

# Estudos em Biociências e Biotecnologia:

Desafios, Avanços  
e Possibilidades

Manuel Simões  
(organizador)

 EDITORA  
ARTEMIS  
2023

VOL III

# Estudos em Biociências e Biotecnologia:

Desafios, Avanços  
e Possibilidades

Manuel Simões  
(organizador)

VOL III

 EDITORA  
ARTEMIS  
2023



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, Brasil  
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
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, Brasil  
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, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil  
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, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México  
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 (USP), Brasil  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México



Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*  
Prof.ª Dr.ª 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. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal, Canadá*  
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*  
Prof.ª Dr.ª 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. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg, Suécia*  
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*  
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*  
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*  
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, Brasil  
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México  
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. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil  
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil  
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*  
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil  
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil  
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil  
Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

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*, Cuba  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México  
Prof. Dr. Odara Horta Boscolo, *Universidade Federal Fluminense*, Brasil  
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil  
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil  
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil  
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil  
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> Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University*, Russia  
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. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil  
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia  
Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León*, Espanha

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

E82 Estudos em biociências e biotecnologia [livro eletrônico] : desafios, avanços e possibilidades: vol. III / Organizador Manuel Simões. – Curitiba, PR: Artemis, 2023.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-10-9

DOI 10.37572/EdArt\_301123109

1. Ciências biológicas. 2. Biotecnologia. 3. Biomedicina.  
I.Simões, Manuel.

CDD 574

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



## PREFÁCIO

O volume III da edição “Estudos em Biociências e Biotecnologia: Desafios, Avanços e Possibilidades” disponibiliza ao leitor um conteúdo essencialmente focado no estudo de plantas e interfaces para dar resposta a desafios científicos e sociais específicos. O desenvolvimento de conhecimento científico e de tecnologia para a produção sustentável de plantas, bem como o seu processamento e valorização é fundamental para a transição para uma bioeconomia e para a resposta a objetivos de desenvolvimento sustentável, estabelecidos pela Assembleia Geral das Nações Unidas. O livro está organizado em 12 capítulos que focam essencialmente a investigação molecular de plantas, estudos de fisiologia, fitopatologia, cultivo e processamento, e novas aplicações de plantas e das suas moléculas (produtos fitoquímicos).

Manuel Simões

<https://orcid.org/0000-0002-3355-4398>

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y GENÉTICA DEL AGUACATE CRIOLLO EN NUEVO LEÓN, MÉXICO

María Genoveva Álvarez Ojeda

Víctor Pecina Quintero

Efraín Acosta Díaz

Isidro Humberto Almeyda León

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3011231091](https://doi.org/10.37572/EdArt_3011231091)

### **CAPÍTULO 2..... 12**

ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA ASOCIADA CON EL INTERCAMBIO GASEOSO DE NUEVE MORFOTIPOS DEL CULTIVO DE *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon - MASHUA

Chacón Campana Máximo Américo

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3011231092](https://doi.org/10.37572/EdArt_3011231092)

### **CAPÍTULO 3..... 38**

LOCALIZACIÓN DE ANTOCIANINAS Y DUREZA DEL ENDOSPERMO EN GERMOPLASMA DE MAÍZ AZUL

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández

José Luis Arellano-Vázquez

Luis Fernando Ceja-Torres

Estela Flores-Gómez

Patricia Vázquez-Lozano

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3011231093](https://doi.org/10.37572/EdArt_3011231093)

### **CAPÍTULO 4..... 44**

PARDEAMIENTO Y PORCENTAJE DE BROTAÇÃO EN TUBÉRCULOS DE CLONES Y VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) INFECTADOS POR *Candidatus Liberibacter solanacearum*

Margarita Díaz Valasis

Víctor Manuel Parga Torres

María Genoveva Álvarez Ojeda

Ángel Ismael Narváez Rodríguez

Isidro Humberto Almeyda León

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3011231094](https://doi.org/10.37572/EdArt_3011231094)

**CAPÍTULO 5..... 54**

ATAQUE DE *Frankliniella williamsi* HOOD (*Thysanoptera*: Thripidae) EN CULTIVARES DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) EN TABASCO, MÉXICO

Dante Sumano López

Mario Rodríguez Cuevas

Víctor Hugo Arias López

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3011231095](https://doi.org/10.37572/EdArt_3011231095)

**CAPÍTULO 6.....62**

DISEÑO BOX-BEHNKEN USANDO EL CRITERIO DE DESEABILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE CELULASAS POR *Aspergillus niger* ITV 02 A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR DESLIGNIFICADO

Marin I. Infanzón-Rodríguez

Daniel A. Zavala-Ortiz

Javier Gómez-Rodríguez

Maria Guadalupe Aguilar-Uscanga

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3011231096](https://doi.org/10.37572/EdArt_3011231096)

**CAPÍTULO 7 .....76**

IDENTIFICACIÓN DE *MELOIDOGYNE JAVANICA* NEMATODO AGALLADOR EN BEGONIA CULTIVAR COCKTAIL

Ramón Rodríguez Blanco

José Israel Rodríguez Barrón

Elia Cruz Crespo

Fabiola Cinco García

Miguel Díaz Heredia

Kennedy Antonio Cortez Isiordia

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3011231097](https://doi.org/10.37572/EdArt_3011231097)

**CAPÍTULO 8..... 84**

XANTONAS COMO AGENTES TERAPÉUTICOS PARA ENFERMEDADES INFLAMATORIAS DE LA PIEL





Mario E. Cancino-Díaz

Gabriel Betanzos-Cabrera

Juan C. Cancino-Díaz

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3011231098](https://doi.org/10.37572/EdArt_3011231098)



<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>96</b>
RESISTÊNCIA BACTERIANA E COMPOSTOS NATURAIS: APLICAÇÃO DESTE CONCEITO NA APRENDIZAGEM DAS CIÊNCIAS	
<p>Maria José Saavedra  Manuel Simões  Conceição Fernandes</p>	
 <a href="https://doi.org/10.37572/EdArt_3011231099">https://doi.org/10.37572/EdArt_3011231099</a>	
<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>106</b>
CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN DEL MANGLAR ENTRE 2009-2017 EN EL SISTEMA LAGUNAR DE CHACAHUA-PASTORÍA, OAXACA	
<p>Cristian Tovilla Hernández  Rita Lorena Salas Roblero  Erika María Villatoro Arreola</p>	
 <a href="https://doi.org/10.37572/EdArt_30112310910">https://doi.org/10.37572/EdArt_30112310910</a>	
<b>CAPÍTULO 11.....</b>	<b>133</b>
INFLUENCIA DEL ESTRÉS HÍDRICO EN EL CRECIMIENTO DEL FRUTO Y EN LA FORMACIÓN DE ACEITE EN EL CULTIVO DEL OLIVO	
<p>Javier Hidalgo Moya  Juan Carlos Hidalgo Moya  Ana Leyva Bollero  María del Carmen Jiménez Muñoz  Daniel Pérez Mohedano  Victorino Vega Macías</p>	
 <a href="https://doi.org/10.37572/EdArt_30112310911">https://doi.org/10.37572/EdArt_30112310911</a>	
<b>CAPÍTULO 12.....</b>	<b>141</b>
DESHIDRATACIÓN DE CHILE HABANERO PARTE I: EXPERIMENTACIÓN Y MODELADO	
<p>Carlos Orozco-Alvarez  Gisela Palma-Orozco  Jonathan Alcántara-Melgar  Sergio García-Salas  Enrique Hernández-Sánchez</p>	
 <a href="https://doi.org/10.37572/EdArt_30112310912">https://doi.org/10.37572/EdArt_30112310912</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>150</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>151</b>

# CAPÍTULO 12

## DESHIDRATACIÓN DE CHILE HABANERO PARTE I: EXPERIMENTACIÓN Y MODELADO

Data de submissão: 25/09/2023

Data de aceite: 16/10/2023

**Sergio García-Salas**

Departamento de Bioingeniería  
Unidad Profesional Interdisciplinaria  
de Biotecnología  
Instituto Politécnico Nacional  
Av. Acueducto S/N.  
Col. Barrio La Laguna Ticomán  
Ciudad de México

**Carlos Orozco-Alvarez**

Departamento de Bioingeniería  
Unidad Profesional Interdisciplinaria  
de Biotecnología  
Instituto Politécnico Nacional  
Av. Acueducto S/N.  
Col. Barrio La Laguna Ticomán  
Ciudad de México  
<https://orcid.org/0000-0002-5145-6791>

**Enrique Hernández-Sánchez**

Departamento de Bioingeniería  
Unidad Profesional Interdisciplinaria  
de Biotecnología  
Instituto Politécnico Nacional  
Av. Acueducto S/N.  
Col. Barrio La Laguna Ticomán  
Ciudad de México

**Gisela Palma-Orozco**

Departamento de Bioingeniería  
Unidad Profesional Interdisciplinaria  
de Biotecnología  
Instituto Politécnico Nacional  
Av. Acueducto S/N.  
Col. Barrio La Laguna Ticomán  
Ciudad de México

**Jonathan Alcántara-Melgar**

Departamento de Bioingeniería  
Unidad Profesional Interdisciplinaria  
de Biotecnología  
Instituto Politécnico Nacional  
Av. Acueducto S/N.  
Col. Barrio La Laguna Ticomán  
Ciudad de México

**RESUMEN:** El chile habanero se deshidrató entero y en mitades en un secador tipo túnel y en un invernadero. Se trabajaron 50, 60 y 70 ° C y aire a 2 m/s. El tiempo de secado más corto, 20 h, fue a 70 ° C para el chile en mitades (75 h para el entero). A 60 y 50 ° C los tiempos de secado del chile en mitades fueron de 25 y 30 h, respectivamente, mientras que para el chile entero estos tiempos fueron mayores de 3 a 4 veces. La pérdida de capsaicina fue del 30% y 40% para el chile entero y en mitades, respectivamente; la capsaicina en el chile fresco fue de 15 mg / g de peso seco. En el secado de chile entero y en mitades dentro del invernadero, la pérdida de capsaicina fue

de 45 y 55%, respectivamente, debido a los altos tiempos de secado que fueron 340 y 90 h, respectivamente. El modelado matemático, representó el secado de chile entero y en mitades en el secador de túnel con una precisión de 97-99%, mientras que en el secado en invernadero el modelado fue diferente en sólo 8-10%.

**PALABRAS CLAVE:** Chile habanero. Secado. Invernadero. Modelado. Diferencias finitas.

## 1 INTRODUCCIÓN

El chile habanero es uno de los más pungentes en el mundo y en México casi todo es cosechado en Yucatán. En el ambiente regional se procesa en purés, pastas, salsas y productos deshidratados, sin embargo, el estado de Yucatán y otros estados aún no cuentan con una industria de procesamiento de chile habanero. La industria alimentaria es el usuario más importante de chiles habaneros, ya que son usados como agentes colorantes y saborizantes en una gran gama de productos alimenticios tales como salsas, sopas, carnes procesadas, dulces, refrescos y bebidas alcohólicas. También es una materia prima en la formulación de productos farmacéuticos y cosmética por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y analgésicas (Pino et al. 2007). Los capsaicinoides son los responsables de la sensación pungente en frutos del género *Capsicum*, principalmente la capsaicina y la dihidrocapsaicina provocan más del 90% de la pungencia encontrada en pericarpio, placenta y semillas de chile habanero.

Se ha reportado contenidos de capsaicinoides entre 41.8 y 65.9 mg/g de fruta seca, siendo los naranjas los más pungentes (Cisneros et al. 2007). Mientras que los carotenoides presentes en chile habanero son la principal fuente de color en la oleoresina y que es utilizada como colorante natural, se han reportada contenidos de capsantina de 0.34 a 0.10 mg g<sup>-1</sup> como principal carotenoide en chiles habaneros rojos (Latournerie et al. 2001). Ante las bondades que el chile habanero proporciona, cabe destacar que es importante considerar otros procesos para su comercialización y distribución, como puede ser el secado del chile con el fin de obtenerlo en forma de polvo para darle mayor estabilidad térmica y vida de anaquel, siendo esto último el objetivo del presente trabajo.

En la parte I de este trabajo sólo se realizó la modelación del secado del chile habanero en mitades, y ahora en el presente trabajo, se modeló el secado del chile entero, deshidratado tanto en el equipo de túnel como también secado en un invernadero.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 SECADO

El secado se realizó en un secador tipo túnel a una velocidad del aire propuesta de 2 m/s y temperaturas de 50, 60 y 70 °C. El chile entero (3 piezas) se colocó en una

charola metálica de 20 cm x 12 cm x 2 cm y en otra charola de las mismas características se colocó el chile en mitades (6 piezas). El registro del peso se efectuó cada hora hasta llegar a peso constante. Para el secado en el invernadero el chile habanero entero y en mitades se colocaron en charolas separadas y el registro del peso se llevó a cabo a las 10:00 y 20:00 h de cada día hasta peso constante. En estos mismos tiempos se registró la temperatura y humedad relativa del aire dentro y fuera del invernadero.

## 2.2 DETERMINACIÓN DE CAPSAICINA

Para la cuantificación de capsaicina se elaboró una curva tipo usando concentraciones de 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 y 0.10 g/L, disolviendo en etanol al 60% y leyendo en celda de cuarzo a una longitud de onda de 286 nm. La correlación lineal obtenida,  $R^2 = 0.9893$ , fue:  $Abs = 2.6724 (g/L) - 0.0134$ .

## 2.3 EXTRACCIÓN DE CAPSAICINA

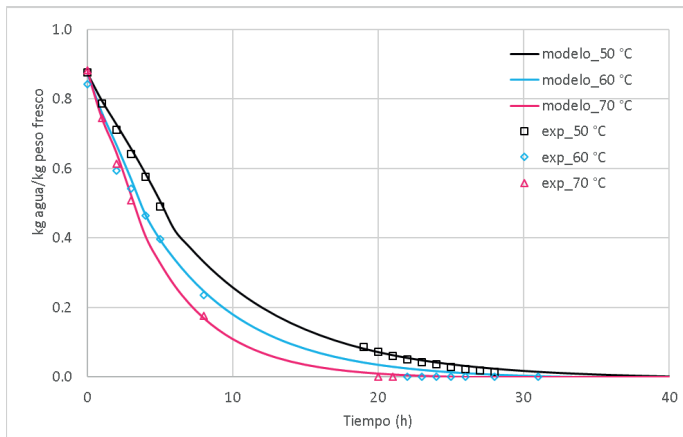
La extracción de capsaicina del chile habanero fresco y secado se efectuó empleando una muestra de 0.2 g molido en mortero durante 15 min con etanol al 60%; luego se centrifugó a 6000 rpm por 15 min.; el sobrenadante se depositó en un vaso con 0.2 de carbón activado y se agitó a 150 rpm por 30 minutos; después se filtró al vacío sobre papel millipore de 0.45 micras de poro; el filtrado sin color se le midió su absorbancia a 286 nm.

# 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 3.1 SECADO

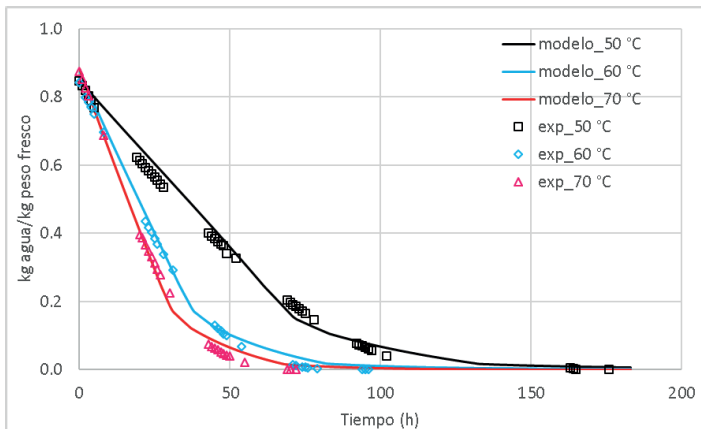
Se realizó el secado de chile habanero cortado en mitades y los resultados se presentan en la figura 1. El menor tiempo de secado se alcanzó a 70 °C, 20 horas, como era de esperarse, y este tiempo aumentó a medida que disminuyó la temperatura, 25 h para 60 °C y 30 h para 50 °C. Cuando el secado se efectuó en el invernadero (figura 3) el tiempo secado fue el más alto, 90 horas, lo cual era esperado puesto que la temperatura promedio (50 a 20 °C) durante el período solar fue de 35 °C, y una temperatura promedio (20 a 15 °C) de 17 °C durante la noche.

Fig. 1. Secado en túnel de chile habanero en mitades: experimentación y modelado.



Cuando el secado de chile habanero entero se llevó a cabo tanto en el secador de túnel como en el invernadero se obtuvieron los resultados presentados en la figura 2 y 3, respectivamente.

Fig. 2. Secado en túnel de chile habanero entero: experimentación y modelado.



Se observó la misma tendencia comentada anteriormente, es decir, a mayor temperatura menor fue el tiempo de secado (Singh, P. y Heldman, D., 2009). Sin embargo, ahora el tiempo de secado fue de 3 a 4 veces mayor para cada temperatura que se compare, este mayor tiempo también era esperado, puesto que la superficie interna “encerrada” del chile no tiene contacto directo con el aire de secado y lo cual retardó su secado, caso que no sucedió con el chile en mitades donde toda la superficie sin “piel” sí está en contacto con el aire. Por otra parte, se realizó la cuantificación del contenido de capsaicina al inicio y al final de cada corrida de secado, y también en el invernadero, y los resultados son presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados globales del secado de chile habanero.

	Capsaicina (mg/g muestra seca)	% de Conservación			
		Temperaturas de secado			
Parte del chile	Fresco	50 °C	60 °C	70 °C	invernadero
Entero	15	66	71	72	56
Mitades	13	54	49	59	46

El chile entero conservó 71-72% a 60 y 70 °C, mientras que a 50 °C sólo conservó el 66% de capsaicina; y en el invernadero se obtuvo el nivel más bajo de conservación con 56%. El chile en mitades conservó el 54-59% a 50 y 70 °C, respectivamente; mientras que en el invernadero sólo se conservó el 46%. Es interesante observar que en el secado en invernadero, los tiempos de secado (tanto para chile entero y en mitades) fueron 2.2 veces mayores en comparación con el secado a 50 °C, pero con cero gasto energético, de tal forma que podría justificarse el gasto en energía si se empleara un pequeño ventilador durante el secado solar para reducir los tiempos de secado.

### 3.2 MODELADO PARA EL CHILE EN MITADES

Se llevó a cabo el modelado del secado de chile habanero en mitades en el túnel bajo condiciones de convección forzada a 2 m/s, y también se efectuó el modelado del secado en el invernadero para lo cual fueron registrados la temperatura y humedad relativa del aire.

Se empleó el método de *Diferencias Finitas* para predecir la reducción de la humedad durante el secado (Cengel, Y. y Ghajar, A., 2011; Özisi, M. N., 1994). A continuación se muestran las ecuaciones obtenidas en forma *explícita*, considerando una transferencia de masa unidimensional en la dirección del grosor del chile habanero en mitades (3 mm) y para tres nodos; ecuaciones 1, 2 y 3, para las caras “sin piel”, centro y “con piel”, respectivamente:

$$W_0^{i+1} = W_0^i(1 - 2\tau_m) + \tau_m \left( 2W_1^i - \frac{2\Delta x(C_{ws} - C_w)}{\rho Dif} h_m \right); (1)$$

$$W_1^{i+1} = W_1^i(1 - 2\tau_m) + \tau_m(W_0^i - W_2^i); (2)$$

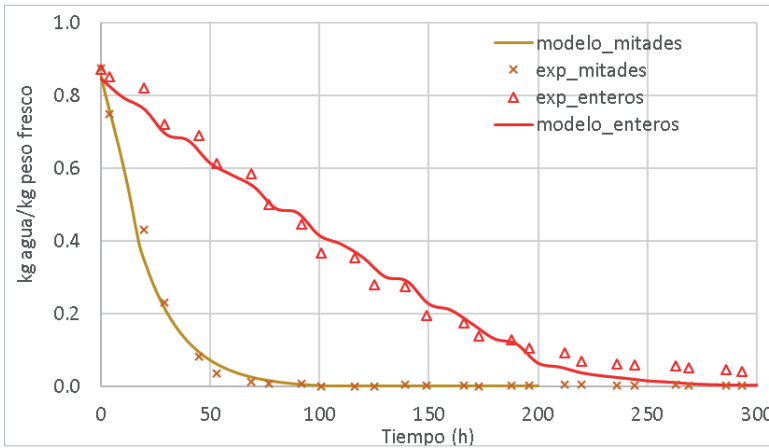
$$W_2^{i+1} = W_2^i(1 - 2\tau_m) + \tau_m \left( 2W_1^i - \frac{2\Delta x(C_{ws} - C_w)}{\rho Dif} U_m \right); (3)$$

Cada ecuación se resuelve empezando con los valores  $W_0^i = W_1^i = W_2^i = 0.87 \text{ kg agua/kg peso fresco}$  al tiempo cero. El intervalo de tiempo de resolución  $\Delta t$  es cada hora para el secado en túnel, y cada 10 horas para el secado en invernadero, hasta cubrir el tiempo de secado experimental. Los términos restantes se describen a continuación (Cengel, Y. y Ghajar, A., 2011):

- a)  $\tau_m$  (número de Fourier) =  $D \Delta t / \Delta x^2$ ;
- b)  $\Delta x$  (separación entre nodos) =  $0.0015 \text{ m}$ ;
- c)  $D_{if}$  (difusividad efectiva en el chile habanero a 50, 60 y 70 °C) = 1.25, 1.54,  $2.09 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ , respectivamente;  $0.52 \times 10^{-10}$  para el invernadero (temperatura promedio, día y noche, de 30 °C)
- d)  $\rho$  (densidad promedio del chile habanero en mitades) =  $600 \text{ kg/m}^3$ ;
- e)  $C_{ws}-C_w$  (fuerza impulsora para la transferencia de masa a 50, 60 y 70 °C y 23 %HR) = 0.0096, 0.0115, 0.0138 y 0.0164 kg de agua/  $\text{m}^3$ , respectivamente; para el invernadero se empleó la siguiente correlación empírica:  $0.003 \text{ seno}(t)+0.005$ ,  $t$ , en horas.
- f)  $h_m$  (coeficiente de película de transferencia de masa a 50, 60 y 70 °C) = 3.25, 3.88 y  $5.37 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ , respectivamente; calculado a través de la secuencia siguiente:  $h_m = Sh D_a / L_c$ ;  $Sh = 0.664 Re^{0.5} Sc^{0.33}$ ;  $Re = v L_c \rho_a / \mu_a$ ;  $Sc = \mu_a / (\rho_a D_a)$ ;  $L_c = 0.045 \text{ m}$ ;  $v = 2 \text{ m/s}$  y  $0.4 \text{ m/s}$  para el invernadero;  $\rho_a = 1 \times 10^{-5} T^2 - 0.0045 T + 1.2908$ , densidad del aire,  $T$  en °C;  $\mu_a = -3 \times 10^{-11} T^2 + 5 \times 10^{-8} T + 1.729 \times 10^{-5}$ , viscosidad del aire,  $T$  en °C.  $D_a = 1.87 \times 10^{-10} (T^{2.072} / P)$ , difusividad del vapor de agua en el aire,  $T$  en K y  $P$  en atm.
- g)  $U_m$  (coeficiente global de transferencia de masa a 50, 60 y 70 °C) = 4.19, 5.16 y  $6.96 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ , respectivamente; calculado como  $U_m = h_m h_p / (h_m + h_p)$ ;  $h_p = D_{if} / x_p$ ;  $x_p$  (grosor de la piel del chile) =  $30 \mu\text{m}$ .

En las figuras 1 y 3, se presentan los resultados experimentales y modelados del chile habanero en mitades. Claramente los resultados modelados fueron prácticamente idénticos a los resultados experimentales para el secado en túnel, mientras que para el secado en invernadero hubo una semejanza del 90-95 % entre los datos experimentales y modelados.

Fig. 3. Secado en invernadero de chile habanero entero y en mitades: experimentación y modelado.



Cabe destacar la propuesta de emplear dos tipos diferentes de coeficientes de transferencia de masa,  $h_m$  para la cara del chile sin piel, al ser cortado en mitades, y que solo toma en cuenta la difusividad del vapor de agua desde la superficie del chile a la corriente de aire. Mientras que  $U_m$ , para la cara del chile con piel, tomó en cuenta el grosor de esta cutícula que es una resistencia adicional a la pérdida de humedad y que por lo tanto haría más lento el secado.

### 3.3 MODELADO PARA EL CHILE ENTERO.

A continuación se muestran las ecuaciones obtenidas en forma *explícita*, considerando una transferencia de masa bidimensional en las direcciones radial y axial del chile entero, considerado como un cilindro hueco, y para nueve nodos; las ecuaciones se presentan a continuación:

$$W_0^i \left[ 1 - \mathcal{F}_m \left( 4 + \frac{2}{a^2} \right) \right] + \mathcal{F}_m \left[ 4W_1^i + \frac{W_5^i + W_8^i}{a^2} - 4U_m \frac{n}{m} \frac{\Delta r}{\rho D i f} (C_{ws} - C_w) \right] = W_0^{i+1}$$

$$W_1^i \left[ -2\mathcal{F}_m \left( 2 + \frac{1}{a^2} \right) \right] + \mathcal{F}_m \left[ \frac{W_3^i + W_4^i}{a^2} + 2(W_0^i + W_2^i) \right] = W_1^{i+1}$$

$$W_2^i \left[ 1 - \mathcal{F}_m \left( 4 + \frac{2}{a^2} \right) \right] + \mathcal{F}_m \left[ 4W_1^i + \frac{W_6^i + W_7^i}{a^2} - 4U_m \frac{n}{m} \frac{\Delta r}{\rho D i f} (C_{ws} - C_w) \right] = W_2^{i+1}$$

$$W_3^i \left[ 1 - 2\mathcal{F}_m \left( 2 + \frac{1}{a^2} \right) \right] + \mathcal{F}_m \left[ 2(W_7^i + W_8^i) + \frac{2W_1^i}{a^2} - \frac{2}{a} U_m \frac{\Delta r}{\rho D i f} (C_{ws} - C_w) \right] = W_3^{i+1}$$



$$W_4^i \left[ 1 - 2\mathcal{F}_m \left( 2 + \frac{1}{a^2} \right) \right] + \mathcal{F}_m \left[ 2(W_5^i + W_6^i) + \frac{2W_4^i}{a^2} - \frac{2}{a} U_m \frac{\Delta r}{\rho D i f} (C_{ws} - C_w) \right] = W_4^{i+1}$$

$$W_5^i \left[ 1 - 2\mathcal{F}_m \left( 2 + \frac{1}{a^2} \right) \right] + \mathcal{F}_m \left[ 4W_4^i + \frac{2W_5^i}{a^2} - \frac{2\Delta r}{\rho D i f} (C_{ws} - C_w) \left( \frac{U_m}{a} + \frac{2n}{m} U_m \right) \right] = W_5^{i+1}$$

$$W_6^i \left[ 1 - 2\mathcal{F}_m \left( 2 + \frac{1}{a^2} \right) \right] + \mathcal{F}_m \left[ 4W_4^i + \frac{2W_6^i}{a^2} - \frac{2\Delta r}{\rho D i f} (C_{ws} - C_w) \left( \frac{U_m}{a} + \frac{2n}{m} U_m \right) \right] = W_6^{i+1}$$

$$W_7^i \left[ 1 - 2\mathcal{F}_m \left( 2 + \frac{1}{a^2} \right) \right] + \mathcal{F}_m \left[ 4W_3^i + \frac{2W_7^i}{a^2} - \frac{2\Delta r}{\rho D i f} (C_{ws} - C_w) \left( \frac{U_m}{a} + \frac{2n}{m} U_m \right) \right] = W_7^{i+1}$$

$$W_8^i \left[ 1 - 2\mathcal{F}_m \left( 2 + \frac{1}{a^2} \right) \right] + \mathcal{F}_m \left[ 4W_3^i + \frac{2W_8^i}{a^2} - \frac{2\Delta r}{\rho D i f} (C_{ws} - C_w) \left( \frac{U_m}{a} + \frac{2n}{m} U_m \right) \right] = W_8^{i+1}$$

Los términos se describen a continuación:

a)  $\tau_m$  (número de Fourier) =  $D \Delta t / \Delta r^2$ ;

$\Delta r$  (separación entre nodos en el eje radial) = 0.01 m;  $\Delta z$  (separación entre nodos en el eje axial) = 0.0225 m;  $a = \Delta z / \Delta r$ ;  $n, m$  (relaciones geométricas de área y volumen del elemento de volumen) = 3/5 y 2/5, respectivamente.

b)  $\rho$  (densidad promedio del chile habanero) = 390 kg/m<sup>3</sup>;

c) el resto de los términos ya fueron definidos previamente.

En las figuras 2 y 3, se presentan los resultados experimentales y modelados del chile habanero entero. Los resultados modelados fueron prácticamente iguales a los resultados experimentales para el secado por convección forzada en el túnel (figura 2), mientras que para el secado en invernadero hubo una semejanza promedio del 90% entre los datos experimentales y modelados (figura 3). En esta parte del modelado sólo se empleó el coeficiente de transferencia de masa ( $U_m$ ), puesto que el chile entero está rodeado por “su piel”, y este coeficiente tomó en cuenta el grosor de esta “cutícula” que es una resistencia adicional a la pérdida de humedad.

## 4 FINANCIAMIENTO

Instituto Politécnico Nacional. Proyecto SIP 20210435.

## 5 CONCLUSIONES

El secado de chile habanero entero en secador tipo túnel a 70 °C y 2 m/s conservó el 72% de la capsaicina, mientras que para el chile en mitades sólo se conserva el 59%

a las mismas condiciones de secado. Se recomienda secar en mitades porque el tiempo de secado se reduce 3 a 4 veces con respecto al chile entero. El secado en invernadero conservó el 56% de capsaicina en chile entero y sólo el 46% en chile en mitades, pero el tiempo de secado es tres veces menor en el chile en mitades; así, el secado de chile en mitades en invernadero sería competitivo si se empleara un ventilador que trabajara día y noche para reducir aún más el tiempo de secado según el modelado.

## REFERENCIAS

Cengel, Y., Ghajar, A. 2011. Transferencia de calor y masa. 3ra edición. México: McGraw-Hill. Capítulos V y XIV.

Cisneros-Pineda O., Torres-Tapia L.W., Gutiérrez-Pacheco L.C., Contreras-Martín F., González-Estrada T., Peraza-Sánchez S.R. 2007. "Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in the state of Yucatan, Mexico". *Food Chemistry* 104(4): 1755-1760.

Domínguez-Cañedo I.L., Beristain-Guevara C.I., Díaz-Sobac R., Vázquez-Luna A. 2015. "Degradación de carotenoides y capsaicina en el complejo de inclusión molecular de oleorresina de chile habanero (*Capsicum chinense*) con  $\beta$ -ciclodextrina". *CyTA-Journal of Food* 13(1): 151-158.

Forsythe G. E. y Wasow W. R. 1960. Finite Difference Methods for Partial Differential Equations, Nueva York: John Wiley & Sons.

Latournerie L., Chávez J.L., Pérez M., Hernández C.F., Martínez R., Arias L.M., Castañón G. 2001. "Exploración de la diversidad morfológica de chiles regionales en Yucabá, Yucatán, México". *Agronomía Mesoamericana* 12(1): 41-47.

Özisi, M. N. 1994. Finite Difference Methods in Heat Transfer, Boca Ratón, FL: CRC Press.

Pino J., González M., Ceballos L., Centurión-Yah A.R., Trujillo-Aguirre J., Latournerie-Moreno L., Sauri-Duch E. 2007. "Characterization of total capsaicinoids, color and volatile compounds of Habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jack.) cultivars grown in Yucatan". *Food Chemistry* 104: 1682-1686.

Singh, P., Heldman, D. 2009. Introducción a la ingeniería de los alimentos. 2da edición. España: ACRIBIA. Capítulos IV y IX.

## 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; Nº orcid: 0000-0002-3355-4398

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aceite 1, 12, 38, 40, 44, 54, 62, 76, 80, 84, 96, 106, 133, 134, 135, 138, 139, 140, 141  
Aceituna 134, 136, 138, 139, 140  
Acné 84, 85, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95  
Aguacate criollo 1, 2, 3, 4, 9, 10  
Aleurona 38, 39, 40, 41, 42, 43  
Anatomía *Tropaeolum tuberosum* 12  
Antibióticos 88, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105  
Aplicabilidade 96, 103, 105

### B

Bactérias 78, 84, 88, 89, 92, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 105  
Begonia 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82  
Bioetanol 63, 64, 65, 68, 73, 74  
Box-Behnken 62, 63, 66, 72, 75  
Brotación 44, 45, 47, 48, 49, 50, 52

### C

Caracterización morfológica y genética 1, 2  
Celulasas 62, 63, 64, 65, 66, 69, 70, 72, 73, 74  
Chile habanero 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149  
Compostos-bioativos 96  
Conservación 65, 107, 131, 132, 145  
Cultivares 9, 10, 11, 54, 78

### D

Daños 54, 56, 78  
Deficitario 134, 135, 137, 138, 140  
Dermatitis atópica 84, 85, 86, 87, 88, 93  
Diferencias finitas 142, 145

### E

Ecofisiología 12, 35, 36  
Educação 96

Endospermo 38, 39, 40, 41, 42, 43

## I

Inflamación 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93

Invernadero 64, 76, 79, 82, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149

## M

Manglares 106, 107, 110, 118, 119, 122, 123, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132

Modelado 141, 142, 144, 145, 147, 148, 149

Monitoreo 106, 107, 108, 109, 112, 116, 120, 122, 126, 131, 132

Mortalidad 107, 109, 113, 114, 116, 118, 119, 122, 125, 126, 129

## N

Nematodo del nudo de la raíz 77

## O

Olivar 133, 134, 135, 139, 140

Optimización 62, 63, 65, 66, 70, 72

## P

Papa 13, 32, 33, 35, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53

Pardeamiento 44, 45, 47, 48, 49, 51, 52

Patrones perineales 76, 77, 80, 81

Pericarpio 38, 39, 40, 41, 42, 142

Piel 84, 85, 86, 87, 88, 90, 92, 93, 144, 145, 146, 147, 148

Psoriasis 84, 85, 90, 91, 92, 93

Punta morada 44, 45, 46, 52, 53

## R

Regeneración 107, 114, 116, 119, 120, 122, 126, 129

Resistência 44, 57, 77, 89, 92, 96, 97, 98, 99, 103, 147, 148

Riego 3, 46, 108, 127, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140

## S

Secado 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149

## T

Trips 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61

*Tropaeolum tuberosum* 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 32, 33, 34, 36, 37

## X

Xantonas 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93

## Z

*Zea mays* 39