, production and characterization of biochar and hydrochar. Second phase characterization and adaptation of soils third phase relationship between the increase in organic carbon and organic matter and carbon dioxide capture The biochar produced, obtained a percentage of organic carbon of 39.05% for hydrochar and 29.41% for Biochar, and an increase in soil organic matter, from 0.258 to 4.926% due to hydrochar and from 1.395 to 5.391% due to Biochar, and greater stability in the soil. And a CO<sub>2</sub>eq per hydrochar of 0.002247 Tons of CO<sub>2</sub>eq compared to 0.001673 CO<sub>2</sub>eq for Biochar

**KEYWORDS:** Hydrochar. Biochar. Microwave. Hydrothermal Treatment. Carbón Capture. Organic Amendments.

### 1 INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos ha sido un problema inherente al desarrollo del ser humano, el manejo inadecuado, genera grandes impactos afectando el ambiente y al mismo ser humano, los innumerables beneficios que tiene aplicar técnicas de aprovechamiento de residuos orgánicos como es en este caso, la pirolisis asistida por microondas y la carbonización hidrotermal, estas, permiten usar gran cantidad de residuos, transformándolos en enmiendas o mejoradores de suelo con valor agregado, logrando así disminuir la disposición final en rellenos sanitarios, el proceso de incineración

e innovación en tecnologías limpias. Se aplicaron tecnologías de pirolisis por microondas y carbonización hidrotermal a los residuos sólidos orgánicos producidos en las plazas de mercado, constituidos principalmente por, hojas de cebolla, cascara de maíz y arveja, debido a su alto contenido de celulosa y fibra, para su transformación en biocarbones, que al aplicarlos en el suelo generan aumento en la materia orgánica, característica que va directamente relacionada con la captura de carbono, disminuyendo así las emisiones de gases efecto invernadero como el CO<sub>2</sub> a la atmosfera y formación de sumideros de carbono. Este escenario ofrece un gran campo de acción para la implementación de estas tecnologías y especialmente la aplicación de biochar e hidrochar para lograr un aporte en ese 20% de emisiones que Colombia se comprometió a reducir al año 2030 durante el acuerdo de Paris. Las aplicaciones de estas alternativas inicialmente se podrían establecer en una escala local, y lograr involucrar a los pequeños agricultores en un mercado de carbono voluntario.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto se desarrolló con una metodología de estudios comparativos por medio de la aplicación al suelo de biocarbones producidos con residuos orgánicos, mediante tecnología de pirolisis por microondas y carbonización hidrotermal, con el fin de relacionar el aumento de materia orgánica y captura de carbono en el suelo, vinculando estas dos variables con la disminución de emisiones gases de efecto invernadero, principalmente el CO<sub>2</sub>. Esta se llevó a cabo mediante (3) fases.

### 2.1 FASE 1. SELECCIÓN, CLASIFICACIÓN, RECOLECCIÓN, PRETRATAMIENTO DE BIOMASA, PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE BIOCHAR E HIDROCHAR

Selección, Recolección y clasificación de biomasa.

Los residuos que se seleccionaron para la producción de los biocarbones fueron: hojas de cebolla larga, hojas de maíz y cascara de arveja, por su gran contenido fibra y celulosa, los cuales se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de la biomasa.

<i>Caracterización de la biomasa</i>		
<i>Residuo</i>	<i>% de Fibra</i>	<i>% de Celulosa</i>
<i>Hojas de cebolla larga</i> <sup>2</sup>	15	40
<i>Hojas de maíz</i> <sup>1</sup>	23,00	43,14
<i>Cascara de arveja</i> <sup>3</sup>	55,07	45*

Fuente: Elaborado por las autores a partir de <sup>1</sup>(Maribel Prado, 2012), <sup>2</sup>(Velandia, 2016) y <sup>3</sup>(Alasino, 2009).

La recolección y clasificación de los residuos se realizó por selección manual directamente en la fuente.

Pretratamiento de la biomasa. El pretratamiento para producción de biochar. Para la producción de biochar se secaron los residuos en una estufa eléctrica marca mwd, durante 24 horas a una temperatura de 105 °C, condiciones de referencia contempladas en la norma GG-8 Determinación de contenido de humedad. Para los residuos utilizados en la producción de hidrochar no es necesario realizar ningún pretratamiento.

**Producción de Hidrochar por Carbonización hidrotermal.** En la producción del hidrochar, se usó la tecnología de carbonización hidrotermal, donde se introdujo cada tipo de biomasa por separado en autoclave marca sterilof, a una temperatura de 180 °C y una presión 2,2 bares durante 3 horas después del proceso de carbonización, se comprimió la biomasa y luego se secó en estufa de aire a una temperatura de 105°C durante 24 horas. Terminado el proceso de secado en la estufa, los residuos de biomasa fueron llevados a un molino de pines que gira a 3600 RPM y tamizado en un tamiz de 1,2 mm.

**Producción de Biochar por Pirolisis por Microondas.** Los residuos previamente secados se someten a un proceso de molienda y pulverización. La biomasa pulverizada se pasó por un tamiz # 170 que equivale a un tamaño de grano de 0,09 mm y luego fue puesta dentro de capsulas de porcelana con una capacidad de 400 a 450 g, para terminar con el proceso de pirolisis se usó un horno microondas convencional, utilizando el 60% de potencia, manejando un tiempo total de 30 min aproximadamente (según el tipo de residuo), en segmentos de 30 segundos hasta observar un cambio de color a negro.

**Caracterización fisicoquímica de los biocarbones.** Una vez terminado el proceso de producción de biochar e hidrochar se hizo la caracterización de los biocarbones en donde se analizaron los parámetros relacionados en la tabla 2:

Tabla 2. Parámetros analizados en los biocarbones.

<b>PARAMETRO</b>	<b>MÉTODO</b>
<i>Densidad Aparente</i>	Gravimetría
<i>pH</i>	Potenciometría
<i>Carbono Orgánico</i>	Walkley Black
<i>Conductividad Eléctrica</i>	Potenciometría
<i>C.I.C</i>	Volumetría
<i>Nitrógeno Total</i>	Suma de Nitrógenos
<i>Área Superficial</i>	Tamaño de partícula

Fuente: Adaptado de Calderón (2017).

**Adecuación y Caracterización del suelo.** Se hizo la delimitación del área a tratar, encerrando 3 parcelas cada una de 2x2, separadas 30 cm entre ellas y se descapoto el suelo retirando los primeros 20 cm. Y se tomó muestras de suelo, el tipo de muestreo fue en forma de zig-zag del cual se tomaron 8 submuestras a lo largo y ancho de cada parcela, mezclando estas y homogenizando, se tomó de la muestra homogénea un kilogramo y se analizaron los siguientes parámetros:

Tabla 3. Parámetros analizados en el suelo.

<b>PARAMETRO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>DETERMINACIÓN</b>
<i>Carbono Orgánico</i>	Walker y Black	Captura de Carbono
<i>Capacidad de Intercambio catiónico</i>	Acetato- NH4 1M pH 7 y NaCl; Volumétrico	Potencial de retención
<i>Nitrógeno Total</i>	Método Kjeldahl	Estabilidad del suelo
<i>Materia Orgánica</i>	Cálculo	Relación CO
<i>Relación C/N</i>	Cálculo	Estabilidad en el suelo
<i>Relación C/MO</i>	Cálculo	Relación CO
<i>Densidad Aparente</i>	Cilindro	Cálculo de CO <sub>2</sub> eq
<i>pH</i>	Potenciometría	Posibles cambios de pH
<i>Textura</i>	Bouyucos	cambios de textura

Fuente: Elaborado por los autores.

Los análisis de densidad aparente y textura fueron realizados en el laboratorio de la universidad de la Salle sede candelaria Bogotá, siguiendo el método del cilindro del manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos del SENA (Giraldo, 2013) y el método de Bouyucos del manual de suelos. Guía de laboratorio y campo (Campos, 2012), respectivamente. El pH fue tomado in situ con un pH metro de suelos HANNA, tomando en cada una de las parcelas 5 puntos de toma de datos, y posteriormente haciendo un promedio de los mismos para obtener un dato significativo de cada parcela. Las relaciones C/N y C/MO fueron calculadas con los datos obtenidos de Carbono Orgánico y Nitrógeno Total reportados en la tabla 7 resultados de análisis de suelo.

**Aplicación de los biocarbones.** Teniendo delimitado el terreno se aplicaron los biocarbones en dos parcelas, dejando la restante como blanco. Se agregó la masa total de biochar e hidrochar en tres aplicaciones por cada parcela, haciendo una mezcla



con ayuda de una horqueta entre cada aplicación y al final de esta, para lograr una compenetración de los biocarbonos con el suelo. En cada una de las parcelas se aplicó el 1% de la masa del suelo en biochar e hidrochar a condiciones ambiente.

**Medición de la relación entre materia orgánica y captura de CO<sub>2</sub>.** Finalmente para determinar si el aumento de materia orgánica en el suelo se relaciona con la presencia de carbono orgánico, se utiliza una serie de ecuaciones, que permiten calcular el carbono orgánico del suelo, el carbono en el área, incremento de carbono y finalmente cálculo de Ceq (CO<sub>2</sub>eq), todas las ecuaciones descritas en cada etapa se usaron con base al documento: “manual Técnico: Guía para la Determinación de carbono en pequeñas comunidades rurales” (Rügnitz, Chacón, & Porro., 2009)Chacón, & Porro., 2009.

### Calculo del carbono orgánico en el suelo

*Ecuación 1. Cálculo de carbono orgánico en el suelo.*

$$COS = \sum_{horizonte-1}^{horizonte-n} COS_{horizonte} = \sum_{horizonte-1}^{horizonte-n} ([COS] * \delta a * P * d * (1 - frag) * 10)_{horizonte}$$

Dónde:

COS= Contenido de carbono orgánico en el suelo, representativo del tipo del uso del suelo (t C/ha).

COS<sub>horizonte</sub>= Contenido de carbono orgánico en el suelo para un determinado horizonte (t C/ha).

[COS]= Concentración de carbono orgánico del suelo para una determinada masa de suelo obtenida del análisis de laboratorio (g C/ kg suelo).

δa = Densidad aparente, masa de suelo por volumen de muestra (t de suelo m<sup>3</sup>).

P = Profundidad del horizonte o espesor de la capa de suelo, en metros (m).

Frag= Volumen porcentual de fragmentos gruesos/100, sin dimensiones.

**Calculo del área del proyecto.** Para calcular el carbono total del área, se debe sumar el carbono calculado parcialmente para cada uno de los estratos, para este caso solo se calcularon en la biomasa superficial del suelo.

*Ecuación 2. Calculo de carbono del área.*

$$\Delta C_{proyecto} = \sum \Delta C_{estratos}$$

*Ecuación 3. Cálculo del carbono en el estrato de biomasa superficial del suelo.*

$$C_{estratos} = (\Delta C_{BSA}) * area\ del\ estrato$$

$$\Delta C_{BSA} = \text{biomasa sobre el suelo (t C/ha)}$$

**Calculo del incremento de carbono.** El incremento del stock de carbono del proyecto resulta de la diferencia en las cantidades de carbono calculadas en dos momentos de medición.

*Ecuación 4. Incremento de carbono.*

$$\Delta C_{incremental} = C_{t_2} - C_{t_1}$$

$\Delta C_{incremental}$  = Incremento cantidad de carbono área total del proyecto (t C).

$C_{t_1}$  = Cantidad de carbono del proyecto en el momento  $t_1$ , considerando la superficie total (t C).

$C_{t_2}$  = Cantidad de carbono del proyecto en el momento  $t_2$ , considerando la superficie total (t C).

**Calculo del carbono equivalente.** Finalmente, las reducciones de emisiones resultantes de proyectos agroforestales son contabilizadas en forma de certificados de reducción de emisiones (CRE) y negociadas en mercados internacionales de carbono. Un CRE corresponde una tonelada métrica de CO<sub>2</sub>eq, calculada en base al potencial de calentamiento global de este gas. Una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO<sub>2</sub>eq (obtenido en razón de los pesos moleculares 44/12). Para saber la cantidad de CO<sub>2</sub>eq emitido o almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito se multiplica esta por 3,67.

### 3 RESULTADOS

**Calculo del área superficial de los biocarbones.** Siguiendo la metodología del tamaño de partícula descrita en la norma ASTM C-136-01, se obtuvieron los resultados en la tabla 4:

Tabla 4. Análisis por Tamizado Hidrochar.

Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa retenida g	Fracción de masa retenida xi	Diámetro medio de partículas Dp (mm)	xi/dp
18	1	0,4	0,001		
20	0,85	4,2	0,014	0,925	0,015
35	0,5	59,8	0,199	0,675	0,295
40	0,425	47	0,157	0,463	0,339
170	0,09	160,1	0,534	0,258	2,072
Plato	-	26	0,087	-	-

Fuente: Elaborado por los autores.

Una vez determinados estos datos se aplicó la metodología descrita por (McCabe et al., 2002) para determinar área superficial, usando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{6m}{\Phi_s \rho_p D_p}$$

Donde  $m$  y  $\rho_p$  son la masa total y la densidad de las partículas respectivamente y  $\Phi_s$  es el factor de esfericidad de las partículas, el cual se tomó 0,6 para los dos biocarbones por ser materiales triturados (McCabe et al., 2002). Pero como se tiene una mezcla de partículas, esta se divide en fracciones, cada una de densidad y tamaño aproximadamente constante, por lo anterior cada fracción se pesa y se aplica la siguiente ecuación:

$$A_w = \frac{6}{\Phi_s \rho_p} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\bar{D}_{pi}}$$

Dónde:

$x_i$  = fracción de masa en un determinado incremento,  $n$  = número de incrementos y  $\bar{D}_{pi}$  = diámetro promedio de las partículas, obteniendo como resultado de la fracción constante  $\frac{6}{\Phi_s \rho_p} = 19.230,77$  y la sumatoria de  $\frac{x_i}{\bar{D}_{pi}} = 2,722$ , además como se debe excluir la fracción recogida en el plato receptor, se divide los resultados anteriormente descritos en  $1-x_i$ , por tanto  $1 - 0,087 = 0,913$ , Entonces el Área superficial para el hidrochar fue:

$$A_w = \frac{19.230,77 * 2,722}{0,913} = 57.306,44 \frac{mm^2}{g}$$

Para calcular el dato de área superficial en unidades del sistema internacional se divide en 10.000.000 para pasar a unidades de  $\frac{m^2}{g}$

$$A_w = 57.306,44 \frac{mm^2}{g} * \left( \frac{1 m^2}{10.000.000 mm^2} \right) = 0,057 \frac{m^2}{g}$$

El área superficial para el biochar, se determinó de la misma forma descrita anteriormente.

### Calculo de la Masa y Densidad del Suelo

**Masa del suelo:** se halló con la diferencia de pesos de las capsulas, con las muestras de suelo húmedo y después del secado especificados en la tabla 5.

Tabla 5. Cálculo de la masa del suelo.

<b>Capsula vacia (g)</b>	<b>Capsula + Suelo húmedo(g)</b>	<b>Capsula + Suelo seco (g)</b>	<b>Diferencia de pesos masa de suelo (g)</b>
155	385,9	321,1	64,8

Fuente: Elaborado por los autores.

**Densidad del suelo:** una vez los valores de la masa del suelo y el volumen del cilindro se conocen, se calcula la densidad aparente:

*Ecuación 5. Cálculo de la densidad aparente del suelo.*

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Dónde:  $m$  = masa del suelo,  $v$  = volumen del cilindro

$$\delta = \frac{64,8g}{205 \text{ cm}^3} = 0,32 \frac{g}{\text{cm}^3}$$

Se hace el cambio de unidades de  $\text{cm}^3$  a  $\text{m}^3$  para tener unidades del SI:

$$205 \text{ cm}^3 = \left( \frac{1\text{m}^3}{1.000.000\text{cm}^3} \right) = 2,5 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

**Masa de biocarbones para aplicación en el suelo.** Para saber la dosis de aplicación de los biocarbones, fue necesario determinar el volumen de cada una de las parcelas:

*Ecuación 6. Volumen de cada parcela.*

$$V = L * A * \text{profundidad}$$

$$V = 2m * 2m * 0,2 \text{ m} = 0,8\text{m}^3$$

Para calcular la masa del suelo que se tiene en cada parcela, teniendo en cuenta un volumen de  $0,8\text{m}^3$  se hace el siguiente cálculo:

$$64,8g \rightarrow 2,5 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$x \rightarrow 0,8\text{m}^3$$

$$x = 207,300g$$

$$207,300g = \left( \frac{1kg}{1000g} \right) = 207,3 \text{ kg}$$

Cálculo de la masa de biocarbones necesaria por parcela con 1% de la masa del suelo:

$$207,3 \text{ kg} * 1\% = 2 \text{ kg}$$

De las dos parcelas seleccionadas, a una se le agregan 2 kg de biochar y al otro 2 kg de hidrochar.

**Producción de biochar e hidrochar.** Para conocer cuál fue el rendimiento que se obtuvo durante el proceso de producción, se hizo el cálculo en base seca antes y después de la carbonización hidrotermal y la pirolisis por microondas, resultados que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Peso de biomasa usada.

<b>Materia Prima</b>	<b>Biocarbón para Transforma</b>	<b>Cebolla (Kg)</b>	<b>Maíz (Kg)</b>	<b>Arveja (Kg)</b>	<b>Total (Kg)</b>
<b>Peso Inicial Biomasa</b>	<b>Biochar</b>	13	13	13	39
	<b>Hidrochar</b>	12,5	12,5	12,5	37,5
<b>Peso Final Biomasa</b>	<b>Biochar</b>	0,80	1,56	1,50	3,86
	<b>Hidrochar</b>	0,90	3,12	1,93	5,95
<b>Peso Final después de Calentamiento</b>	<b>Biochar</b>	0,71	1,48	1,46	3,65
	<b>Hidrochar</b>	0,85	3,06	1,89	5,8

Fuente: Elaborado por los autores.

Una vez se obtuvieron estos pesos, se realizó el cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de la siguiente forma:

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{\text{Kg de biocarbon resultante}}{\text{Kg de biomasa de entrada}} * 100$$

Obteniendo así los resultados relacionados en la tabla 7:

Tabla 7. Porcentaje de eficiencia en la producción de biocarbones.

<b>Biocarbón</b>	<b>Cebolla %</b>	<b>Maíz %</b>	<b>Arveja %</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Biochar</b>	88,75	94,87	97,33	94,56
<b>Hidrochar</b>	94,44	98,08	97,93	97,48

Fuente: Elaborado por los autores.

**Caracterización de biocarbones.** En la tabla 8 se observa una síntesis de los resultados de la caracterización fisicoquímica de los biocarbones.

Tabla 8. Caracterización Físicoquímica de biocarbones.

<b>Parámetro</b>	<b>Hidrochar</b>	<b>Biochar</b>
<b>Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,52	0,29
<b>pH en 10%</b>	4,62	7,47
<b>Conductividad Eléctrica (dS/m)</b>	0,60	0,59
<b>C.I.C (meq/100g)</b>	43,30	36,80
<b>Nitrógeno Total (% P/P)</b>	1,52	1,92
<b>Carbono Orgánico Oxidable Total (% P/P)</b>	39,05	29,41
<b>Área Superficial*</b>	0,057	0,078

Fuente: Elaborado por los autores.

**Caracterización del suelo.** Para la comparación de las condiciones en el suelo, una vez se aplicaron los biocarbones, se realizó el análisis del suelo en el laboratorio de suelos del IGAC, resultados sintetizados en tabla 9.

Tabla 9. Caracterización Físicoquímica del suelo.

<b>Tiempo de Aplicación</b>		<b>Carbono Orgánico (%)</b>	<b>Nitrógeno Total (%)</b>	<b>C.I.C</b>	<b>Textura</b>	<b>pH</b>	<b>MO</b>	<b>C/N</b>	<b>CMO</b>
<b>INICIAL</b>	<b>Parcela 1</b>	0,810	0,356	19,381	Franco Limoso	5,39	1,395	2,275	0,581
	<b>Parcela 2</b>	0,150	0,359	20,331	Franco Limoso	5,41	0,258	0,417	0,581
	<b>Blanco</b>	0,470	0,386	20,999	Franco Limoso	5,40	0,810	1,217	0,581
<b>FINAL</b>	<b>Parcela 1 Biochar</b>	3,13	0,4233	18,147	Franco Limoso	5,69	5,391	7,394	0,581
	<b>Parcela 2 Hidrochar</b>	2,89	0,4234	21,035	Franco Limoso	5,62	4,978	6,755	0,581
	<b>Blanco</b>	0,471	0,386	20,999	Franco Limoso	5,40	0,811	1,218	0,581

Fuente: Elaborado por los autores.

**Calculo del carbono orgánico.** La tabla 11 hace referencia al aumento de carbono orgánico en el suelo en el área de estudio, los datos fueron determinados con respecto a las ecuaciones medición de la relación entre materia orgánica y captura de CO<sub>2</sub> en el suelo.

#### Calculo de CO<sub>2eq</sub> para Biochar

$$COS = \sum_{horizonte-1}^{horizonte-n} COS_{horizonte} = \sum_{horizonte-1}^{horizonte-n} ([COS] * \delta a * P * d * (1 - frag) * 10)_{horizonte}$$

**Contenido de carbono orgánico representativo del tipo de uso de suelo (t C/ha).** Teniendo en cuenta que el valor del carbono orgánico en el suelo se determinó usando una muestra de 0,1 kg, los gramos de C fueron 2,32.

$$COS = \left( \frac{2,32 \text{ g C}}{0,1 \text{ Kg}} \right) * \left( 0,29 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \right) * (0,20 \text{ m}) * 1 * (0,51) * 10$$

$$COS = 6,80 \frac{\text{t C}}{\text{ha}}$$

### Cambio de Carbono en el proyecto

$$C_{estratos} = (\Delta C_{BSA}) * \text{area del estrato}$$

Aplicando la fórmula de COS descrita anteriormente, se calculó el carbono en el suelo antes y después de la aplicación del biochar, este dato depende del área trabajada en el proyecto en hectáreas, que para este caso fue de 0,0004 ha.

$$\Delta C = 6,80 \frac{\text{t C}}{\text{ha}} * 0,0004 \text{ ha} = 0,00272 \text{ t C}$$

### Calculo CO<sub>2</sub>eq

Una vez se obtuvo el carbono orgánico en el área trabajada, para saber la reducción en las emisiones, se multiplica por el 3,67 que corresponde al valor de una tonelada de carbono equivalente.

$$\text{CO}_2\text{eq} = 0,00272 \text{ t C} * 3,67 = 0,0100 \text{ t C}$$

El principal parámetro del suelo para la aplicación de las ecuaciones, es el contenido de carbono orgánico, que para este caso solo se determinó en los primeros 20 cm del suelo, resultados que se reportaron en la tabla 10 antes y después de la aplicación de los biocarbones en el suelo.

Tabla 10. Cambios en contenido de Carbono del suelo, Ton de CO<sub>2</sub> eq.

Parámetros	Hidrochar		Biochar	
	Antes	Después	Antes	Después
<b>COS (t C/ha)</b>	2,32	7,93	2,62	6,80
<b>ΔC Proyecto (t C)</b>	0,00093	0,00317	0,00105	0,00272
<b>ΔC Incremental</b>	0,002247		0,001673	
<b>Ton CO<sub>2</sub>-eq</b>	0,0034	0,0116	0,0038	0,0100

Fuente: Elaborado por los autores.

## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

**Producción de biochar e hidrochar.** Las eficiencias de producción en los biocarbones se terminaron en base seca, los cuales se muestran en la tabla 7; para el caso del biochar la tecnología de pirolisis por microondas tuvo un rendimiento de 94,56% para la totalidad de la biomasa usada, siendo la cascara de la arveja el residuo con menor porcentaje de pérdida del 2,67%, seguido de la cascara del maíz con un 5,13% de pérdidas y finalmente la cebolla con 11,25 %. La hoja de cebolla tuvo un porcentaje menor de rendimiento, porque tiene mayor cantidad de sustancias volátiles. Las cascara de arveja y maíz, por el contrario, por su mayor contenido de celulosa y menor concentración de sustancias volátiles, su rendimiento de producción fue mayor.

Con respecto al proceso de carbonización hidrotermal, aunque la cebolla tuvo igualmente el menor rendimiento en comparación con los otros dos residuos usados, fue un valor que se mantuvo sobre el 90% y en forma general, comparado con la pirolisis se alcanzaron mayores rendimientos de producción con un total de 97,48%, este porcentaje de rendimiento, se traduce en menos emisiones de gases durante su producción, ya que las condiciones de temperatura y presión manejadas en el proceso de descomposición térmica generan un control sobre las sustancias volátiles, propias de la biomasa.

Estas dos tecnologías aplicadas tienen mayores rendimientos de producción en comparación otras variaciones del proceso de pirolisis, como es el caso de la pirolisis lenta donde se obtienen rendimientos entre el 25 y 35% (Piñeros & Hernandez, 2017), esto significa que ese 75% restante son emisiones de gases a la atmosfera, mientras que solo el 5,44 % y el 2,52% fueron emisiones para pirolisis por microondas y carbonización hidrotermal, respectivamente, esto se relaciona directamente con la minimización de los impactos ambientales por generación de gases contaminantes.

### 4.1 EFECTOS DE LOS BIOCARBONES EN EL SUELO

#### **Carbono orgánico y materia orgánica.**

En la caracterización de los biocarbones el porcentaje de carbono orgánico del biochar fue de 29,41%, un contenido más bajo que el del hidrochar con 39,05%, esto nos indica que el hidrochar permitió una mayor fijación del carbono aportado directamente por la materia prima usada. El suelo de las parcelas donde se aplicaron los biocarbones inicialmente tenía una cantidad baja de carbono orgánico con un porcentaje de 0,810 % para biochar y 0,150% para hidrochar, después de los dos meses de aplicación hubo un aumento de 2,32%, en la parcela de biochar alcanzando un valor máximo de carbono orgánico de 3,13%; y el aumento para hidrochar fue de 2,74%, obteniendo un valor final



de 2.89%. Comparando este parámetro con los efectos dados por los biocarbones, fue el hidrochar el que aportó gran porcentaje de carbono orgánico al suelo, posiblemente porque este contenido de carbono es menos resistente a la mineralización, ya que en tan solo dos meses logró un 7 % de estabilización, el carbono contenido por el biochar tiene un proceso más lento de estabilización en el suelo, los suelos de las parcelas analizadas.

La adición de los biocarbones, provocó un descenso en el valor de la densidad aparente en el suelo, aplicando una dosis al 1 %, esta describe la relación entre sólidos y espacio poroso, esto implica la formación de agregados más estables por la variación del contenido de materia orgánica, esto hace que existan espacios de aire dentro de las unidades del suelo, mejorando la absorción, retención de agua y los nutrientes del suelo, (Keller, 2010). Gracias al área superficial de los biocarbones, su interacción con el suelo permitió la adsorción de  $\text{CO}_2$  directamente de la atmósfera, esto se evidenció en el aumento de la materia orgánica final en las parcelas, la cual se complementa con el aporte de los biocarbones. La reducción de gases de efecto invernadero, en este caso  $\text{CO}_2$ , se logra en parte gracias a la captura de carbono en el suelo, el proceso hace que este absorba y transforme el  $\text{CO}_2$  en carbono orgánico y aumente a su vez la estabilidad de la materia orgánica; los biocarbones aportaron al aumento de la materia orgánica casi 5 veces, siendo el hidrochar el más significativo, gracias a su contenido de carbono orgánico y porosidad pudo capturar más  $\text{CO}_2$ .

**Nitrógeno total y relación carbono / nitrógeno.** El porcentaje total de nitrógeno, no sufrió ningún cambio considerable siendo el factor determinante el tiempo, pues para que haya un aumento significativo de nitrógeno tiene que existir una interacción entre un cultivo o una planta para la fijación de este. En este caso el aumento de nitrógeno fue aportado directamente por los biocarbones, pues antes de la aplicación, el porcentaje inicial de nitrógeno tenía valores de 0,356% para la parcela donde se agregó biochar y 0,359% para hidrochar, después de la aplicación de los biocarbones, el porcentaje de nitrógeno aumentó a 0,4233% para biochar y 0,4234 % para hidrochar, resultado que no afectó el rango óptimo de nitrógeno en el suelo. La relación Carbono Orgánico/Nitrógeno mide la estabilidad de la materia orgánica, gracias al aumento del Carbono Orgánico. En los resultados reportados para la relación  $\text{CO}/\text{N}$ , se observó un aumento significativo, principalmente por el porcentaje de carbono orgánico aportado por la mineralización de los biocarbones en el suelo y la captura de  $\text{CO}_2$ ; este aumento 6 veces con respecto a su valor inicial en la parcela de hidrochar y 5 veces en la de biochar, demostrando que el hidrochar por su mayor contenido de carbono orgánico aportó mayor estabilidad de la materia orgánica del suelo.

**Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y pH.** Aunque el valor del pH de los biocarbones sugiere una alteración de este en el suelo, para biochar e hidrochar solamente hubo un aumento de 0.3 y 0.21 % respectivamente; esto puede justificarse por la estabilidad que el incremento de materia orgánica aporta al suelo, que además al generar un efecto coloidal en éste permite mejorar su capacidad para neutralizar el pH (capacidad buffer). Inicialmente el pH de las parcelas de estudio fue de 5.40, y posterior a la aplicación de los biocarbones paso a ser medianamente ácido con un pH de 5.65 para biochar 5.62 para hidrochar. Aunque el hidrochar tenía un pH ácido no acidificó el suelo en los dos meses de estudio, esto significa que el pH tiene un cambio gradual con respecto al tiempo, el cual tiende a ser alcalino (A. E. Rebolledo et al., 2016); Para el caso del biochar con un pH de 7.47, considerado ligeramente alcalino, en interacción con el suelo provocó un mayor aumento de este en comparación con el hidrochar. El Biocarbón por lo general incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y, por lo tanto, la retención de iones, lo anterior se verifica principalmente por el comportamiento observado en la parcela de hidrochar, que paso de 20,331 a 21.036. Pero contrario a esto, el en la parcela de biochar, este parámetro disminuyó, posiblemente debido a que se presentó saturación y menor producción de grupos intercambiables.

#### **Proyecciones de captura de CO<sub>2</sub> eq a mayor escala.**

La forma en la que se comercializa la reducción de toneladas de CO<sub>2</sub> es la venta de bonos de carbono, que consiste en que si una empresa o país logra reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> puede poner en venta dicha reducción a países desarrollados que estén en obligación de emitir menos gases (Mendez & Restrepo, 2013). Con todo lo anterior, para conocer el valor de las toneladas de CO<sub>2</sub>eq capturadas en el suelo por la aplicación de los biocarbones en el área del proyecto, que fue de 0,0004 ha (4 m<sup>2</sup>) y su efecto en un tiempo de 2 meses, se hizo una proyección del comportamiento de los biocarbones, en la captura de carbono en un área de 20 hectáreas, asumiendo tiempos de 2, 6, 12 y 18 meses, (tiempo máximo en el que los biocarbones se mineralizan en su totalidad), además se tuvo en cuenta, la misma dosis de aplicación de biocarbones 1%, el mismo tipo de suelo, su densidad aparente y la concentración de CO resultantes del suelo estudiado en el proyecto, la proyección realizada, se hizo con base en los resultados obtenidos durante los dos meses después de la aplicación de los biocarbones y calculando las toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

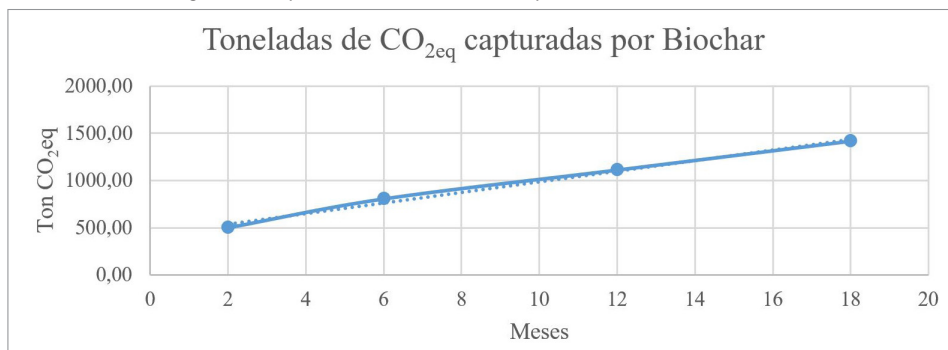
Tabla 11. Proyección de Captura de Carbono del Biochar.

<i>BIOCHAR</i>			
<i>Tiempo (meses)</i>	$\Delta C t$	COS (t C/ha)	t CO <sub>2</sub> eq
2	83,59	6,80	499,25
6	167,19	10,98	805,93
12	250,79	15,16	1112,74
18	334,39	19,34	1419,56

Fuente: Elaborado por los autores.

Como se observa en la tabla 11, los datos correspondientes a los 2 meses, fueron la base para la proyección de esta, teniendo en cuenta que en este tiempo hubo un incremento de 4,18 t C/ha, suponiendo un incremento lineal en la captura de Carbono, a un tiempo de 18 meses se ha capturado un total de 1.419,6 t CO<sub>2</sub>eq, en un área de 20 hectáreas.

Figura 1. Comportamiento Grafico de la captura de Carbono del Biochar.



Fuente: Elaborado por los autores.

Con respecto al comportamiento gráfico, la línea de tendencia rectifica un comportamiento lineal de la captura de carbono en el suelo por parte del biochar, además se comprueba igualmente con el factor R<sup>2</sup>, el cual es de 0,9919. Referente a la cantidad de dinero, una tonelada de CO<sub>2</sub>eq tiene un valor entre \$ 5.000 y \$ 20.000 (González, 2015), al calcular el valor con las toneladas capturadas a 18 meses, la ganancia sería mínimo de \$70 '978.000 utilizando biochar.

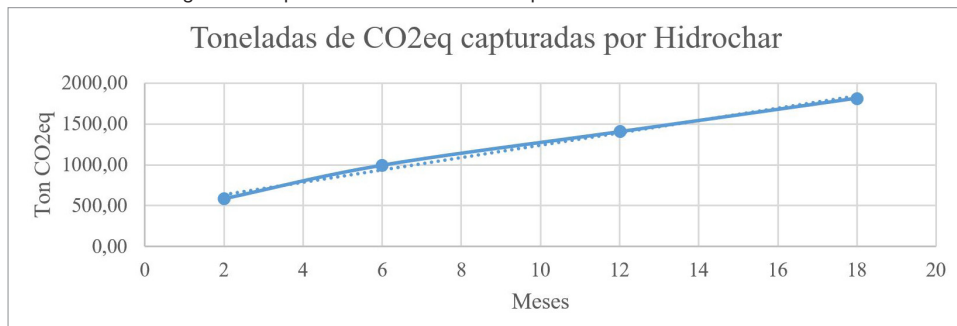
Tabla 12. Proyección de Captura de Carbono del Hidrochar.

<i>HIDROCHAR</i>			
<i>Tiempo (meses)</i>	$\Delta C t$	COS (t C/ha)	t CO <sub>2</sub> qe
2	112,27	7,93	582,25
6	224,47	13,54	993,84
12	336,67	19,15	1405,61
18	448,87	24,76	1817,38

Fuente: Elaborado por los autores.

En cuanto al hidrochar, el aumento fue de 5,61 t C/ha, en comparación con el biochar, aparte de que fue el que más capturo C del suelo, este valor le permite una relación mayor con respecto al incremento de captura que se da en el tiempo, lo que se rectifica tanto en la tabla 12 como en la gráfica de la figura 2.

Figura 2 Comportamiento Grafico de la captura de Carbono del hidrochar.



Fuente: Elaborado por los autores.

Considerando un tiempo de dos meses con una dosis de aplicación de biocarbones al 1%, la captura de CO<sub>2</sub>eq fue de 582,25 toneladas aumentando hasta 1817,38 toneladas a los 18 meses de aplicación. La ganancia de dinero, utilizando el hidrochar como medio de captura de carbono a 18 meses, con un total de 1817,38 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, es de \$90 '869.000.

Aunque la diferencia en el aumento de la captura de las toneladas de C por hectárea es diferente para ambos biocarbones, como se observa en las figuras 1 y 2 la proyección en ambos casos tiene un comportamiento lineal, y los valores no representan un gran cambio, lo que permite inferir que aunque el hidrochar sigue teniendo mejor capacidad para capturar Carbono del suelo, el biochar también es una buena alternativa de aplicación.

**Proyección cantidad de biomasa.** Referente a la producción de biocarbones, ya que se usa como materia prima residuos orgánicos, se hizo una proyección de las toneladas de residuos orgánicos necesarios para realizar aplicaciones de 1%, 2% y 5%, en un área de 20 ha, esto se calculó con respecto a los resultados obtenidos en el estudio, relacionados en la tabla 14. Además, se tuvo en cuenta la misma densidad (0,32 g/cm<sup>3</sup>) y la misma profundidad (0,20 cm), datos necesarios para calcular la masa del suelo.

Tabla 13. Cantidad de Biomasa para producción de Biocarbones; Cantidad de Biocarbones producidos.

<i>Biocarbón</i>	<i>Biomasa Total Para Producción de Biocarbones (kg)</i>	<i>Masa de biocarbones Producidos (kg)</i>
<i>Biochar</i>	39	3,65
<i>Hidrochar</i>	37,5	5,8
<i>Total</i>	76,5	9,45

Fuente: Elaborado por los autores.

Se usó un total de 76,5 kg de residuos orgánicos para producir 9,45 kg de biocarbones; independientemente de la cantidad que se produjo de cada Biocarbón, la proyección se hizo teniendo en cuenta la cantidad total de biomasa requerida. Estos resultados se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Proyección cantidad de residuos orgánicos para producción de Biocarbones.

<i>Dosis (%)</i>	<i>Kg Biocarbones</i>	<i>Ton Biocarbones</i>	<i>Kg Biomasa</i>	<i>Ton Biomasa</i>
1%	128.000	128	1'036.190,48	1.036,190
2%	256.000	256	2'072.380,95	2.072,38
5%	640.000	640	5'180.952,38	5.180,95

Fuente: Elaborado por los autores.

Con esta proyección, además de conocer la cantidad de biocarbones necesarios para aplicar al suelo dependiendo de una dosis específica, también permite saber la cantidad de residuos orgánicos requeridos para la producción de los mismos, así, que para aplicar biocarbones con una dosis al 1% se necesitan 1.036 toneladas de residuos, para una dosis de aplicación del 2%, 2.072 toneladas y para dosis del 5%, 5.180 toneladas de residuos.

Si se tiene en cuenta la cantidad de residuos orgánicos generados en la ciudad de Bogotá para el año 2012, según el Boletín No 41, del informe de Bogotá de estadísticas, consumo de alimentos y producción de residuos sólidos orgánicos en el suelo residencial urbano de Bogotá DC, publicado en la alcaldía de Gustavo Petro, en Bogotá de produjeron 2.770 ton/día, pero teniendo en cuenta que la producción de los biocarbones aproximadamente duro un mes, con este dato se tendrían 83.100 ton/mes, cantidad con la que se supliría la producción de los biocarbones si se aplica una dosis de 5%. Esto permite inferir que la cantidad de residuos llevados a disposición final disminuiría, pues la cantidad de residuos generada es suficiente para producir 16 veces dicha cantidad de residuos en dosis de 5%.

## CONCLUSIONES

El hidrochar, fue el Biocarbón que logro capturar la mayor cantidad de CO<sub>2</sub>eq de la atmosfera, con respecto al biochar, debido a su contenido de carbono orgánico, además porque fue el que más apporto carbono orgánico, parámetro que se relaciona directamente con el incremento de la materia orgánica.

Aunque, el biochar y el hidrochar son productos solidos ricos en carbono orgánico y se utilizan para las enmiendas de suelo, se producen a partir de un proceso y condiciones de pretratamiento completamente diferentes y sus propiedades físicas y químicas difieren significativamente.

El suelo entisol, característico de la zona de la finca Villa María donde se realizado el proyecto, paso de clasificarse como un suelo con bajo contenido de CO a un suelo con alto contenido de CO, según la tabla 1, después de la aplicación de los biocarbones.

Los resultados obtenidos, permiten concluir que el aumento de la Materia Orgánica en el suelo efecto de la mineralización de los biocarbones, tiene una relación directa con la cantidad de CO<sub>2</sub> capturada de la atmosfera.

Las tecnologías de pirolisis por microondas y carbonización hidrotermal, tienen mayores eficiencias de producción comparado con los rendimientos de otras formas de pirolisis, registrado en la tabla 8, porque su producción genera menos de 10% de emisiones de gases, mientras que, en tecnologías como la pirolisis lenta, las emisiones son de más del 60%.

La producción de hidrochar y biochar ayudan a minimizar los impactos producidos por la generación de residuos orgánicos, ya que además de disminuir la disposición final en rellenos sanitarios, da un valor agregado para proponer nuevas tecnologías de aprovechamiento.

Independientemente del aporte de carbono orgánico al suelo por acción del hidrochar, se observó que la aplicación de los dos biocarbones aportaron mejoras en el suelo, pues las diferencias en la mayoría de resultados obtenidos no fueron significativas como lo muestra la tabla 10, esto sugiere un aporte positivo al suelo por las propiedades adquiridas de ambos biocarbones, propiedades que se atribuyen directamente a las tecnologías de pirolisis por microondas y carbonización hidrotermal.

## BIBLIOGRAFÍA

Agro Waste. (2013). *Carboinzacion Hidrotermal*.

Ahmad, M., Upamali, R., Lim, J., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., . . . Sik, Y. (2013). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *ELSEVIER*.

- Alasino, M. C. (2009). *Harina de arveja en la elaboracion de pan, estudio del efecto emulsionante como mejoradores de volumen y vida util.*
- Arellano, O., Flores, M., Guerra, J., Hidalgo, A., Rojas, D., & Strubinger, A. (2016). *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*. Obtenido de Hydrothermal Carbonization of Corncob and Characterization of the Obtained Hydrochar: <http://www.aidic.it/cet/16/50/040.pdf>
- Ballester, E. P. (Julio de 2012). *El proceso de carbonización hidrotérmica aplicado a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30137/Tesina%20Estefania%20Ponce.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Biochar info*. (20 de Diciembre de 2016). Obtenido de Biochar overview: <https://www.biochar.info/biochar.biochar-overview.cfml>
- Campos, R. (2012). *Manual de suelos. Guías de laboratorio y campo*. Bogota.
- Decreto 2981. (2013). Bogota.
- FAO. (2000). *Biología y manejo de chisas*.
- FAO. (2011). *TENDENCIA GENERAL DE LA CAPTURA DE CARBONO EN EL SUELO*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm#TopOfPage>
- FAO. (2014). *Consideraciones sobre el manejo agronomico*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4956s.pdf>
- FAO. (SF). *Coleccion: Acuicultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/faoterm/es/>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (1994). *The research progress of biomass pyrolysis processes*. EEUU: Board.
- Geograf. (2008 ). *Mecanismos de Condensación*. Obtenido de <http://www.um.es/geograf/clima/tema05.pdf>
- Giraldo, J. C. (2013). *Manual de Prácticas de campo y del laboratorio de suelos*. Tolima.
- Gomez, A., Klose, W., & Rincon, S. (2008). *Pirolisis de Biomasa. Cuesco de palma de aceite*.
- GÓMEZ, I. D. (01 de Octubre de 2016). *Ingeniería Petrolera*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/341522440/GEOLOGIA3>
- Gonzalez, M. (2000). *La Guía Química*. Obtenido de <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/adsorcion>
- González, S. D. (25 de Octubre de 2015). *El Espectador*. Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/economia/les-llego-hora-los-bonos-de-carbono-articulo-595060>
- Grossman, R. B. (S.F). *Pedogenesis and soil taxonomy II. Elsevier Science Publishers*, 55-99.
- Grupo de geotecnia facultad de minas . (SF). *Determinacion de contenido de humedad*. Medellin, Colombia.
- Huang, Y.-F., Chiueh, P.-T., Shih, C.-H., Lo, S.-L., Sun, L., Zhong, Y., & Qiu., C. (2015). *Microwave pyrolysis of rice straw to produce biochar as an adsorbent for CO2 capture*. China: Elsevier.

Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., ... Rojas, J. (2006). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas N° 45*.

IGAC. (1982). Entisol. En A. C. Lombana, *Taxonomía de suelos*. Bogotá.

IGAC. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de cundinamarca*. Bogotá.

IGAC. (2002). *Geoportal, IGAC*. Obtenido de Mapa de suelos Colombia: <http://geoportal.igac.gov.co/ssig2.0/visor/galeria.req?mapald=6&title=Geopedolog%C3%ADa>

IGAC. (28 de Enero de 2017). *Tipos de suelo*. Obtenido de <http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/Glosario>

International Biochar Initiative. (20 de Diciembre de 2016). *International Biochar Initiative*. Obtenido de <http://www.biochar-international.org/definitions>

IPCC. (2001). *Anexo B, Tercer informe de evaluación Cambio Climatico 2001*.

IPCC. (2014). *Glosario de terminos*. Obtenido de IPCC.CH: <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

IPCC, G. I. (2014). Obtenido de [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WG3AR5\\_SPM\\_brochure\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WG3AR5_SPM_brochure_es.pdf)

Keller, T. H. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content.

Maribel Prado, M. J.-H. ( 2012). Characterization of maize leaves and of sugarcane bagasse to elaborate of a mixed cellulose pulp. *scielo org* , 8.

Márquez, L., Roy, A., & Castellanos, E. (2000). *Elementos Tecnicos para Inventarios de Carbono en uso del suelo* . Guatemala .

McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2002). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Mexico: Mc GrawHill.

MinAmbiente. (15 de julio de 2008). Resolución 0909 DE 2008. *Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones*. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente. (2002). *Tecnologías de manejo integral de residuos sólidos*. Bogotá.

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial . (15 de julio de 2008). RESOLUCIÓN 0909 DE 2008. *Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones*. Bogotá, Colombia.

Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2013). DECRETO 2981.

Orbegozo, A. O. (2012). *Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas*. Barcelona.

Organica, Q. (2003). *POLIMERIZACION*. Obtenido de <http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/organica/directorio/jaime/Polimeros.pdf>



- Ortega, L. P. (2013). *EL SUELO EDAFOLOGÍA*. Obtenido de [http://roble.pntic.mec.es/lorg0006/dept\\_biologia/archivos\\_texto/ctma\\_t10\\_suelo.pdf](http://roble.pntic.mec.es/lorg0006/dept_biologia/archivos_texto/ctma_t10_suelo.pdf)
- Pedraza, F. L. (12 de Diciembre de 2009). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de UN Periódico: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/bonos-de-carbono-negocio-ambiental-para-paises-industrializados.html>
- Piñeros, E., & Hernandez, F. (2017). *Evaluación del biochar producido por pirólisis lenta como medio adsorbente de zinc, cobre, cromo, níquel*. Bogota .
- Rebolledo, A. E., González, G. P., Moreno, C. H., Collado, J. L., Alves, J. C., Pacheco, E. V., & Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *TERRA LATINOAMERICANA VOLUMEN 34*.
- Rebolledo, M. A. (2013). *Biblio Colpos*. Obtenido de [http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/10521/2209/1/Escalante\\_Rebolledo\\_MA\\_DC\\_Edafologia\\_2013.pdf](http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/10521/2209/1/Escalante_Rebolledo_MA_DC_Edafologia_2013.pdf)
- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Lima.
- sefric. (2017). *sefric*. Obtenido de [http://www.sefric.com/02\\_01\\_hornos.php](http://www.sefric.com/02_01_hornos.php)
- Sistema Nacional de Información Ambiental, Chile. (S.F). *SINIA*. Obtenido de ¿Qué es el mercado del carbono?: <http://www.sinia.cl/1292/w3-article-48293.html>
- Song, Z., Yang, Y., Zhao, X., Sun, J., Wang, W., Mao, Y., & Ma, C. (2016). *Microwave pyrolysis of tire powders: evolution of yields and composition of products*. Obtenido de Science Direct: [http://ac.els-cdn.com/hemeroteca.lasalle.edu.co/S0360544215001814/1-s2.0-S0360544215001814-main.pdf?\\_tid=cd9813a8-c6fc-11e6-89bc-00000aab0f01&acdnt=1482270156\\_097aca4ad106bc47a8b4522002c7e7a1](http://ac.els-cdn.com/hemeroteca.lasalle.edu.co/S0360544215001814/1-s2.0-S0360544215001814-main.pdf?_tid=cd9813a8-c6fc-11e6-89bc-00000aab0f01&acdnt=1482270156_097aca4ad106bc47a8b4522002c7e7a1)
- Termodinamica. (2009). *Reacciones exotérmicas y endotérmicas*. Obtenido de [http://iespoetaclaudio.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/exo\\_endotermicas.pdf](http://iespoetaclaudio.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/exo_endotermicas.pdf)
- Universidad Nacional . (2008). *UNAD*. Obtenido de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358011/ContLinea/glosario\\_de\\_terminos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358011/ContLinea/glosario_de_terminos.html)
- USDA. (2006). *Claves para la taxonomía de suelos*.
- Velandía, K. D. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos. *LUNAZUL*, 9.
- Zambrano, A., Franquis, F., & Infante, A. (2004). EMISIÓN Y CAPTURA DE CÁRBONO EN LOS SUELOS EN ECOSISTEMAS FORESTALES. 11-20.

## SOBRE O ORGANIZADOR

**Manuel Simões** é licenciado em Engenharia Biológica e doutorado em Engenharia Química e Biológica. Atualmente é Professor Associado com Agregação e Pró-Diretor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), e investigador sénior do Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia (LEPABE) do Departamento de Engenharia Química da FEUP. Nos últimos anos esteve envolvido em 10 projetos nacionais (5 como investigador principal) e 6 projetos europeus. Foi membro do comité de gestão da ação COST BACFOODNET (Rede Europeia para Mitigação da Colonização e Persistência Bacteriana em Alimentos e Ambientes de Processamento de Alimentos) e esteve envolvido em outras 2 ações: iPROMEDAI e MUTALIG. Manuel Simões tem mais de 190 artigos publicados em revistas indexadas no Journal of Citation Reports, 4 livros (1 como autor e 3 como editor) e mais de 40 capítulos em livros. Ele é Editor Associado para o jornal Biofouling - The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research (o periódico mais antigo sobre pesquisa em biofilme), Editor Associado para o jornal Frontiers in Microbiology e Section Editor-in-Chief para o jornal Antibiotics. Seus principais interesses de pesquisa estão focados nos mecanismos de formação de biofilme e seu controlo com agentes antimicrobianos, particularmente usando novas moléculas antimicrobianas, e no uso de microalgas para tratamento de efluentes. É um dos investigadores mais citados do mundo (top 1%), tendo sido distinguido nos últimos dois anos no índice Essential Science Indicators, um dos mais prestigiados indicadores da qualidade de investigação.

Identificação SCOPUS: 55608338000; N° orcid: 0000-0002-3355-4398

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acetonic root extract 41  
Aguas de maquinado de aceitunas 96, 99  
Aplicaciones biomédicas 16, 17, 21  
Áreas preservadas 74

### B

Biochar 110, 111, 113, 114, 115, 116, 120, 121, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 139, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153  
Biodiversidade aquática 74  
Bioética 199, 200, 201, 204, 205  
Biofilme 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196  
Biopelículas 41, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161  
Biorremediación 96, 98, 102, 105, 106, 107, 108

### C

Captura de carbono 112, 116, 132, 133, 134, 136, 145, 146, 147, 148, 151, 153  
Carbono orgánico 110, 111, 115, 116, 122, 123, 126, 127, 128, 129, 130, 132, 135, 136, 137, 142, 143, 144, 145, 150  
Caries 28, 29, 30, 36, 37, 38, 39  
Ciência e tecnologia multidisciplinar 190  
Cobre 19, 50, 51, 52, 122, 153  
Competencias 199, 200, 202, 203, 204, 205

### D

Destinação 85, 87, 89, 90  
Diabetes mellitus 1, 2, 3, 6, 11, 12, 13, 14, 15  
Dormancy 177, 178, 179, 180, 183, 185, 186, 187, 188, 189

### E

Efectos subletales 163, 172  
Efluentes 96, 97, 98, 100, 102, 106, 107, 193  
Ejercicio físico 62, 63, 66, 68, 70  
Endometriosis 50, 51, 53, 58, 59, 60  
Enfermedad cardiovascular 62, 63

Enmienda orgánica 110, 111, 125, 126, 129  
Enmiendas orgánicas 110, 111, 132, 133  
Enterobacter cloacae 155, 156, 157, 159, 160, 161  
Esmalte 28, 29, 30, 33, 34, 35, 36, 37  
Espécies endêmicas 74, 75, 76, 78, 82  
Estradiol 51, 52, 54, 55, 57, 59  
Extrapolisacáridos 154, 155, 156

## F

Factores de caries 29  
Falta de gestão 85

## G

Glicemia 1, 2, 5, 9, 12

## H

Hidrochar 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150  
Hormona 1, 10, 11, 12, 51

## I

Incorporación de efluentes 96  
Insectos 163, 164, 165, 166, 167, 168, 171, 172, 173, 175  
Insulina 1, 2, 3, 7, 8, 10, 11, 12, 13

## J

Jatropha 48, 177, 178, 180, 184, 185, 186, 187, 188, 189

## M

Medicina 1, 4, 11, 13, 18, 28, 61, 62, 66, 67, 72, 175, 199, 200, 201, 204, 205  
Medio ambiente 62, 63, 64, 66, 69, 97  
Microbial biofilms 41, 42, 49  
Microbiologia aplicada 190  
Microondas 132, 133, 134, 135, 141, 144, 150  
Microorganismos nativos 96, 99, 102, 103, 104, 106, 107

## N

Nanotubos de carbono 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26

## P

Per capita 85, 86, 89, 91

Percepção 199, 200, 203, 204

Permeabilidade dentinal 29, 37

Phytohormones 178, 187

Pirolisis 110, 111, 113, 119, 120, 124, 125, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 141, 144, 150, 151, 153

Potencial zeta 17, 19, 21, 22, 24

Productividade 110, 111, 112, 117, 128, 129

## R

Reología 17

Resíduo sólido 85, 88, 89, 91

Resíduos olivícolas 155, 156, 160, 161, 162

Resíduos orgânicos 89, 110, 111, 113, 117, 118, 125, 132, 133, 134, 148, 149, 150

Resistência antimicrobiana 190

## S

Savana 74, 75, 77

Savana brasileira 74

Seeds 178, 179, 180, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189

Sesquiterpenoides 163, 166, 167

Suero fetal bovino 16, 17, 18, 19, 20, 21, 25

## T

Tetratiomolibdato de amonio 50, 51, 52

Tipos de esmalte 29

Toxicidad 41, 163, 164, 168, 169, 174

Tratamiento hidrotermal 132, 133

## V

Vernonieae 163, 166, 167, 168, 172, 173, 176

## Z

Zinnia peruviana 40, 41, 43, 44, 46, 48, 49