

Imágenes microscópicas de Colossoma microponomulifer sometidos a diferentes tipos de tratamiento, demostrando la ausencia de cambios morfológicos compatibles con proceso de intoxicación.



COMITÉ EDITORIAL

JUAN CARLOS URRIAGO FONTAL
Director
Rector. Unidad Central del Valle del Cauca

ALEXANDER ROMERO SÁNCHEZ
Editor-in-Chief
Unidad Central del Valle del Cauca

JENNIFFER CASTELLANOS GARZÓN
Editora asociada. Bioquímica, Genética y Biología Molecular
Unidad Central del Valle del Cauca

JUAN SEBASTIÁN HENAO AGUDELO
Editor asociado. Medicina (Epidemiología)
Unidad Central del Valle del Cauca

ANDRÉS REY PIEDRAHÍTA
Editor asociado. Ciencias Ambientales
Unidad Central del Valle del Cauca

CAROLINA CAICEDO CANO
Editora asociada. Ingeniería Biomédica
Unidad Central del Valle del Cauca

ÁNGEL ROLANDO ENDARA AGRAMONT
Editor de sesión. Ciencias Ambientales
Universidad Autónoma del Estado de México, México

CARLOS EDUARDO AGUDELO MORALES
Editor de sesión. Ciencias Ambientales
Universidad Nacional de Colombia. Campus Palmira

ANDRÉS MAURICIO POSSO TERRANOVA
Editor de sesión. Ciencias Biológicas y Agrícolas. University of Saskatchewan, Canada

ALEXANDRA TORRES NAVARRETE
Editora de sesión. Ciencias Biológicas y Agrícolas. Universidad Técnica de Babahoyo, Los Ríos, Ecuador

DIEGO GERALDO CAETANO NUNEZ
Editor de sesión. Ciencias Biológicas y Agrícolas. Universidade Federal de Rondônia (UNIR), campus Presidente Médici, Brasil

JAIME MORANTES CARRIEL
Editor de sesión. Bioquímica, Genética y Biología Molecular
University of Alicante: Alicante, Comunidad Valenciana, España

JOSÉ LUIS CHAVEZ SERVIA
Editor de sesión. Ciencias Ambientales
Instituto Politécnico Nacional IPN, México

PAULO GERMANO DE FRIAS
Editor de sesión. Medicina
Instituto de Medicina Integral Professor Fernando Figueira: Recife, PE, Brasil

MARÍA LUISA ÁVILA AGÜERO
Editora de sesión. Enfermería; Profesionales de la salud
Hospital Nacional de Niños, Costa Rica

Gestor Editorial:
Hernando Perdomo Gómez

E-mail:
magnascientia.uceva@uceva.edu.co

Página Web:
<http://revistas.uceva.edu.co/index.php/magnascientia>

Editorial:
Unidad Central del Valle del Cauca- UCEVA

Sometimiento de Manuscritos:
<http://revistas.uceva.edu.co/index.php/magnascientia/about/submission>

Licencia Creative Commons:



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



COMITÉ CIENTÍFICO

MEV DOMINGUEZ VALENTIN
Institute for Cancer Research
Oslo University Hospital Norway

PATRICK LAVELLE
Université Pierre et Marie Curie France

RUBEN ÁNGEL MERCADO PEDRAZA
Facultad de Medicina
Universidad de Chile, Chile

MARÍA DEL CARMEN CUELLAR DEL HOYO
Facultad de Farmacia
Universidad Complutense de Madrid, España

SALVADOR POCOVI MARTÍNEZ
AIDIMME Technological Institute:
Paterna, España

MARÍA DOLORES RAIGÓN JIMÉNEZ
Universitat Politècnica de València, España

LIOR APPELBAUM
Bar Ilan University Ramat Gan, Israel

MARIOS CONSTANTINOU
University of Nicosia, Nicosia Cyprus

EWALD SIEVERDING
University of Hohenheim, Germany

ANA ISABEL GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Institute of General Practice, Goethe University, Frankfurt-Germany

LILIAN CHUAIRE-NOACK
Universidad del Valle, Colombia Suecia

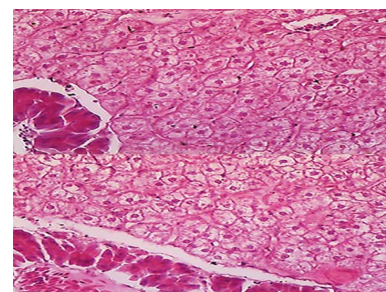
DANILO CANDIDO DE ALMEIDA
Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, Brasil

RAFAEL LUIZ PEREIRA
Universidade Federal do Paraná Brasil

CRISTIANO FAVA
Universidad de Verona Italia

FELIPE CASTRO DA SILVA
National Institute for Space Research Brazil

ALBERT CIRERA HERNÁNDEZ
Universitat de Barcelona, España



Créditos fotografía: Bruna Rafaela Caetano Nunes Pazdiora, PhD

Descripción: imágenes microscópicas de hígado de *Colossoma macropomum* sometido a diferentes tipos de tratamiento, demostrando la ausencia de cambios morfológicos compatibles con proceso de intoxicación.

Declaración de periodicidad

Magna Scientia UCEVA [ISSN 2805-6701 (en línea) 2805- 6884(impreso)] es publicada semestralmente en acceso abierto y gratuito. Entidad Editora: Unidad Central del Valle del Cauca. Carrera 27 A No. 48 -144 Kilómetro 1 Salida Sur. Tuluá, Valle del Cauca- Colombia, Sur América. Código Postal: 763022.

Enfoque y Alcance

Magna Scientia UCEVA, es una publicación científica que propende por el acceso libre, gratuito e inmediato a todos sus contenidos, con circulación internacional, financiada y editada por la Unidad Central del Valle del Cauca, cuya misión es difundir conocimiento científico de alta calidad sobre las Ciencias de la Vida y la Salud de acuerdo con el foco temático definido en la Misión de Sabios de MinCiencias. Publica artículos originales e inéditos con enfoque disciplinar y multidisciplinar en diversos aspectos relacionados con las Ciencias de la Vida y la Salud en el mundo.

Profesiones
de La Salud

Medicina

Estudios Sociales
de la Salud

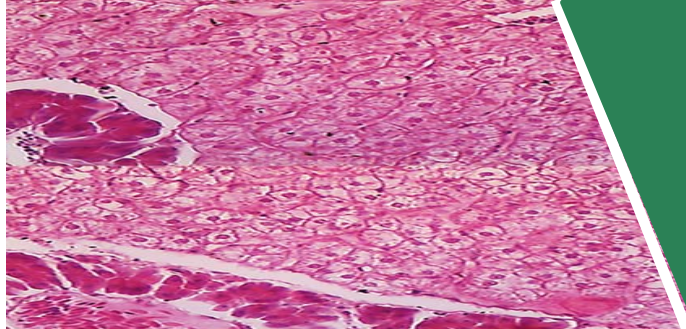
Ingeniería
Biomédica

Bioquímica,
Genética y Biología
Molecular

Ciencias
de la Vida

Ciencias
Ambientales

Ciencias
Biológicas y
Agrícolas



GUÍA ABREVIADA PARA AUTORES

Magna Scientia UCEVA (ISSN en línea: 2805-6701 ISSN impreso: 2805-6884) es editada por la Unidad Central del Valle del Cauca, publicada semestralmente y se acoge a los lineamientos y recomendaciones emitidos por ICMJE, COPE, CSE y OECD.

Envío

Para enviar sus contribuciones debe iniciar con el proceso de registro en el enlace Registrarse (<http://revistas.uceva.edu.co/index.php/magnascientia/user/register>) que se encuentra ubicado en el apartado Envío de la página web de la revista Magna Scientia UCEVA (<http://revistas.uceva.edu.co/index.php/magnascientia/about/submissions>)

Magna Scientia UCEVA insta a sus usuarios a hacer uso de esta única ruta de sometimiento, es decir, a través de la herramienta Open Journal System; no se recibirán artículos vía e-mail. Se recomienda que el autor que someta su artículo a la revista Magna Scientia UCEVA, sea designado o sea el propio autor para correspondencia, quien se comprometerá a establecer contacto permanente con Magna Scientia UCEVA durante todo el periodo que tome el proceso editorial, al momento de someter el manuscrito, deberá diligenciar correctamente todos los metadatos vinculados con este proceso y adjuntar en formato Microsoft Office Word® (versión 2016 en adelante) su manuscrito. Las tablas y figuras, deberán ser enviadas por aparte en formato JPG, PNG, TIFF, PDF o incluso, en otro archivo Microsoft Office Word®. En caso de que el artículo sea aceptado, se pedirán todos estos archivos en alta resolución que hicieron parte en la estructuración del manuscrito.

Para dudas o inquietudes acerca del contenido del manuscrito, formateo, detalles técnicos, tipos de archivos y asuntos de la gestión y proceso editorial, por favor dirijase a magnascientia.uceva@uceva.edu.co

Lista de chequeo (preparación del manuscrito)

Se insta a toda la comunidad de autores de Magna Scientia UCEVA que hagan uso de esta lista de chequeo para realizar el envío efectivo de su manuscrito antes de iniciar el proceso de revisión editorial.

Asegúrese dar cumplimiento a los siguientes ítems:

- Uno de los autores ha sido designado como autor para correspondencia con estos datos de contacto: *i*) Dirección de correo electrónico institucional (no se admiten cuentas de correo personal); *ii*) Dirección de correspondencia completa incluido código postal (cuando aplique).
- Se han adjuntado todos los archivos necesarios que componen el manuscrito
- El manuscrito ha sido formateado en Microsoft Office Word® a una sola columna con interlineado 1.5 con números de línea continua para facilitar el proceso de revisión editorial (peer review).
- Todas las tablas y figuras han sido ubicadas al final del documento justo después de las referencias bibliográficas.
- Todas las figuras y tablas cuentan con su respectiva descripción y su licencia creative commons cuando aplique.
- Se ha obtenido permiso para el uso del material con derechos de autor de otras fuentes (incluidas las fuentes de internet)
- Se incluyeron las palabras clave con base en tesauros especializados según el área de conocimiento. Se insta a que no repita todas las palabras incluidas en el título.
- Todas las referencias bibliográficas han sido estructuradas con un gestor bibliográfico como Mendeley o EndNote y ajustadas al estilo Vancouver.
- Todas las referencias mencionadas en la lista de referencias están citadas en el texto y viceversa
- Se ha diligenciado totalmente y firmado por cada uno de los autores, la carta de consentimiento de autores, la cual, contiene una declaración sobre autoría, conflicto de intereses, ética y financiación.
- Se ha revisado al detalle la política editorial de la revista Magna Scientia UCEVA.

Estudios en humanos y animales

Si el trabajo implica el uso de sujetos humanos, el autor debe asegurarse de que el trabajo descrito se ha llevado a cabo de acuerdo con el Código de Ética de la Asociación Médica Mundial (Declaración de Helsinki) para experimentos con humanos. El manuscrito debe estar en línea con las recomendaciones para la realización, presentación de informes, edición y publicación de trabajos académicos en revistas médicas y apuntar a la inclusión de poblaciones humanas representativas (edad y etnia) según esas recomendaciones.

Los términos sexo y género deben usarse correctamente. Los autores deben incluir una declaración en el manuscrito de que se obtuvo el consentimiento informado para la experimentación con sujetos humanos Siempre se deben respetar los derechos de privacidad de los sujetos humanos.

Todos los experimentos con animales deben cumplir con las pautas de ARRIVE y deben llevarse a cabo de acuerdo con la Ley de Animales (Procedimientos Científicos) del Reino Unido de 1986 y las pautas asociadas, UE Directiva 2010 63 /UE para experimentos con animales, o la guía de los Institutos Nacionales de Salud para el cuidado y uso de animales de laboratorio (Publicaciones de los NIH No 8023 revisada en 1978 y los autores deben indicar claramente en el manuscrito que se han seguido dichas pautas. Debe indicarse el sexo de los animales y, en su caso, la influencia (o asociación) del sexo en los resultados del estudio.

Declaración de Conflictos de Interés

Todos los autores deben revelar cualquier relación financiera y personal con otras personas u organizaciones que puedan influir de manera inapropiada (en su trabajo). Ejemplos de posibles conflictos de intereses incluyen empleo, consultorías, propiedad de acciones, honorarios, testimonio de un experto pagado, solicitudes de patente / inscripciones y subvenciones u otro tipo de financiación.

Tipos de Artículos

Magna Scientia UCEVA recibe artículos en español y en inglés. Para su recepción, evaluación y publicación, se considerarán los artículos de investigación científica, artículos de reflexión, artículos de revisión y reportes de caso según la tipología establecida por MinCiencias en el Documento Guía del Servicio Permanente de Indexación de Revistas de Ciencia, Tecnología e Innovación Colombianas, los cuales se describen a continuación:

Artículo de investigación científica (original e inédito)

Es un documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene los siguientes apartados: introducción; materiales y métodos; resultados; discusión y conclusiones. Se invita a la comunidad de autores a que presenten la sección de Resultados y Discusión por separado, que no las presenten unidas, esto con el fin de facilitar el proceso de revisión editorial. Está compuesto de 3500-5000 palabras y máximo 30 referencias bibliográficas.

Artículo de reflexión

Es un documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico; recurriendo a fuentes originales. Está compuesto de 3000-5000 palabras y máximo 30 referencias bibliográficas.

Artículo de revisión (invitación directa del Comité Editorial)

Es un documento resultado de una búsqueda de información donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Consta de un rango de 8000-12000 palabras y de 60 -80 referencias bibliográficas.

Reporte de caso

Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Consta de mínimo 2000 palabras y mínimo 20 referencias bibliográficas.

Los trabajos deben ser inéditos y sometidos exclusivamente a consideración de Magna Scientia UCEVA, se exceptúa la reproducción, con permiso del autor o editor, de artículos de especial interés en repositorios pre-print oficiales.

Contenido

Editorial

- Un nuevo amanecer en la investigación _____ 158
Urriago Fontal, J. (Colombia)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a13>

Medicina

- Avoiding pitfalls in antibiotic therapy: the antibiotic stewardship approach _____ 162
Huppertz-Thyssen, MH, Rodríguez Saavedra, C. (Alemania)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a1>
- Choledochal cyst with prenatal diagnosis and postnatal management: A case report _____ 170
Medina Torres, LA, Hincapié Álvarez, J. (Cuba)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a2>
- Imágenes de inervación miocárdica: MIBG en práctica clínica _____ 177
Aimo A, Gimelli A. (Italia)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a3>
- Determinación del sitio de descarga anormal inicial en la epilepsia del lóbulo temporal mediante EEG combinado y neuroimagen. ¿Qué sigue? _____ 191
Rentería Palomo AA, Montes Ochoa JL, Martínez Mayorga A, Reyes Vaca JG, Rodríguez Leiva I. (México)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a4>

Bioquímica, Genética y Biología Molecular

- Fundamentos de la epidemiología genómica, lecciones aprendidas de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) y nuevas direcciones _____ 197
Machado DJ, Allen White III, R, Kofsky J, Janies DA. (Estados Unidos)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a5>

Ciencias Ambientales

- Implications of EU environmental policies on agriculture in Europe and beyond _____ 214
Tack J. (Bélgica)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a6>

Contenido

Ciencias Ambientales

Enfoques de sistemas socioecológicos, esenciales para comprender y responder a los impactos complejos de COVID-19 en las personas y el medio ambiente _____ 218
Kadykalo AN, Beaudoin C, Hackenburg DM, Young N, Cooke SJ. (Canadá)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a7>

Ciencias Biológicas y Agrícolas

Diversidad y conocimiento de plantas utilizadas por agricultores en Cacoal (Amazonía Brasileña) _____ 231
Caetano Nunes DG, Rodrigues de Almeida E, Chávez Servia JL, Otero Ospina JT. (Brasil)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a8>

Rondoniense flora species potentially active to control parasites in *Colossoma macropomum* Cuvier _____ 244
de Oliveira WI, Oliveira Queiróz E, Cuevas Ferreira E, Oliveira Menezes de Sá HA, Paiva Medeiros S, Caetano Nunes Pazdiora, BR. (Brasil)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a9>

Manejo tradicional de enfermedades del agroecosistema chayote (*Sechium edule* Jacq. Sw.) de traspatio en Chiapas, México _____ 252
Soma Álvarez LA, López Robles LE, Guevara Hernández, F. (México)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a10>

Aplicación de internet de las cosas (IoT) para entornos de invernadero optimizados _____ 260
Maraveas C, Bartzanas T. (Grecia)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a11>

Phytochemical prospecting and cytotoxicity assays of potential bioproducts to control parasites in *Colossoma macropomum* Cuvier _____ 276
Eloy Silva E, Vieira Alves Amaral R, de Souza Tomicha WC, Bastos de Souza RH, Dirceu Pazdiora R, Caetano, CM. (Brasil)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a12>

Editorial

Un nuevo amanecer en la investigación

A new dawn for research

Juan Carlos Urriago Fontal, PhD. 

Apreciados lectores y lectoras, es un honor y un placer para nosotros darles la bienvenida a la segunda edición de Magna Scientia UCEVA, la revista de investigación de la Unidad Central del Valle del Cauca - UCEVA. Este es un momento especial en nuestra institución, ya que nuestra revista se encuentra en camino hacia su primera indexación, lo que representa un logro significativo en el panorama de la investigación académica.

Magna Scientia UCEVA es mucho más que una revista científica; es un reflejo del compromiso de nuestra institución con la excelencia académica, la innovación y el avance del conocimiento. Desde su lanzamiento, esta revista ha sido una plataforma dedicada a la difusión de investigaciones originales y de calidad en una amplia gama de disciplinas académicas. Nuestro compromiso no se detiene aquí. Queremos instar a todos los investigadores y colaboradores a unirse a nosotros en este emocionante viaje. La indexación es un paso fundamental para dar visibilidad a nuestras investigaciones, pero depende en gran medida de la colaboración de la comunidad académica.

La segunda edición del volumen dos correspondiente al año 2022 se inicia con una contribución significativa de dos investigadores con una amplia experiencia en el ámbito médico, Markus Huppertz-Thyssen y Carolina Rodríguez Saavedra, una investigación realizada en Alemania, al interior de las instalaciones del Hospital St. Augustinus Krankenhaus gGmbH Renkerstr en Düren, Alemania; donde pusieron en evidencia la fuerte correlación que suele manifestarse entre el uso excesivo de antibióticos y la creciente resistencia mundial, pero también vincula los efectos secundarios individuales, y abre inexorablemente la puerta a un enfoque más personalizado de las terapias antiinfecciosas. La resistencia a los antibióticos es un desafío de salud pública mundial y las agencias nacionales de atención médica, los gobiernos, las sociedades médicas y la Organización Mundial de la Salud (OMS) la reconocen como una amenaza mundial para la salud humana.

Dear readers, it is an honour and a pleasure for us to welcome you to the second issue of Magna Scientia UCEVA, the research journal of the Unidad Central del Valle del Cauca - UCEVA. This is a special moment in our institution, as our journal is on its way to being indexed for the first time, which is a significant achievement in the academic research landscape.

Magna Scientia UCEVA is much more than a scientific journal; it reflects our institution's commitment to academic excellence, innovation and the advancement of knowledge. Since its inception, this journal has been a platform dedicated to the dissemination of original, high quality research across a wide range of academic disciplines. Our commitment does not end here. We invite all researchers and contributors to join us on this exciting journey. Indexing is a fundamental step in giving visibility to our research, but it relies heavily on the collaboration of the academic community.

The second edition of Volume 2 for the year 2022 opens with a major contribution from two researchers with extensive experience in the medical field, Markus Huppertz-Thyssen and Carolina Rodríguez Saavedra, an investigation conducted in Germany, within the facilities of the St. Augustinus Krankenhaus gGmbH Renkerstr Hospital in Düren, where they highlighted the strong correlation that often exists between the overuse of antibiotics and increasing global resistance. They highlighted the strong correlation that often exists between the overuse of antibiotics and increasing global resistance, but also links individual side effects and inexorably opens the door to a more personalised approach to anti-infective therapies. Antimicrobial resistance is a global public health challenge and is recognised as a global threat to human health by national health authorities, governments, medical societies and the World Health Organization (WHO).

Posteriormente, el reporte de caso titulado: "Choledochal cyst with prenatal diagnosis and postnatal management: A case report", relata el caso de una recién nacida de sexo femenino cuya madre, de 22 años y primípara, no tiene antecedentes personales ni familiares relevantes. El quiste de colédoco, una rara malformación de las vías biliares, se presenta en esta paciente desde su nacimiento. Aunque este tipo de malformación generalmente se diagnostica en la infancia temprana, puede manifestarse en cualquier etapa de la vida. Esta investigación se llevó a cabo en la Clínica MariAngel-Dumian, ubicada en la ciudad de Tuluá, en el Valle del Cauca, donde se edita la presente revista.

La tercera contribución de esta edición proviene de Italia, un artículo de revisión que aborda las principales aplicaciones de MIBG y SPECT para imágenes simpáticas cardíacas, argumentando que una de las posibles causas por las que las imágenes cardíacas MIBG, no han sido ampliamente adoptadas en la práctica clínica, incluso para la caracterización de los pacientes con IC, es el hecho de que los protocolos de adquisición siguen siendo bastante heterogéneos en términos de dosis del trazador, el tiempo de adquisición, el trazado del ROI y el uso de colimadores LE en lugar de ME, a pesar de diversas propuestas actuales de estandarización.

Acto seguido, la investigación original titulada: "Determinación del sitio de descarga anormal inicial en la epilepsia del lóbulo temporal mediante EEG combinado y neuroimagen. ¿Qué sigue?", proveniente de México, el objetivo fue determinar la relación entre la atrofia del hipocampo y la severidad de la epilepsia en pacientes con epilepsia del lóbulo temporal (ELT) como primer paso para evaluar la posibilidad de cirugía para la epilepsia y analizar por qué los pacientes no pueden operarse de la epilepsia. Se realizó RM volumétrica del hipocampo en 51 pacientes consecutivos (29 hombres; edad media 40) con ELT. El diagnóstico de ELT, la lateralización y la gravedad (leve, moderada, grave) de las convulsiones se basaron en una evaluación integral que incluyó examen neurológico y EEG en todos los pacientes.

La quinta contribución se titula: "Fundamentos de la epidemiología genómica, lecciones aprendidas de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) y nuevas direcciones", proviene de la Universidad North

Subsequently, the case report entitled "Choledochal cyst with antenatal diagnosis and postnatal management: A case report", describes the case of a female newborn whose mother, 22 years old and primiparous, had no relevant personal or family history. The patient has had a common bile duct cyst, a rare malformation of the bile ducts, since birth. Although this type of malformation is usually diagnosed in early childhood, it can manifest itself at any stage of life. This study was conducted at the Mari Angel Dumian Hospital, located in the city of Tuluá, Valle del Cauca, where this journal is produced.

The third contribution in this issue comes from Italy, a review article discussing the main applications of MIBG and SPECT for cardiac sympathetic imaging, arguing that one of the possible reasons why MIBG cardiac imaging has not been widely adopted in clinical practice, even for the characterisation of HF patients, is the fact that acquisition protocols remain rather heterogeneous in terms of tracer dose, acquisition time, ROI tracing and the use of ROI. One of the possible reasons why MIBG cardiac imaging has not been widely adopted in clinical practice, even for the characterisation of HF patients, is the fact that acquisition protocols remain rather heterogeneous in terms of tracer dose, acquisition time, ROI tracing and the use of LE rather than ME collimators, despite several current proposals for standardisation.

Next, the original study entitled "Determination of the initial abnormal discharge site in temporal lobe epilepsy by combined EEG and neuroimaging. What next?", from Mexico, aimed to determine the relationship between hippocampal atrophy and epilepsy severity in patients with temporal lobe epilepsy (TLE), as a first step in evaluating the possibility of epilepsy surgery and analysing why patients cannot undergo epilepsy surgery. Volumetric hippocampal MRI was performed in 51 consecutive patients (29 males; mean age 40 years) with TLE. The diagnosis of TLE, lateralisation and seizure severity (mild, moderate, severe) were based on a comprehensive evaluation including neurological examination and EEG in all patients.

The fifth paper is entitled: "Fundamentals of genomic epidemiology, lessons learned from coronavirus disease (COVID-19) and new directions", from the North University Charlotte

Charlotte, EEUU en la que se insta prestar atención a la advertencia de que patógenos con fenotipos de enfermedad más graves que el SARS-CoV-2 podrían dar lugar a una pandemia mucho más devastadora.

La sesión de Ciencias Ambientales toma su lugar con el investigador belga Jurgen Tack adscrito a la European Landowners Organization (ELO), Bruselas-Bélgica, presenta una reflexión en torno a las diversas iniciativas políticas para combatir el cambio climático y la pérdida de biodiversidad con impacto directo en la agricultura. Para los agricultores, la Comisión Europea está impulsando un instrumento llamado OECM, otra de las medidas efectivas de conservación basadas en la conservación de áreas (OECM, por sus siglas en inglés) son un nuevo enfoque de conservación, separado de las áreas protegidas, donde la conservación se logra principalmente como un subproducto de otra gestión.

Complementariamente en la misma sesión, investigadores del Departamento de Biología e Instituto de Ciencias Ambientales e Interdisciplinarias de la Universidad de Carleton, Ottawa, Ontario, Canadá, presentan la contribución titulada: “Enfoques de sistemas socioecológicos, esenciales para comprender y responder a los impactos complejos de COVID-19 en las personas y el medio ambiente” pone en evidencia que la lección más importante puede ser la más simple: “La relación entre las personas y la naturaleza debe ser de interdependencia, de lo contrario corremos el riesgo de pasar por alto algo que los pueblos indígenas han sabido siempre: que somos naturaleza y la naturaleza somos nosotros y fallar en ver esta simple verdad es lo que nos ha metido en este lío en primer lugar”.

La sesión final de la presente edición es Ciencias Biológicas y Agrícolas y se cimienta con cinco contribuciones, tres de ellas, provienen de la Amazonia brasilera, específicamente de Cacoal-Rondonia-Brasil, posteriormente, desde la Universidad Autónoma de Chiapas: Villaflores, Chiapas, México, los investigadores mexicanos presentan la contribución titulada: “Manejo tradicional de enfermedades del agroecosistema chayote (*Sechium edule* Jacq. Sw.) de traspatio en Chiapas, México, donde se identificaron y analizaron los criterios socio-agronómicos utilizados por los productores para el manejo y control tradicional de enfermedades en el chayote.

USA draw attention to the warning that pathogens with more severe disease phenotypes than SARS-CoV-2 could lead to a much more devastating pandemic.

In the Environmental Sciences session, Belgian researcher Jurgen Tack of the European Landowners Organisation (ELO), Brussels-Belgium, will present a reflection on the various policy initiatives to combat climate change and biodiversity loss with a direct impact on agriculture. For farmers, the European Commission is promoting an instrument called Other Effective Area Conservation Measures (OECM), a new approach to conservation that is separate from protected areas, where conservation is mainly achieved as a by-product of other management.

Complementing the same session, researchers from the Department of Biology and the Institute of Environmental and Interdisciplinary Sciences at Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada, presented a paper entitled "Social-ecological systems approaches, essential for understanding and responding to the complex impacts of COVID-19 on people and the environment", which highlighted that the most important lesson may be the simplest: "The relationship between people and nature must be one of interdependence, otherwise we risk overlooking something indigenous peoples have always known: that we are nature and nature is us, and the failure to see this simple truth is what got us into this mess in the first place”.

The last session of this issue is on Biological and Agricultural Sciences and is based on five contributions, three of which come from the Brazilian Amazon, specifically from Cacoal-Rondonia-Brazil. Later, from the Autonomous University of Chiapas: Villaflores, Chiapas, Mexico, Mexican researchers present the paper entitled "Traditional management of diseases in the chayote agroecosystem (*Sechium edule* Jacq. Sw.) in Chiapas, Mexico", in which the socio-agronomic criteria used by producers for traditional management and control of diseases in chayote were identified and analysed.

Desde Grecia, Chrysanthos Maraveas y Thomas Bartzanas, adscritos a la Universidad Agrícola de Atenas presentan su contribución denominada: "Aplicación de internet de las cosas (IoT) para entornos de invernadero optimizados", ellos exponen ejemplarmente que aunque se presentaron diversos desafíos y barreras para el despliegue de sensores y sistemas IoT e invernaderos inteligentes, el progreso en I+D se traduciría en la disponibilidad generalizada de sensores precisos y de bajo costo para el monitoreo del agua, la nutrición del suelo, la temperatura y la humedad. La perspectiva positiva está respaldada por el desarrollo del grafeno (un material con alta resistencia a la tracción, peso ligero, flexibilidad y compatibilidad ecológica), biosensores de ARNr de alta precisión y chips de microfluidos con fotoelectroquímica mejorada con nanocavidades.

Estamos decididos a convertir a Magna Scientia UCEVA en un faro de conocimiento y excelencia académica. Este es un llamado a la acción para todos nosotros, una invitación a ser parte activa de este emocionante viaje hacia la indexación y el reconocimiento internacional. Juntos, podemos lograrlo.

Agradecemos a todos nuestros autores, revisores y lectores por su continuo apoyo y compromiso con la investigación de calidad. Esperamos que disfruten de esta segunda edición y que nos acompañen en el emocionante futuro que se avecina.

From Greece, Chrysanthos Maraveas and Thomas Bartzanas from the Agricultural University of Athens present their paper entitled: "Application of the Internet of Things (IoT) for optimised greenhouse environments", in which they illustrate that although there are various challenges and barriers to the deployment of IoT sensors and systems and smart greenhouses, progress in R&D will lead to the widespread availability of accurate and low-cost sensors for monitoring water, soil nutrition, temperature and humidity. The positive outlook is supported by the development of graphene (a material with high tensile strength, light weight, flexibility and environmental friendliness), high-precision rRNA biosensors and microfluidic chips with nanocavity-enhanced photoelectrochemistry.

We are determined to make Magna Scientia UCEVA a beacon of knowledge and academic excellence. This is a call to action for all of us, an invitation to be an active part of this exciting journey towards indexing and international recognition. Together we can make it happen.

We thank all our authors, reviewers and readers for their continued support and commitment to quality research. We hope you enjoy this second edition and that you will join us in the exciting future that lies ahead.



Juan Carlos Urriago Fontal, PhD 

Rector Unidad Central del Valle del Cauca
Director de la revista Magna Scientia UCEVA



www.uceva.edu.co

Avoiding pitfalls in antibiotic therapy: the antibiotic stewardship approach

Enfoque de administración de antibióticos: Evitando las trampas en la terapia con antibióticos

Markus H. Huppertz-Thyssen*  and Carolina Rodríguez Saavedra 



Correspondence:
markus.huppertz@ct-west.de

St. Augustinus Krankenhaus
gGmbH Renkerstr. 45 52355
Düren, Deutschland

First draft submitted:
18-04-2022
Accepted for publication:
11-09-2022
Published on line:
01-12-2022

Key words:

ABS interventions; antibiotic policies; clinical practice; dosing regimen; ICU; Multi Drug Resistance (MDR); severe side effects.

Palabras clave:

Intervenciones ABS; políticas de antibióticos; práctica clínica; régimen de dosificación; Resistencia a múltiples fármacos (RMF); UCI.

Citation:

Huppertz Thyssen M.H. Rodríguez Saavedra C. Avoiding pitfalls in antibiotic therapy: the antibiotic stewardship approach. *Magna Scientia UCEVA* 2022; 2:2 162-156.
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a1>

Abstract

The aim of this reflection is to determine the effectiveness and safety of ABS interventions. A strong correlation between antibiotic overuse and the growing worldwide resistance, but also with individual side effects is well established and should open the door to a more personalized approach to anti-infective therapies. Antibiotic resistance is a global public health challenge and is recognized as a global threat to human health by national healthcare agencies, governments, medical societies and the World Health Organization (WHO). The anticipated clinical scenario of Pan- Drug – Resistant (PDR) bacteria is accelerated by antibiotic overuse. In fact, multi- drug – resistance (MDR) is already the cause of severe infections, complications, longer hospital stay and increased mortality in most of the countries. Herein, the techniques of an Antibiotic Stewardship Approach and their stepwise implementation are summarized and highlighted. There is often a general lack of understanding on how to choose the right antibiotic at the right time and in the right dose. This article discusses general principles like the best choice and use of different antibiotic classes, a better use of beta- lactams according to principles of pharmacokinetics, avoidance or limitation of unnecessary combination therapies, shorter courses of therapy without any disadvantage in infection control and the value of PCT monitoring. We hope to contribute to the promotion and implementation of these important therapeutic principles, aiming at the reduction of unnecessary or wrong antibiotic therapies and, so, at the decrease of side effects, mortality and further resistance.

Resumen

El objetivo de esta reflexión es determinar la efectividad y seguridad de las intervenciones ABS. Está bien establecida una fuerte correlación entre el uso excesivo de antibióticos y la creciente resistencia mundial, pero también con los efectos secundarios individuales, y debería abrir la puerta a un enfoque más personalizado de las terapias antiinfecciosas. La resistencia a los antibióticos es un desafío de salud pública mundial y las agencias nacionales de atención médica, los gobiernos, las sociedades médicas y la Organización Mundial de la Salud (OMS) la reconocen como una amenaza mundial para la salud humana. El escenario clínico anticipado de bacterias Pan-Resistentes a Medicamentos (PDR) se acelera por el uso excesivo de antibióticos. De hecho, la multiresistencia (MDR) ya es causa de infecciones graves, complicaciones, estancias hospitalarias más prolongadas y aumento de la mortalidad en la mayoría de los países. En este documento, se resumen y destacan las técnicas de un enfoque de administración de antibióticos y su implementación gradual. A menudo hay una falta general de comprensión sobre cómo elegir el antibiótico correcto en el momento correcto y en la dosis correcta. Este artículo discute principios generales como la mejor elección y uso de diferentes clases de antibióticos, un mejor uso de betalactámicos de acuerdo con los principios de farmacocinética, evitar o limitar terapias combinadas innecesarias, ciclos de terapia más cortos sin ninguna desventaja en el control de infecciones y el valor de seguimiento del PCT. Esperamos contribuir a la promoción e implementación de estos importantes principios terapéuticos, con el objetivo de reducir las terapias antibióticas innecesarias o incorrectas y, por lo tanto, la disminución de los efectos secundarios, la mortalidad y la resistencia adicional.



Copyright: ©2022 for the authors. This article is open access distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-No Derivatives International License 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0)<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Introduction

Worldwide, increasing resistance against antibiotics is a big clinical issue in our daily work, especially in the ICU. Multi Drug Resistance is not limited to India and the Middle East anymore, but it is emerging in Europe, especially in south-eastern countries. There is not only a problem of Multi- Drug - Resistant (MDR) bacteria with Extended- Spectrum- Beta- Lactamases (ESBL) but meanwhile of Extended- Drug -Resistant Bacteria (XDR) with carbapenemases – up to 66.9% of infection isolates in Greece. [1] Pan-Drug-Resistant- Bacteria (PDR) with resistance against any known antibiotic exist [2]. This development had already been foreseen by Sir Alexander Fleming in 1945 [3]. The fact that there has been very little development of antibiotics with new mechanisms of action due to a lack of economic incentives during the last 15 years, worsens the situation.

Antibiotic stewardship

A strong correlation between antibiotic overuse and the growing resistance is well established, in accordance with the saying “the more you use it, the quicker you lose it.” As 2/3 of nosocomial infections are endogenous, we select MDR/XDR bacteria by antibiotics and spread it on other patients by a lack of hand hygiene. With the rise of Carbapenem- Resistant Enterobacteriaceae, the increasing use of second- line treatment options will induce new resistances. International and German studies show that 20- 50% of antibiotic therapies in hospitals are inappropriate. In up to 20% of antibiotic therapies severe side effects like Clostridium difficile infections (CDI) occur [4,5].

To impede the spread of resistance, many interventions were started in the past 10 years, summarized as “Antibiotic Stewardship Programs.” ABS aim to “preserve the miracle of antibiotics”[6], reduce the side effects of antibiotic therapies, as well as morbidity and mortality, shorten antibiotic therapies, hospital stay and minimize costs. The figure 1 shows the plainest definition of this approach.

General structures and interventions of Antibiotic Stewardship (ABS)

To reach its goals, ABS implements structures and interventions summarized by the keywords: research; education and enablement; restriction and pre-approval (antibiotic policies, SOPs); surveillance.

Between 2007 and 2018, several editorials and guidelines have been published [7-11].



Figure 1 Antibiotic stewardship approach

Select a team

ABS expert, physician, clinical pharmacist, clinical microbiologist, approval and support of hospital administration, go to the bedside, perform multidisciplinary rounds and councils.

Obtain baseline information on antimicrobial use

Consider the following baselines: *i*) institutional pathogen spectrum and *ii*) institutional susceptibilities.

Density of use

Monitor RDD (Recommended Daily Doses)/100 patient days.

Implementation of antibiotic prescribing policies

Standard operating procedures for the environment, according to the specific pathogen spectrum and susceptibilities. Implement standard length of therapy and write down the stop date when start the process implementation.

Restriction and pre-approval; Monitoring

Adherence to SOP (Point Prevalence Analysis).

Audit and feedback; Education/ Enablement

Appropriate use.

ABS time out on day 3

Stop? Change? Continue? How long? Cultures?

De-escalation

Clinical improvement/ results of culture.

Surveillance of nosocomial infections, benchmarking of NI and density of antibiotic use

Consider to carry out the benchmarking with comparable hospitals (national programs). It is of special interest to initiate an ABS approach in the ICU due to the high density of antibiotic use. Detailed descriptions of ABS implementation in the ICU have been published [12-14].

Implementing an antibiotic stewardship program is effective and save

A meta- analysis of 32 trials investigating the effect of antibiotic stewardship, shows a significant reduction of MDR gram-negative bacteria, MRSA und CDI [15]. Thus, there is evidence for decision makers that the implementation of ABS interventions reduces the medical and economic burden of infections with antibiotic-resistant bacteria and CDI in hospital inpatients. In a 2017 Cochrane database review of 58 RCTs and 163 NRS, the authors found an increasing compliance to prescribing policies, a decreasing of unnecessary antibiotic use, a shorter duration of treatment (-1.95 d in 14 RCT), a reduced length of hospital stay (-1.12 d in 15 RCT) and reduced incidences of CDI, MRSA, MDR gram-negatives. All these findings were statistically significant. There is a high-quality evidence (28 RCT, 15827 patients) that implementing the aforementioned interventions will reduce antibiotic use without adversely affecting mortality [16].

The ABS approach in daily routine. Pitfalls to avoid

No prolonged perioperative prophylaxis

Perioperative antibiotic prophylaxis (POP) is always “single shot only”. Some (low- quality) evidence suggesting benefits of a prolonged POP exists only in

cardiac surgery. For any other clean or clean-contaminated procedure there is evidence and the firm recommendation not to give additional prophylactic antimicrobial doses after closing the surgical incision, also if the patient has a drain in place [17]. Antibiotics should be given repeatedly only during surgery, in accordance with the duration of the procedure and the half-life- time of the substance. Broad- spectrum antibiotics should never be used for POP. Though this is clear and simple, we know it is one of most frequent inappropriate uses of antibiotics in clinical practice [4,5]. It is useful to implement a written policy (SOP) with the surgical partners and to monitor the adherence.

Time-dependence of beta- Lactams, prolonged infusions

The PK- PD issues are relevant for the clinical use of beta- lactams in critically ill patients. Efficacy is related to $fT > MIC$. 100% $fT > MIC$ of the dosage interval is the optimal exposure in critically ill patients [18]. Several meta-analyses between 2015-2018 have addressed the question whether the difference between classical bolus infusion, prolonged infusion (>3hrs) or continuous infusion is of clinical relevance. A recent high quality- evidence (22 RCT, 1876 patients) meta- analysis by Vardakas et al. [19] demonstrated that prolonged or continuous infusion of Piperacillin- Tazobactam and Meropenem provides significantly better survival than bolus infusions (RR 0.70; 95%CI 0.56- 0.87). For cephalosporins, statistical significance was not reached. There is no evidence whether prolonged or continuous infusion is better. The difference in survival was more significant in gram-negative than in gram-positive infections, in MDR than in highly susceptible bacteria and when APACHE score was > 22. Thus, for severe infections, low susceptibility and on the ICU, prolonged infusions of Pip-Taz and Meropenem after a loading bolus are recommended. The use of continuous infusions leads to problems of drug- stability and incompatibility. Therapeutic Drug Monitoring (TDM) should be available as you risk the antibiotic serum level being lower than MIC all the time ($fT > MIC=0$) (see figure 2).

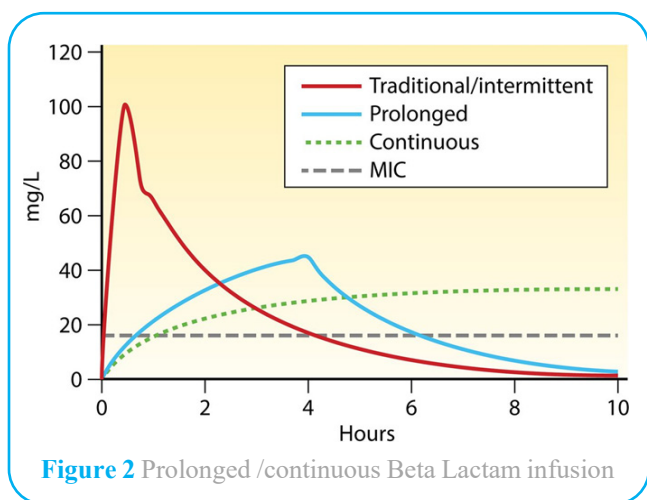


Figure 2 Prolonged /continuous Beta Lactam infusion

Individualized dosing may be the key in the critically ill: TDM

It has been shown that critically ill patients may suffer from inadequate antibiotic exposure because of physiological changes as altered fluid status, augmented renal clearance, extracorporeal circulation, and impaired renal / hepatic function [20]. The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing has recently (1.1.2019) changed its definition of “I” in the antibiogram from “intermediary” to “susceptible, increased exposure”. These theoretical approaches are relevant to the problem of “hit hard” and “get to the point” of antibiotic therapy. TDM is well established for Vancomycin (AUC/MIC is decisive) and aminoglycosides (C_{max}/MIC is decisive), with measurement of through- and peak- levels to establish low toxicity and efficacy, but not yet extensively available for Pip-Taz and Meropenem. Yet, it may be useful in the critically ill or in morbidly obese patients [21, 22] (see figure 3).

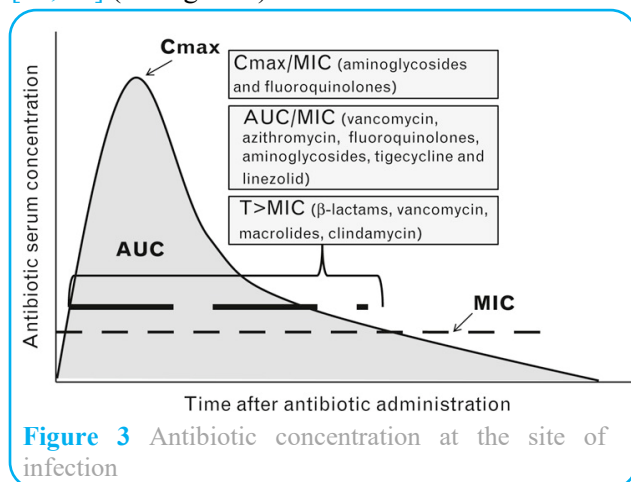


Figure 3 Antibiotic concentration at the site of infection

From figure 3, can be noted that a microorganism is categorized as “susceptible, increased exposure” when there is a high likelihood of therapeutic success due to an increasing agent exposure by adjusting the dosing regimen or by its concentration at the site of infection.

The role of fluoroquinolones (FQ)

As FQ have a big intracellular volume of distribution they are less susceptible to ICU- related changes in the volume of distribution than the hydrophilic beta-lactams. This seems ideal to address the aforementioned problems. But FQ are clearly related to the increasing incidence of MRSA and ESBL, as they are excreted with the sweat on the skin and contribute to inducing bacterial resistance. Furthermore, Ciprofloxacin shows low activity against *S. aureus* and there is an increasing resistance of *E. coli* in Europe (ECDC). Finally, many warnings about side effects have been issued between 2016 and 2018, so that they may no longer be considered as first choice substances [23-26].

Class 3 cephalosporins and the correlation to CDI and ESBL incidence

In many countries Ceftriaxone is used as first-line therapy for moderate-severe CAP despite its poor activity against *S. aureus*. The density of use of class 3 cephalosporins correlates strongly with the incidence of ESBL and CDI. There is recent evidence that this might be an explicit problem of Ceftriaxone because of a 50% not-metabolized hepatobiliary excretion with very high bowel concentrations. This leads to selection of resistant bacteria. Cefotaxime proved to be better in a clinical trial [27] and in microbial research [28] and may also be preferable with respect to the afore-mentioned problems of individual dosing range and $fT > MIC$ (3x1g -6x 2g/d).

Shorten antibiotic therapy courses

A lot of high-quality evidence demonstrates that shortening antibiotic therapy courses is a safe and useful ABS intervention, even in gram negative sepsis [29-33]. Nevertheless, there are exceptions like osteomyelitis, spondylodiscitis, endocarditis or *S. aureus* bacteremia (see table 1).

Table 1 Infections for which short course therapy has been shown to be equivalent in efficacy to longer therapy

Disease	Treatment, Days	
	Short	Long
Community acquire pneumonia	3-5	7-10
Nosocomial pneumonia	≤ 8	10-15
Pyelonephritis	5-7	10-14
Intraabdominal infection	4	10
Acute exacerbation of chronic bronchitis and COPD	≤ 5	≥ 7
Acute bacterial sinusitis	5	10
Cellulitis	5-6	10
Chronic osteomyelitis	42	84

Combination treatment: De-escalate

Even the 2016 surviving sepsis campaign guidelines [34] state early narrowing of antibiotic therapy, once the patient improves or the pathogen is identified. A prospective observational study [35] and a systematic review of 2 RCT and 12 cohort studies [36] found that de-escalation of empirical therapy in the ICU leads to lower mortality and was a protective intervention. Even in uncomplicated *S. aureus* bacteremia (MSSA and MRSA) the ARREST trial [37] did not detect any benefit (but more adverse effects) of adjunctive rifampicin, as long as there was no non-removable foreign body with the risk of biofilm. Investigating bloodstream infections with carbapenemase-producing Enterobacteriaceae the increment (retrospective cohort) study suggest that only critically ill patients with a high mortality score enjoyed improved survival from combination therapy [38].

PCT

Subject to controversial data and discussions for many years, PCT is no “magic bullet”. But there is recent evidence from a meta-analysis (26 RCT, 3336 patients PCT guided therapy, 3372 patients control), that PCT-guidance may not only be safe to shorten antibiotic therapies in critically ill patients [39], but currently decreases mortality rate [40]. The current Surviving Sepsis Guidelines (2021) recommends PCT for the indication of antibiotic therapy guidance, along with clinical signs, but not for the diagnosis of sepsis/septic shock [41].

Conclusion

An Antibiotic Stewardship Approach is mandatory to maintain antibiotic effectiveness and to face the worldwide increasing multi-drug resistance of bacteria. In this reflection, we highlighted the evidence that ABS interventions are safe, useful and effective. In order to deal adequately with the scenario, it is necessary to create an interdisciplinary team, to consent and implement local guidelines and to perform surveillance, audits and feedback. Implement an antibiotic time out on day 3 for any therapy and define the length of therapy right from the start. It is highly recommended to use penicillin-derivates first line, but for example, in *Pseudomonas* infections, BLI is not always necessary. Avoid carbapenems whenever possible to prevent the further spread of capapenemases. The use of FQ should be second line only due to extensive increase in CDI and ESBL as well as several warnings and restrictions. With regard to CDI cefotaxime might be better than ceftriaxone due to different excretion kinetics. To improve pharmacokinetics (get to the point) there is sufficient evidence to use prolonged infusions for piperacillin-tazobactam and meropenem. therapeutic drug monitoring (TDM) is mandatory for vacomycin and aminoglykosides and may be useful for β-Lactams in selected critically ill patients. De-escalate as soon as possible according to microbiological results and clinical improvement. Combination therapy should be performed only in septic shock and under special conditions and should not be a routine approach. It is safe to shorten antibiotic therapies for nearly all indications. Finally, PCT guidance can safely shorten antibiotic therapies and even reduce side effects and mortality.

Consent for publication

The authors read and approved the final manuscript.

Competing interest

The authors declare no conflict of interest. This document only reflects their point of views and not that of the institution to which they belong.

Author details

Markus H. Huppertz-Thyssen

Dr.med. MHBA, DESAIC. Antibiotic Stewardship Expert at St. Augustinus Krankenhaus Düren Specialist for Anaesthesiology, Intensive Care Medicine, Emergency Medicine and Palliative Care. Subspecialisations in Hospital Hygiene, Transfusion Medicine, Regional Anaesthesia and Pain Therapy Director of the Department of Anaesthesiology, Intensive Care, Emergency Care and perioperative Pain Therapy and Deputy Medical Director of the Hospital St. Augustinus Krankenhaus Düren, Germany since 2017. Deputy Director of Anaesthesiology & Intensive Care Medicine Klinikum Vest Recklinghausen (Prof. Dr. H.G. Bone) 2016-17 Specialist at the University Hospital of Münster (Prof. Dr. H. Van Aken FRCA, FANZA) 2015. Deputy Director of Anaesthesiology & Intensive Care Medicine St. Marien Hospital Düren (Dr. R. Terhorst DEAA) 2004-2014.



Carolina Rodriguez Saavedra

Medical Anesthesiologist in various High Complexity and technology hospitals in Germany. Medicine studies at the University of Valle del Cauca in Colombia South America. Postgraduate Training as a specialist in Anesthesiology intensive care pain medicine and palliative care.



Medical Anesthesiologist in various High Complexity and technology hospitals in Germany. Medicine studies at the University of Valle del Cauca in Colombia South America. Postgraduate Training as a specialist in Anesthesiology intensive care pain medicine and palliative care. Surgery, Orthopedics and Traumatology at Tomás Uribe Uribe Emergency Physician at Hospital Ulpiano Tascan Quintero, Tomás Uribe Uribe, Rubén Cruz Vélez E.S.E. Assistant doctor at the Hospital Tomás Uribe Uribe. Recognition of the title of General Physician in Spain. Emergency Medicine Work Hospitalization and Intensive Care in Zafra Extremadura Spain from 2010 to 2012.

References

- [1] ECDC- European Centre for Disease Prevention and Control. Surveillance of antimicrobial resistance in Europe 2017. Annual report of the European Antimicrobial Resistance Surveillance Network (EARS-Net). Stockholm: 2018. https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/AMR%202017_Cover%2BInner-web_v3.pdf
- [2] Falagas ME, Karageorgopoulos DE. Pandrug Resistance (PDR), Extensive Drug Resistance (XDR), and Multidrug Resistance (MDR) among Gram-Negative Bacilli: Need for International Harmonization in Terminology. *Clinical Infectious Diseases* 2008;46:1121–2. <https://doi.org/10.1086/528867>
- [3] The New York Times. Penicillin's finder assays its future; Sir Alexander Fleming Says Improved Dosage Method Is Needed to Extend Use Other Scientists Praised Self-Medication Decried 1945:21. <https://www.nytimes.com/1945/06/26/archives/penicillins-finder-assays-its-future-sir-alexander-fleming-says.html>
- [4] Khanna S, Pardi DS. Clostridium difficile infection: management strategies for a difficult disease. *Therap Adv Gastroenterol* 2014;7:72–86. <https://doi.org/10.1177/1756283X13508519>
- [5] Davey P, Brown E, Fenelon L, Finch R, Gould I, Hartman G, et al. Interventions to improve antibiotic prescribing practices for hospital inpatients. In: Davey P, editor. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2005. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003543.pub2>
- [6] Aslam B, Wang W, Arshad MI, Khurshid M, Muzammil S, Rasool MH, et al. Antibiotic resistance: a rundown of a global crisis. *Infect Drug Resist* 2018;Volume 11:1645–58. <https://doi.org/10.2147/IDR.S173867>
- [7] Dellit TH, Owens RC, McGowan JE, Gerding DN, Weinstein RA, Burke JP, et al. Infectious Diseases Society of America and the Society for Healthcare Epidemiology of America Guidelines for Developing an Institutional Program to Enhance Antimicrobial Stewardship. *Clinical Infectious Diseases* 2007;44:159–77. <https://doi.org/10.1086/510393>
- [8] Kollef MH, Micek ST. Antimicrobial stewardship programs: mandatory for all ICUs. *Crit Care* 2012;16:179. <https://doi.org/10.1186/cc11853>
- [9] Bartlett JG, Gilbert DN, Spellberg B. Seven Ways to Preserve the Miracle of Antibiotics. *Clinical Infectious Diseases* 2013;56:1445–50. <https://doi.org/10.1093/cid/cit070>
- [10] AWMF. S3- Leitlinie Strategien zur Sicherung rationaler Antibiotika-Anwendung im Krankenhaus. 2018. https://www.antibiotic-stewardship.de/fileadmin/media/initiative/Langfassung_der_Leitlinie_Strategien_zur_Sicherung_rationaler_Antibiotika-Anwendung_im_Krankenhaus.pdf
- [11] Bodmann K, Grabein B, Kresken M. Kalkulierte parenterale initialtherapie bakterieller erkrankungen bei erwachsenen – update 2018. 2018. <https://www.p-e-g.org/files/content/Service/Empfehlungen-Leitlinien/PEG-S2k-Leitlinie-Update-2018.pdf>
- [12] Schouten J. Antimicrobial Stewardship in the ICU. *ICU Management & Practice* 2018;17:21–4. https://healthmanagement.org/uploads/article_attachment/icu-v17-schouten-antimicrobial.pdf

- [13] Luyt C-E, Bréchet N, Trouillet J-L, Chastre J. Antibiotic stewardship in the intensive care unit. *Crit Care* 2014;18:480. <https://doi.org/10.1186/s13054-014-0480-6>
- [14] Mutters NT, de Angelis G, Restuccia G, di Muzio F, Schouten J, Hulscher M, et al. Use of evidence-based recommendations in an antibiotic care bundle for the intensive care unit. *Int J Antimicrob Agents* 2018;51:65–70. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2017.06.020>
- [15] Baur D, Gladstone BP, Burkert F, Carrara E, Foschi F, Döbele S, et al. Effect of antibiotic stewardship on the incidence of infection and colonization with antibiotic-resistant bacteria and *Clostridium difficile* infection: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Infect Dis* 2017;17:990–1001. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30325-0](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30325-0)
- [16] Davey P, Marwick CA, Scott CL, Charani E, McNeil K, Brown E, et al. Interventions to improve antibiotic prescribing practices for hospital inpatients. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2017;2017. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003543.pub4>
- [17] Berríos-Torres SI, Umscheid CA, Bratzler DW, Leas B, Stone EC, Kelz RR, et al. Centers for Disease Control and Prevention Guideline for the Prevention of Surgical Site Infection, 2017. *JAMA Surg* 2017;152:784. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2017.0904>
- [18] Veiga RP, Paiva J-A. Pharmacokinetics–pharmacodynamics issues relevant for the clinical use of beta-lactam antibiotics in critically ill patients. *Crit Care* 2018;22:233. <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2155-1>
- [19] Vardakas KZ, Voulgaris GL, Maliaros A, Samonis G, Falagas ME. Prolonged versus short-term intravenous infusion of antipseudomonal β -lactams for patients with sepsis: a systematic review and meta-analysis of randomised trials. *Lancet Infect Dis* 2018;18:108–20. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30615-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30615-1)
- [20] Roberts JA, Abdul-Aziz MH, Lipman J, Mouton JW, Vinks AA, Felton TW, et al. Individualised antibiotic dosing for patients who are critically ill: challenges and potential solutions. *Lancet Infect Dis* 2014;14:498–509. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(14\)70036-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(14)70036-2)
- [21] Roberts JA, Joynt GM, Choi GYS, Gomersall CD, Lipman J. How to optimise antimicrobial prescriptions in the Intensive Care Unit: principles of individualised dosing using pharmacokinetics and pharmacodynamics. *Int J Antimicrob Agents* 2012;39:187–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2011.11.002>
- [22] Roberts JA, Paul SK, Akova M, Bassetti M, de Waele JJ, Dimopoulos G, et al. DALI: Defining Antibiotic Levels in Intensive Care Unit Patients: Are Current β -Lactam Antibiotic Doses Sufficient for Critically Ill Patients? *Clinical Infectious Diseases* 2014;58:1072–83. <https://doi.org/10.1093/cid/ciu027>
- [23] Pasternak B, Inghammar M, Svanström H. Fluoroquinolone use and risk of aortic aneurysm and dissection: nationwide cohort study. *BMJ* 2018;k678. <https://doi.org/10.1136/bmj.k678>
- [24] Food and Drug Administration Safety Announcement-FDA. FDA reinforces safety information about serious low blood sugar levels and mental health side effects with fluoroquinolone antibiotics; requires label changes. 2018. <https://www.fda.gov/drugs/drug-safety-and-availability/fda-reinforces-safety-information-about-serious-low-blood-sugar-levels-and-mental-health-side-effects#:~:text=Safety%20Announcement,certain%20mental%20health%20side%20effects>
- [25] Tandan M, Cormican M, Vellinga A. Adverse events of fluoroquinolones vs. other antimicrobials prescribed in primary care: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Antimicrob Agents* 2018;52:529–40. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.04.014>
- [26] Food and Drug Administration Safety Announcement-FDA. FDA Drug Safety Communication: FDA advises restricting fluoroquinolone antibiotic use for certain uncomplicated infections; warns about disabling side effects that can occur together. 2016. <https://www.fda.gov/drugs/drug-safety-and-availability/fda-drug-safety-communication-fda-advises-restricting-fluoroquinolone-antibiotic-use-certain>
- [27] Tan BK, Vivier E, Bouziad KA, Zahar J-R, Pommier C, Parmeland L, et al. A hospital-wide intervention replacing ceftriaxone with cefotaxime to reduce rate of healthcare-associated infections caused by extended-spectrum β -lactamase-producing Enterobacteriaceae in the intensive care unit. *Intensive Care Med* 2018;44:672–3. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5079-y>
- [28] Meletiadis J, Turlej-Rogacka A, Lerner A, Adler A, Tacconelli E, Mouton JW. Amplification of Antimicrobial Resistance in Gut Flora of Patients Treated with Ceftriaxone. *Antimicrob Agents Chemother* 2017;61. <https://doi.org/10.1128/AAC.00473-17>
- [29] Spellberg B. The New Antibiotic Mantra—“Shorter Is Better.” *JAMA Intern Med* 2016;176:1254. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2016.3646>
- [30] Sawyer RG, Claridge JA, Nathens AB, Rotstein OD, Duane TM, Evans HL, et al. Trial of Short-Course Antimicrobial Therapy for Intraabdominal Infection. *New England Journal of Medicine* 2015;372:1996–2005. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1411162>
- [31] Montravers P, Tubach F, Lescot T, Veber B, Esposito-Farèse M, Seguin P, et al. Short-course antibiotic therapy for critically ill patients treated for postoperative intra-abdominal infection: the DURAPOP randomised clinical trial. *Intensive Care Med* 2018;44:300–10. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5088-x>
- [32] Chotiprasitsakul D, Han JH, Cosgrove SE, Harris AD, Lautenbach E, Conley AT, et al. Comparing the Outcomes of Adults with Enterobacteriaceae Bacteremia Receiving Short-Course Versus Prolonged-Course Antibiotic Therapy in a Multicenter, Propensity Score-Matched Cohort. *Clinical Infectious Diseases* 2018;66:172–7. <https://doi.org/10.1093/cid/cix767>
- [33] Yahav D, Franceschini E, Koppel F, Turjeman A,

Babich T, Bitterman R, et al. Seven Versus 14 Days of Antibiotic Therapy for Uncomplicated Gram-negative Bacteremia: A Noninferiority Randomized Controlled Trial. *Clinical Infectious Diseases* 2019;69:1091–8. <https://doi.org/10.1093/cid/ciy1054>

[34] Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W, Levy MM, Antonelli M, Ferrer R, et al. Surviving Sepsis Campaign: International Guidelines for Management of Sepsis and Septic Shock: 2016. *Intensive Care Med* 2017;43:304–77. <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4683-6>

[35] Garnacho-Montero J, Gutiérrez-Pizarra A, Escoreca-Ortega A, Corcia-Palomo Y, Fernández-Delgado E, Herrera-Melero I, et al. De-escalation of empirical therapy is associated with lower mortality in patients with severe sepsis and septic shock. *Intensive Care Med* 2014;40:32–40. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-3077-7>

[36] Tabah A, Cotta MO, Garnacho-Montero J, Schouten J, Roberts JA, Lipman J, et al. A Systematic Review of the Definitions, Determinants, and Clinical Outcomes of Antimicrobial De-escalation in the Intensive Care Unit. *Clinical Infectious Diseases* 2016;62:1009–17. <https://doi.org/10.1093/cid/civ1199>

[37] Thwaites GE, Scarborough M, Szubert A, Nsutebu E, Tilley R, Greig J, et al. Adjunctive rifampicin for *Staphylococcus aureus* bacteraemia (ARREST): a multicentre, randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *The Lancet* 2018;391:668–78. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32456-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32456-X)

[38] Gutiérrez-Gutiérrez B, Salamanca E, de Cueto M, Hsueh P-R, Viale P, Paño-Pardo JR, et al. Effect of appropriate combination therapy on mortality of patients with bloodstream infections due to carbapenemase-producing Enterobacteriaceae (INCREMENT): a retrospective cohort study. *Lancet Infect Dis* 2017;17:726–34. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30228-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30228-1)

[39] de Jong E, van Oers JA, Beishuizen A, Vos P, Vermeijden WJ, Haas LE, et al. Efficacy and safety of procalcitonin guidance in reducing the duration of antibiotic treatment in critically ill patients: a randomized, controlled, open-label trial. *Lancet Infect Dis* 2016;16:819–27. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)00053-0)

[40] Schuetz P, Wirz Y, Sager R, Christ-Crain M, Stolz D, Tamm M, et al. Effect of procalcitonin-guided antibiotic treatment on mortality in acute respiratory infections: a patient level meta-analysis. *Lancet Infect Dis* 2018;18:95–107. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30592-3](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30592-3)

[41] SCCM-Society of Critical Care Medicine. Surviving Sepsis Campaign Guidelines 2021. <https://www.sccm.org/Clinical-Resources/Guidelines/Guidelines/Surviving-Sepsis-Guidelines-2021>

Choledochal cyst with prenatal diagnosis and postnatal management: A case report

Quiste de colédoco con diagnóstico prenatal y manejo postnatal: un reporte de caso

Lisbeth Andreina Medina Torres*  and Jeisson Hincapié Álvarez 

Open Access

Correspondence:
lisbethandreinatorres24@gmail.com
Mariangel Clinic. Dumian Medical
Tulua-Valle del Cauca, Colombia.

First draft submitted:
20-05-2022
Accepted for publication:
13-10-2022
Published on line:
01-12-2022

Key words:

Biliary atresia; Biliary cystic malformation; Choledochal cyst; Prenatal diagnosis; neonate; rare malformations.

Palabras clave:

Atresia biliar; diagnóstico prenatal; malformación quística biliar; malformaciones infrecuentes; neonato; quiste colédoco.

Citation:

Medina Torres L, Hincapié Álvarez J. Choledochal cyst with prenatal diagnosis and postnatal management. *Magna Scientia UCEVA* 2022; 2:2 170-176.
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a2>

Abstract

Cystic dilatation of the bile duct is part of a wide spectrum of biliary pathology with different etiopathogenic mechanisms. Choledochal cysts are rare malformations of the bile ducts. It is diagnosed in most cases during early childhood, although it can present at any age of life. The clinical presentation is variable and can be manifested by abdominal pain, palpable mass, cholestatic jaundice or by symptoms linked to the development of some of its complications: pancreatitis, cholangitis or rupture. The diagnosis is made through abdominal ultrasound and is completed with a magnetic cholangiography the recommended treatment is complete surgical resection that prevents the appearance of complications. A case of ultrasound prenatal diagnosis presented at 29 weeks of gestation along with its evolution, management and postnatal treatment, it is also the first case in this health center located in Valle del Cauca.

Resumen

La dilatación quística de la vía biliar forma parte de un amplio espectro de patología biliar con diferentes mecanismos etiopatogénicos. Los quistes de colédoco son malformaciones infrecuentes de las vías biliares. Se diagnostica en la mayoría de los casos durante la infancia temprana, aunque puede presentarse a cualquier edad de la vida. La presentación clínica es variable pudiendo manifestarse por dolor abdominal, masa palpable ictericia colestática o por síntomas vinculados al desarrollo de algunas de sus complicaciones: pancreatitis, colangitis o ruptura. El diagnóstico se realiza a través de la ecografía abdominal y se completa con una colangio resonancia magnética, el tratamiento recomendado es la resección quirúrgica completa que previene la aparición de complicaciones. Se presenta un caso de diagnóstico prenatal ecográfico a las 29 semanas de gestación junto con su evolución, manejo y tratamiento postnatal, además es primer caso en este centro de salud ubicado en el Valle del Cauca.



Introduction

Choledochal cysts are congenital malformations of the bile ducts due to dilation of the common bile duct, predominant in women and in Asian countries [1,2]. The etiology of this pathology is still unclear [3,4]. The advancement of fetal ultrasonographic detection have allowed to an increasing in its prenatal diagnosis, with the finding being a simple cystic image at the level of the right upper fetal hemiabdomen, in the second or third trimester of gestation, constituting the greatest diagnostic certainty by visualizing the communication between the cystic image and bile duct [5].

The importance of prenatal diagnosis lies in early postnatal surgical management, due to complications that occur in cases of asymptomatic newborns [3,6]. Previous researches have postulated the existence of an alteration in the pancreatobiliary junction with sphincter of Oddi dysfunction, which ends up favoring a reflux of pancreatic enzymes into the biliary system [7-9]. Nevertheless, there are other theories involving congenital weakness of the duct wall, mucosal abnormalities, obstruction of the distal biliary system, and even congenital infections [10-12].

Case report

This is a female patient, the daughter of a 22-year-old mother, primiparous, with no contributing personal and family history, in the obstetric ultrasound performed at 20 weeks, a compatible double-bubble image, finding an etiology to be determined, diagnostic impression of esophageal or duodenal atresia (see figure 1).



Figure 1 Prenatal ultrasound (20 weeks) compatible with the double bubble sign. Diagnostic impression: esophageal atresia or duodenal atresia

In the third trimester, the abdominal circumference is in upper percentiles for gestational age due to an increasing in the cyst size, the obstetric ultrasound is performed again at 29 weeks, which reports an intra-abdominal cystic image of 26 x 21 mm in the right hypochondrium without central vascularization by color Doppler study and found in a contiguous relationship with the gallbladder with a diagnosis of probable choledochal cyst. The childbirth takes place at 39 weeks; the weight at birth is 3135 grams. In the immediate neonatal care, no malformations were found and the abdominal evaluation is normal. Subsequently, an abdominal ultrasound was performed (see figure 2).

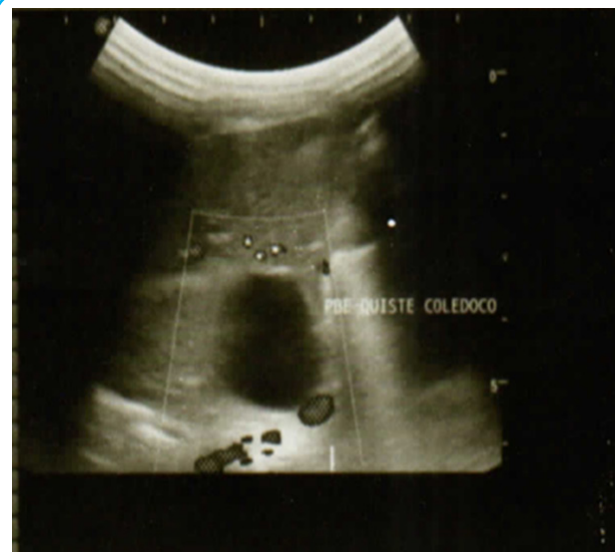


Figure 2 Postnatal ultrasound

A 60x41x45 mm choledochal cyst was evident (figure 2). No ascites, gallbladder not visible. Pancreas, spleen sonographically normal. In the magnetic resonance cholangiography, which was performed at 34 days of life, a cystic image of large volume and oval morphology of 45x48x45 mm was identified, and in the sequences, an apparent communication with the bile duct was observed, suspicious of a choledochal cyst with deviation of the bile duct; a retroperitoneum towards the left posterior region, as well as slight rejection of both kidneys. The liver did not present focal lesions and was slightly displaced by the cystic image described previously. The contrasted sequences have allowed to establish a lesion delimitation observing its perihepatic location. It is worth mentioning that is kept under control by external consultation by the pediatric surgery service (in another health center) (see figure 3).

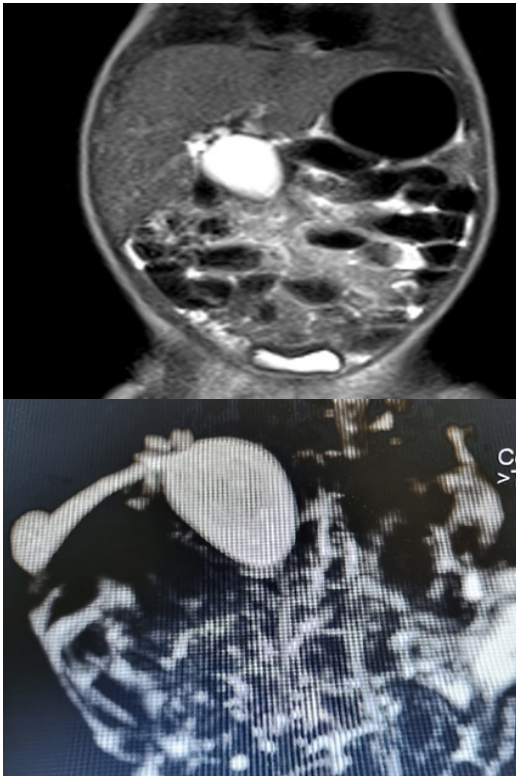


Figure 3 Magnetic resonance cholangiography (CRM): at 34 days of life. Oval cystic image suspicious of choledochal cyst with deviation of the retroperitoneum with slight rejection of both kidneys.

At 15 months of age, the patient went to the emergency department with fever for approximately 6 days, in addition to an increasing abdominal girth, vomiting, and canker sores. On physical examination: feverish to touch, vital signs were within normal limits. A distended abdomen was evidenced, with hepatomegaly five (5) cm below the costal margin, without pain on palpation. Laboratory tests found the following baselines: *i*) total bilirubin: 3.78 mg/dl; *ii*) indirect bilirubin: 3.3 mg/dl; *iii*) direct bilirubin: 0.48 mg/dl; *iv*) hemoglobin: 8.50mg/dl and *v*) hematocrit: 26 (30%), however, did not performed any jaundice. A total abdominal ultrasound was performed that showed hepatomegaly with a homogeneous increasing in the echogenicity of the liver parenchyma and a cystic-looking image of 665×51 mm with 360 cc, choledochal cyst, bile sludge; the rest is within normal parameters. On the third day of admission, the patient presented elevated blood pressure figures. Immediately afterwards, a double contrast computed tomography of the abdomen was requested due to the report of the total abdomen ultrasound with contrast, which reported that the changes described at the level of the upper right hemiabdomen, were related to a

cystic lesion with a content of approximately 760cc. A compression in the right renal vein, shows a septum inside and on its periphery, which covers the entire area of the epigastrium and mesogastrium, displaces loops, whose lesion has grown to the retroperitoneal area, displacing the cava vena (see figure 4).

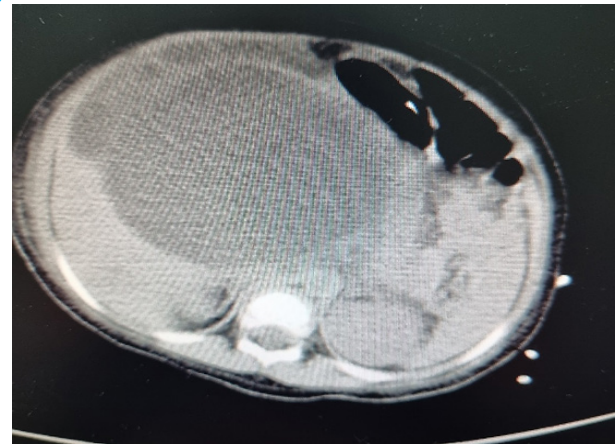


Figure 4 CT of the abdomen with double contrast (15 months old): cystic lesion with a content of 760 cc compression of the right renal vein encompassing the epigastrium and mesogastrium area displaces loops and vena cava

In the evaluation for pediatric surgery, it was decided to perform a surgical procedure. A right transverse incision was carried out with an approach to the peritoneal cavity, and a large retroperitoneal mass of 20×20cm was found. When separating the transverse colon, it was evidenced that the mass corresponds to a large choledochal cyst; the caliber of the common hepatic duct was 3 mm. Subsequently, the choledochal cyst was resected, biliodigestive bypass was performed with Roux Y and a drain was left, respectively (see figure 5).

The patient tolerated the procedure satisfactorily. She was kept off the oral route for 10 days and then enteral feeding was started, with good evolution. Control liver and kidney function tests were within normal limits. Pathology reported acute cholecystitis with pyocolecyst, unrepresented lithiasis, lesion-free cystic margin, choledochal cyst, pericystic ganglion without pathological changes. The patient was discharged on postoperative day 15 without any complications and it was evidenced that up to three months of follow-up, the evolution has been favorable.

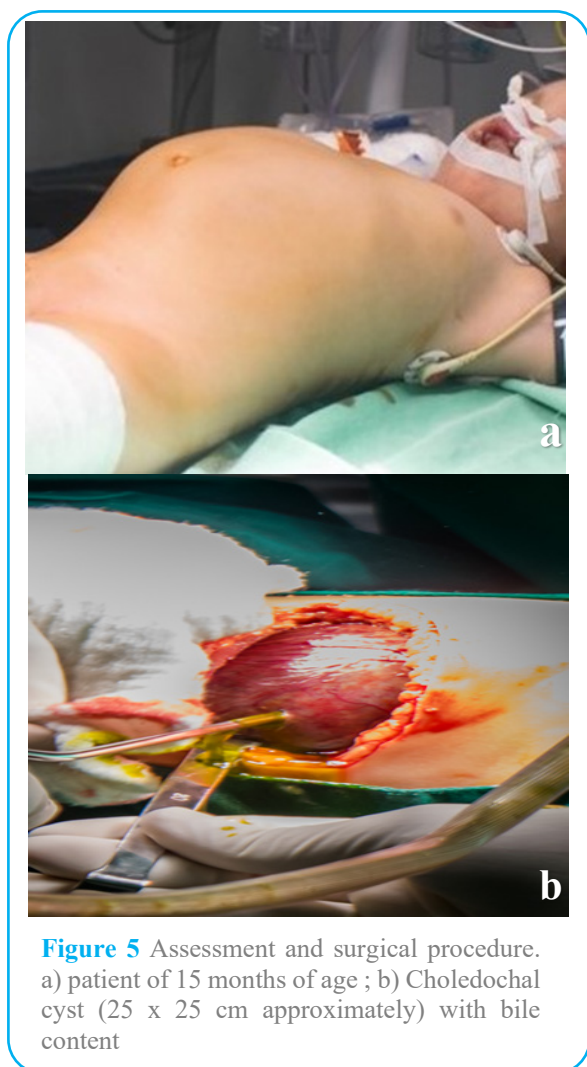


Figure 5 Assessment and surgical procedure. a) patient of 15 months of age ; b) Choledochal cyst (25 x 25 cm approximately) with bile content

Discussion

The choledochal cyst (CC) is a rare congenital anomaly first described by Váter in 1723. In 1817, Todd reported a case, and it was not until 1852 that Douglas published the first documented case [2]. It is the first case reported in this health center and area of Valle de Cauca, Colombia. In the West, it has a frequency rate of approximately 1 in 2 million live births [10,13,14] and it predominates in the female sex (4:1 or more), as occurred with the newborn presented in this case report. It is more common in Asian countries and it is presumed that two thirds of the total cases in the world, are registered in Japan [1,11,15].

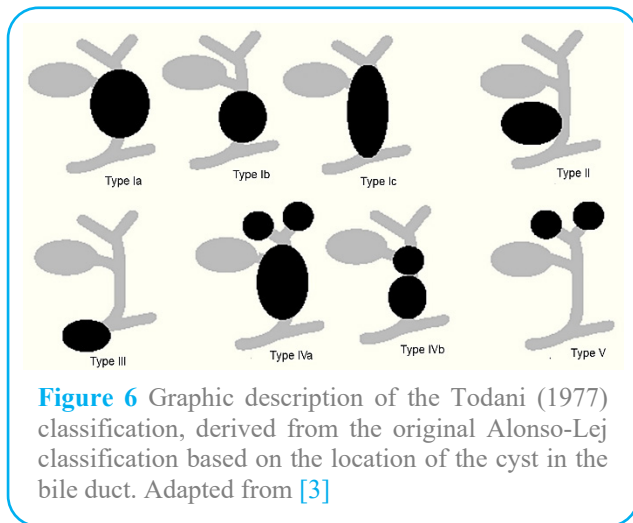
The etiology has not yet been well established. Various theories have been proposed, the best known and accepted is the one that involves the union of the pancreatic duct with the common bile duct, 1 or 2 cm proximal to the sphincter of Oddi, creating an

abnormal common duct (more than 15 mm in length), which allows secretion to reflux. pancreatic and causes damage to the wall and subsequent dilation of the common bile duct. Todani, for example, showed that most cases of choledochal cyst have a long common duct and various angles of confluence of the mentioned ducts [16-18]. Contrary to this theory, it is stated that CC can be diagnosed prenatally, before the exocrine function of the pancreas begins [19,20].

By virtue of the above, other causes have been mentioned such as: *i*) the lack of fusion between the intrahepatic and extrahepatic ducts; *ii*) local arterial occlusion; *iii*) infections; *iv*) autoimmune processes and *v*) other eventual prenatal lesions. It must be considered that no theory explains the wide predominance in the female sex and that some familial cases suggest a possible genetic predisposition. The case presented here is of a female fetus. Technical advances in diagnostic methods, specifically ultrasonography (US), have made it possible to considerably increase the number of cases diagnosed during pregnancy, while at the same time giving rise to a new group: newborns with prenatal diagnosis [21,22]. Diagnosis by US can be made in the second and even late in the third trimester of pregnancy with normal ultrasounds sometimes reported in the morphological evaluation at 20 to 24 weeks [23,24]. Characteristically, a simple anechoic image is detected in the upper hemiabdomen, in front of the right kidney, very close to the portal vein; it can be visualized to the right or to the left of the hepatic duct or located close to the gallbladder. The diagnosis of certainty is established when a communication between the cyst and the bile duct is visualized.

The most widely accepted classification was reported by Todani et al. in 1977 [3,6], derived from the original Alonso-Lej classification and based on the location of the cyst in the bile duct (see figure 6). Five types of CC are described and classified as follows: *i*) type I (80%-90% of the total CC); *ii*) type II; *iii*) type III; *iv*) type IV (15%-20% of the total CC) and *v*) type V or the Caroli disease [3]. Type I, the most common (80%), consists of cystic dilatation of the common bile duct with a normal intrahepatic bile duct. The dilation can be spherical (Ia), segmental (Ib) or fusiform (Ic). Type II, common hepatic duct or common bile duct diverticulum, rare. Type III or choledochoceles, dilation of the intrapancreatic common bile duct in the duodenal wall; it is the least frequent modality. Type IV is intrahepatic and/or extrahepatic cystic dilatation of the bile ducts; it is

subdivided into type IV A based on the location of the cyst in the bile duct (figure 6).



In the case presented here, the diagnosis was made in the third trimester, as a finding in the ultrasonographic study in an asymptomatic pregnant woman and in a fetus without compressive tumor or hemodynamic involvement. The Doppler study allowed us to corroborate the cystic nature of the tumor and the probable benign behavior. To date, no similar cases had been reported at the institution where the research was carried out. The differential diagnosis includes other abdominal cystic lesions: bile duct atresia with cystic dilation of part of the biliary tree, ovarian cyst, kidney cyst, congenital liver cysts, cystic lymphoma, among others. The advantage of prenatal diagnosis is that it allows the neonatal team to guide the pathology with a perinatal approach. Thus, adequate neonatal support and prompt postnatal surgical planning could be provided according to the case, as explained in this study. During pregnancy, the behavior must be expectant, prioritizing delivery at natural term. After birth, the diagnosis can be confirmed by US and/or magnetic resonance cholangiography, as it was carried out in this case report. Treatment consists of the CC resection and performance of a hepatic-jejuno anastomosis with a Y Roux. In the absence of symptoms, it is stated that surgery should be carried out as early as possible, in order to avoid the serious complications caused by CC: cholangitis, liver

abscesses, portal hypertension, cirrhosis and likewise, malignant degeneration. All these complications increase their frequency considerably in direct relation to the age of the patient. Surgery, in the case presented, was performed in the late neonatal period using the technique of choice of surgical resection of the choledochal cyst with a Y- Roux biliodigestive diversion. The post-surgical evolution was favorable and up to three months of follow-up no complications had been reported.

Conclusion

The choledochal cyst (CC) is a rare disease, predominantly in childhood and adolescence. The average prenatal diagnosis of routine ultrasound is possible and allows early surgical intervention, in search of preventing subsequent complications.

Consent for publication

The authors read and approved the final manuscript.

Competing interest

The authors declare no conflict of interest. This document only reflects their point of views and not that of the institution to which they belong.

Acknowledgments

The authors would like to thank Dr. Luis Mauricio Figueroa Gutiérrez. Assistant Professor at the Universidad del Valle, Colombia for his valuable collaboration and unconditional support for respecting our suggestions and ideas and for the direction and rigor that he has provided to them.

Author details

Lisbeth Medina Torres

Medical specialist in pediatric surgery and minimally invasive surgery. General physician Latin American School of Medicine in Havana Cuba; Postgraduate at Central University of Venezuela. Minimally invasive surgery and endopraxis at Javeriana

University. Member of the Society of Pediatric Surgery of Colombia.



Jeisson Hincapié Álvarez

General Physician. Specialist in Family Medicine. Specialist in General Surgery. Digestive endoscopy with training and specialization in Retrograde Cholangiopancreatography Latin American School of Medicine Havana-Cuba



References

- [1] Baison GN, Bonds MM, Helton WS, Kozarek RA. Choledochal cysts: Similarities and differences between Asian and Western countries. *World J Gastroenterol* 2019;25:3334–43. <https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i26.3334>
- [2] Huerta Sáenz I, Elías J, Torres E. Quiste de colédoco fetal: diagnóstico prenatal y manejo perinatal. *Rev Per Ginecol Obstet* 2013;59:59–62. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rgo/v59n1/a10v59n1.pdf>
- [3] Giha S, Redondo Y, Quintero G. Quiste de colédoco: diagnóstico y manejo intraoperatorio. *Pediatría (Bucur)* 2016;49:64–7. <https://doi.org/10.1016/j.rcpe.2016.04.004>
- [4] Corrochano M, LLanos R, García A. Quiste de colédoco en una lactante de tres meses de edad: diagnóstico prenatal y manejo quirúrgico. *Rev Pediatr Esp* 2013;4:84–8. <https://wp-intercienciamedica-prd.azurewebsites.net/wp-content/uploads/2021/07/Quiste-de-coledoco-en-una-lactante-de-tres-meses-de-edad-diagnostico-prenatal-y-manejo-quirurgico.pdf>
- [5] Soares KC, Arnaoutakis DJ, Kamel I, Rastegar N, Anders R, Maithel S, et al. Choledochal Cysts: Presentation, Clinical Differentiation, and Management. *J Am Coll Surg* 2014;219:1167–80. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2014.04.023>
- [6] López Ruiz R, Aguilera Alonso D, Muñoz Aguilar G, Fonseca Martín R. Quistes de colédoco, una causa inusual de ictericia en pediatría. Presentación de serie de casos. *Rev Chil Pediatr* 2016;87:137–42. <https://doi.org/10.1016/j.rchipe.2015.08.009>
- [7] Peñaloza- Ramírez A, Coral- Argoty E, Castro-Rodríguez M, Álvarez- Gil J, Aponte-Ordoñez P. Disfunción del esfínter de Oddi: un reporte de caso. *Rev Colomb Gastroenterol* 2021;36:52–8. <https://doi.org/10.22516/25007440.550>
- [8] Sugita R. Pancreaticobiliary reflux as a high-risk factor for biliary malignancy: Clinical features and diagnostic advancements. *World J Hepatol* 2015;7:1735. <https://doi.org/10.4254/wjh.v7.i13.1735>
- [9] Calzadilla J, Sanhueza N, Farías S, González F. Recurrent pancreatitis secondary to sphincter of Oddi dysfunction: case report. *Medwave* 2016;16:e6585–e6585. <https://doi.org/10.5867/medwave.2016.09.6585>
- [10] Machado K, Cascino C, Ghione A, Montano A. Quiste de colédoco. Presentación en un lactante con fiebre. Caso clínico. *Arch Pediatr Urug* 2011;82:23–8. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/adp/v82n1/v82n1a05.pdf>
- [11] Singham J, Yoshida EM, Scudamore CH. Choledochal cysts: part 1 of 3: classification and pathogenesis. *Can J Surg* 2009;52:434–40. PMID:19865581.
- [12] DeJesus J, Hughes B, Geisler E, Defilippo C, Gaffey J, Radhakrishnan RS. Type II choledochal cyst of the cystic duct in a 3-month-old. *J Pediatr Surg Case Rep* 2022;86:102440. <https://doi.org/10.1016/j.epsc.2022.102440>
- [13] Farías Molina SM, Castillo Machado RL, Sanhueza Palma NC, Calzadilla Riveras JA. Todani choledochal cyst type II: case report and review. *Medwave* 2016;16:e6583–e6583. <https://doi.org/10.5867/medwave.2016.09.6583>
- [14] Torres M, Becerra M, Calderón B, Salinas I, Ruiz M, Ventura J. Choledochal Cyst. Biliary Tract - Review and Recent Progress [Working Title], IntechOpen; 2022. <https://doi.org/10.5772/intechopen.106451>
- [15] Baison GN, Bonds MM, Helton WS, Kozarek RA. Choledochal cysts: Similarities and differences between Asian and Western countries. *World J Gastroenterol* 2019;25:3334–43. <https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i26.3334>
- [16] Dezerega P, Sepúlveda E, González G, Pérez P, Jara M, Vásquez M. Tumores fetales: II parte. *Rev Chilena Ultras* 2006;9:24–33. <http://www.sochumb.cl/wp-content/uploads/2018/06/US-10-2-2007-b.pdf>
- [17] Gürsoy Çoruh A, Gülpınar B, Baş H, Erden A. Frequency of bile duct confluence variations in subjects with pancreas divisum: an analysis of MRCP findings. *Diagn Interv Radiol* 2018;24:72–6. <https://doi.org/10.5152/dir.2018.17200>
- [18] Kim JY, Kim HJ, Han HY. A Case Report of an Unusual Type of Choledochal Cyst with Choledocholithiasis: Saccular Dilatation of the Confluent Portion of Both Intrahepatic Ducts. *Journal of the Korean Society of Radiology* 2015;73:252. <https://doi.org/10.3348/jksr.2015.73.4.252>
- [19] Kumar M, Rajagopalan S. Choledochal cyst. *Med J Armed Forces India* 2012;68:296–8. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2012.04.011>
- [20] Hamid R, Bhat NA, Ahmad M, Singh B. Choledochal Cyst (CDC). *Gastrointestinal Surgery - New Technical Proposals*, InTech; 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72938>
- [21] Whitworth M, Bricker L, Mullan C. Ultrasound for fetal assessment in early pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;2015:CD007058. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007058.pub3>

[22] Carlson LM, Vora NL. Prenatal Diagnosis: Screening and Diagnostic Tools. *Obstet Gynecol Clin North Am* 2017;44:245–56. <https://doi.org/10.1016/j.ogc.2017.02.004>

[23] Bricker L, Medley N, Pratt JJ. Routine ultrasound in late pregnancy (after 24 weeks' gestation). *Cochrane Database Syst Rev* 2015;2015:CD001451. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001451.pub4>

[24] Wilson ECF, Wastlund D, Moraitis AA, Smith GCS. Late pregnancy ultrasound to screen for and manage potential birth complications in nulliparous women: a cost-effectiveness and value of information analysis. *Value in Health* 2021; 24:513–21. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2020.11.005>

Imágenes de inervación miocárdica: MIBG en práctica clínica

Myocardial innervation imaging: MIBG in clinical practice

Alberto Aimó  y Alessia Gimelli* 



Acceso Abierto

Correspondencia:

gimelli@ftgm.it
Fondazione Toscana Gabriele
Monasterio, Vía Moruzzi 1, 56124 Pisa,
Italia

Sometido:

24-03-2022

Aceptado para publicación:

23-10-2022

Publicado en línea:

01-12-2022

Palabras clave:

Imágenes; inervación cardíaca;
insuficiencia cardíaca; función simpática;
MIBG.

Key words:

Cardiac innervation; heart
failure; imaging; MIBG;
sympathetic function.

Citación:

Aimó A, Gimelli A. Imágenes de
inervación miocárdica:
MIBG en práctica clínica. *Magna
Scientia UCEVA* 2022; 2:2 177-190.
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a3>

Resumen

La ^{123}I -metayodobencilguanidina (MIBG) es un análogo de norepinefrina radiomarcado que se puede usar para investigar la inervación simpática del miocardio. La gammagrafía con ^{123}I -MIBG se ha investigado con interés en muchos contextos patológicos. En pacientes con insuficiencia cardíaca (IC) sistólica, la gammagrafía con ^{123}I -MIBG puede detectar el deterioro funcional y la rarefacción de las terminales simpáticas (que se manifiestan como reducción de la relación corazón-mediastino [H/M] temprana y tardía en la gammagrafía planar) y aumento del flujo de salida simpático (que puede visualizarse como una alta tasa de lavado). Estos hallazgos se han asociado consistentemente con un peor resultado: más notablemente, un ensayo de fase 3, encontró que los pacientes con un H/M tardío 1.60, poseen una mayor incidencia de mortalidad cardiovascular y por todas las causas y arritmias potencialmente mortales durante un seguimiento de menos de 2 años. A pesar de estos hallazgos prometedores, la gammagrafía con ^{123}I -MIBG aún no ha sido recomendada por las principales guías de IC como una herramienta para la estratificación del riesgo aditivo y nunca ha entrado en la etapa de adopción generalizada en la práctica clínica actual. La gammagrafía con ^{123}I -MIBG también se ha evaluado en pacientes con infarto de miocardio, trastornos genéticos caracterizados por una mayor susceptibilidad a las arritmias ventriculares y varias otras condiciones caracterizadas por alteración de la inervación miocárdica simpática. En la presente revisión, se resumirá el estado del arte de la gammagrafía cardíaca con ^{123}I -MIBG, los problemas actuales sin resolver y las posibles direcciones de la investigación futura.

Abstract

^{123}I -metaiodobenzylguanidine (MIBG) is a radiolabeled norepinephrine analog that can be used to investigate myocardial sympathetic innervation. ^{123}I MIBG scintigraphy has been investigated with interest in many disease settings. In patients with systolic heart failure (HF), ^{123}I MIBG scintigraphy can capture functional impairment and rarefaction of sympathetic terminals (which manifest as reduced early and late heart-to-mediastinum [H/M] ratio on planar scintigraphy), and increased sympathetic outflow (which can be visualized as high washout rate). These findings have been consistently associated with a worse outcome: most notably, a phase 3 trial found that patients with a late H/M 1.60 have a higher incidence of all-cause and cardiovascular mortality and life-threatening arrhythmias over a follow-up of less than 2 years. Despite these promising findings, ^{123}I MIBG scintigraphy has not yet been recommended by major HF guidelines as a tool for additive risk stratification, and has then never entered the stage of widespread adoption into current clinical practice. ^{123}I MIBG scintigraphy has been evaluated also in patients with myocardial infarction, genetic disorders characterized by an increased susceptibility to ventricular arrhythmias, and several other conditions characterized by impaired sympathetic myocardial innervation. In the present review we will summarize the state-of-the-art on cardiac ^{123}I MIBG scintigraphy, the current unresolved issues, and the possible directions of future research.



Imágenes MIBG: conceptos generales

Una breve historia de MIBG

La función cardiovascular se adapta continuamente a las demandas cambiantes por medio del sistema nervioso autónomo, que incluye los brazos simpático y parasimpático, los cuales ejercen efectos estimulantes o inhibidores sobre los tejidos diana. Los efectos del sistema nervioso simpático están mediados principalmente por la liberación del neurotransmisor norepinefrina (NE) de las terminaciones nerviosas presinápticas y su unión a los receptores adrenérgicos [1]. Alrededor del 80-90% de la NA liberada por las terminaciones nerviosas simpáticas, se recapta en las terminaciones nerviosas presinápticas a través del mecanismo de captación-1, es decir, el transportador de NA (NET) [2]. Una vez dentro de la terminación nerviosa, la NE se transporta a las vesículas a través del transportador de monoamina vesicular 2 o se metaboliza por la monoaminoxidasa. El resto de NE se elimina en la circulación o en el lado postsináptico a través de la captación-2, que transporta NE hacia los tejidos extraneuronales como el corazón, donde es metabolizado por catecolamina-O-metil-transferasa [3].

En la década de 1960, la guanetidina se desarrolló como un fármaco antihipertensivo. La guanetidina es transportada a través de la membrana del nervio simpático por NET y se almacena sin metabolizar en vesículas transmisoras, donde (a concentraciones terapéuticas) reemplaza a la NE y luego inhibe la transmisión noradrenérgica [4]. La combinación de un grupo bencilo y el grupo guanidina de guanetidina, produjo metayodobencilguanidina (MIBG), que mostró una afinidad y capacidad similar a NE para NET y se almacena de manera similar en vesículas [5]. La yodación de MIBG con un isótopo radiactivo permite obtener imágenes exitosas de terminales simpáticos y otros neuroectodérmicos a partir de células derivadas. La primera aplicación clínica del radiomarcado MIBG con ^{131}I fue la visualización de la médula suprarrenal y de diferentes tumores derivados de la cresta neural como feocromocitomas y neuroblastomas [5].

La intensa captación miocárdica observada en estos estudios, llevó a especular que el MIBG radiomarcado con ^{131}I podría usarse para imágenes miocárdicas. Sin embargo, debido a las

características subóptimas de la imagen MIBG y a una carga de radiación menos favorable, se prefirió el radioetiquetado de MIBG con ^{123}I para propósitos de diagnóstico. En 1981, Kline et al. usaron gammagrafía MIBG para obtener imágenes de la inervación miocárdica en 5 sujetos sanos y concluyeron que la MIBG tenía el potencial de proporcionar información semicuantitativa sobre el contenido de catecolaminas miocárdicas [6].

Información básica para médicos

Por lo general, MIBG se administra por vía intravenosa después del bloqueo de la captación tiroidea de ^{123}I libre a través de 500 mg de perclorato de potasio o 200 mg de yoduro de potasio (solución al 10%), aunque esto podría omitirse considerando que el ^{123}I es un emisor gamma con una vida media corta [7]. Una dosis estándar es de 185 MBq para imágenes cardíacas, lo que corresponde a una dosis efectiva de 2.4 mSv en adultos [8]. La dosis administrada de MIBG puede reducirse a 55-111 MBq cuando se utilizan las nuevas cámaras gamma. MIBG es internalizado por las terminaciones nerviosas presinápticas de células neuronales postganglionares a través de NET. Un 15% de energía, se suele utilizar en una ventana centrada en el fotópico de ^{123}I de 159 keV. Las imágenes planares anteriores se obtienen a los 15 minutos (temprana) y 4 horas (tardía) después de la inyección y almacenado en matrices de 128p128 o 256p256 con fotón único estándar en cámara de tomografía computarizada por emisión (SPECT), debido a que la MIBG se secreta principalmente a través de los riñones; los pacientes se les alienta a orinar con frecuencia para facilitar la excreción rápida del rastreador [7]. Es importante destacar que las diferencias en la tasa de excreción renal no contribuyeron a la variabilidad en los recuentos miocárdicos y mediastínicos entre las imágenes MIBG planares tempranas y tardías [9].

Los parámetros comúnmente evaluados en la gammagrafía MIBG son la relación corazón-mediastino (C/M) y la relación de lavado (RL). En imágenes planares anteriores, las regiones de interés (ROI) se dibujan sobre el corazón (C) y el mediastino (M). El promedio cuenta en cada ROI obtenido y se calcula la relación C/M. los RL se calculan por la diferencia entre los primeros y los C/M tardíos, así como el porcentaje del C/M temprano o mediante el cálculo de los recuentos miocárdicos reales durante las fases temprana y tardía a saber :

$$\left\{ \frac{C_{\text{temprana}} - M_{\text{temprana}}}{C_{\text{temprana}} - M_{\text{temprana}}} - \frac{C_{\text{tardía}} - M_{\text{tardía}}}{1} \right\} \times 100$$

Este cálculo debe ser corregido por decaimiento al momento de la adquisición temprana. La fase C/M temprana probablemente refleja la integridad de las estructuras presinápticas de los nervios terminales y de la función NET. La fase tardía C/M combina la información sobre la función neuronal desde la captación hasta la liberación a través de la vesícula de almacenamiento en las terminales nerviosas. Los RL, son un índice del grado de impulso simpático, por lo tanto, el aumento de la actividad simpática se asocia con un alto RL y una baja captación tardía de MIBG miocárdico. Los valores de referencia han sido identificados en la Sociedad Japonesa de Medicina Nuclear en su base de datos normalizada: C/M temprana, promedio 3.1, rango de 2.2–4.0; H/M tardía, promedio 3.3, rango 2.2–4.4; RL, promedio 13, rango 0–34% [10]. La C/M temprana y tardía disminuye con la edad incluso en sujetos normales, mientras que el RL no se ve afectado por la edad [11].

El uso de SPECT cardíaco puede proporcionar información sobre la distribución regional de la MIBG. Las imágenes SPECT se pueden adquirir después de las imágenes planares con adquisición temprana y tardía. Para ello, se realiza una reconstrucción tomográfica y corrección por dispersión o atenuación tisular. La distribución MIBG en el estudio SPECT, es similar al de los trazadores de imágenes por perfusión, aunque la acumulación inferior es relativamente más baja en un estudio MIBG, particularmente para personas de edad avanzada [12]. Las regiones miocárdicas que no muestran captación de MIBG pueden todavía ser viables, así lo demuestra la imagen de perfusión con un trazador como la ^{99m}Tc -tetrofosmina.

Se sabe o se puede esperar que varios medicamentos interfieran con la captación MIBG de órganos. En una revisión de literatura sobre interacciones de drogas con la captación MIBG, los únicos medicamentos cuyo nivel de evidencia se consideró alto fueron labetalol y reserpina. El nivel de evidencia se consideró medio para los tricíclicos, antidepresivos, bloqueadores de los canales de calcio y antiarrítmicos (específicamente amiodarona). La evidencia se consideró suficiente para recomendar suspender el labetalol y los antidepresivos tricíclicos antes de la obtención de imágenes MIBG cardíacas y sugerir la consideración de la suspensión de aminas simpaticomiméticas e inhibidores de la recaptación

de serotonina y norepinefrina [13]. Por el contrario, las imágenes MIBG cardíacas se pueden realizar en pacientes que toman betabloqueantes e inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina o bloqueadores de los receptores de angiotensina (ACEi/ARB) [14]. La suspensión de los betabloqueantes (con la posible excepción de labetalol), ACEi/ARB u otros medicamentos para la insuficiencia cardíaca, aún no se ha requerido [7]. Por el contrario, los alimentos que contienen vainillina y catecolaminas compuestos similares (como el chocolate) deben evitarse ya que pueden interferir con la captación de MIBG [7].

Posibles aplicaciones clínicas de imágenes de inervación del miocardio

Insuficiencia cardíaca

A pesar de los considerables avances en el tratamiento de drogas y dispositivos, la insuficiencia cardíaca (IC) todavía representa una causa significativa de morbilidad y mortalidad y su carga epidemiológica se espera que aumente en los próximos años. IC es de lejos, la condición más intensamente estudiada a través de imágenes MIBG, dado el papel patogenético crucial de la hiperactividad simpática en IC con fracción de eyección reducida (ICFER). A partir de septiembre de 2020, una búsqueda de "MIBG" e "insuficiencia cardíaca" en PubMed produce 556 documentos, con un aumento progresivo en publicaciones desde los años 80. Muchos de estos documentos se centraron en el papel de las imágenes de MIBG para la estratificación del riesgo y en pacientes con ICFER, considerando puntos finales heterogéneos, pero generalmente la muerte cardíaca o eventos cardíacos importantes.

La denervación miocárdica se ha asociado constantemente con un peor pronóstico en pacientes con IC. Por ejemplo, la relación media C/M en pacientes que murieron típicamente era 0.2-0.3 más bajo que en los que sobrevivieron. Los metaanálisis de los estudios publicados informaron proporciones de peligro agrupadas de C/M tardía para la muerte cardíaca de 1.82 (intervalo de confianza del 95% [IC] 0.80–4.12; $P=0.15$) y 1.98 para eventos cardíacos (1.57–2.50; $P<0.001$) [15], y que una baja C/M (con umbral de rango de 1.5 a 1.89) denotó un riesgo mayor de muerte cardíaca 5 veces mayor (odds ratio [OR] 5.2, IC 95% 3.1–5.7) [16]. Además, la

absorción de MIBG fue un predictor de mortalidad independiente y más fuerte que C/M tardía [17] y una alta tasa de lavado (TL) (de 38 a 53%) también estuvo asociada con eventos letales con una probabilidad agrupada de 2.8 (IC 95% 1.6–5.0) [16]. El C/M o TL surgieron como predictores independientes de eventos adversos de la FEVI y de péptidos natriuréticos (PN), evidenciándose en la Asociación del Corazón de Nueva York (NYHA) [18].

Los resultados del ensayo prospectivo más grande que examinan la importancia pronóstica de las imágenes de MIBG en IC fueron publicados en 2010. La imagen de miocardio AdreView para el riesgo de evaluación en el estudio de insuficiencia cardíaca (Admire-IC) involucró 961 pacientes con IC estable, VEF $\leq 35\%$, NYHA Clase II–III con síntomas y con recomendaciones de terapia médica [19]. Pacientes con marcapasos ventriculares que rutinariamente funcionaban o que habían recibido desfibrilación (ya sea externa o a través de un ICD), con antitardicia o cardioversión se les excluyeron las arritmias ventriculares [20]. Los pacientes que tenían una FEVI media del 27% y el 66% de ellos, fueron adjudicados por tener una IC isquémica. Durante un seguimiento medio de 17 meses, 237 sujetos (25%) experimentaron eventos (muerte cardíaca, arritmias de por vida o progresión de la clase de NYHA), de que solo ocurrieron 25 en los 201 sujetos con un C/M tardío ≥ 1.60 (elegido como el límite inferior de lo normal). En aquellos en los que el evento fue de dos años, la tasa fue del 15% en pacientes con C/M ≥ 1.60 y 37% en aquellos con C/M < 1.60 . El C/M, la LVF, el β tipo NP (β NP) y la clase NYHA, se comportaron como predictores independientes de los resultados obtenidos [19]. Los análisis post-hoc de Admire-IC y su estudio de extensión (Admire-hfx) demostró que el C/M conserva su pronóstico de validez independientemente de la intensidad del tratamiento (basado en el rango de dosis) utilizando ACEI/ARB, betabloqueantes y MRAS) [21], y que el CH/M predice independientemente, toda la causa de mortalidad con una media de 24 meses [22]. Es más, agregar el C/M a una configuración bien establecida de IC con el modelo (SHFM) da como resultado una mejor estratificación del riesgo cardiovascular, particularmente en el subconjunto de SHFM de mayor riesgo [23]. Los estudios futuros podrían investigar útilmente el pronóstico del rendimiento de la imagen MIBG en pacientes con ICFER, recibiendo inhibidores de sacubitril/valsartán y/o glucosa de sodio Cotransporter 2 [SGLT2], el valor

agregado de SPECT a la gammagrafía plana y a las imágenes de MIBG sobre técnicas como la resonancia magnética cardíaca y el posible papel de las imágenes MIBG para la selección de candidatos a la terapia de resincronización cardíaca (TRC), al dispositivo de asistencia ventricular izquierda (DAVI) o trasplante de corazón) [23]. El grado de estimulación simpática cardíaca, según lo evaluado a través de la TL, produjo un significativo pronóstico aditivo para arritmias ventriculares rápidas a otras medidas de disfunción autónoma (hallazgos de MIBG, variabilidad de la frecuencia cardíaca [VFC] en ECG Holter Monitoring de 24 h y sensibilidad Baroreflex) durante una media de 32 meses [24]. Es más, la presencia y el alcance de una inervación/perfusión de desajuste, es decir, áreas desnudadas pero aún viables, han sido asociadas constantemente con una mayor arritmogenicidad. Por ejemplo, en una cohorte de 17 pacientes con desfibriladores cardíacos implantables (DCI), la evaluación combinada de inervación/desajuste de perfusión y HRV, permitió una correcta identificación de pacientes con alto y bajo riesgo de arritmias potencialmente fatales [25]. El valor agregado de un isótopo dual de protocolo SPECT (para evaluar la inervación y la perfusión) sobre las imágenes de inervación simple, fueron cuestionadas en un estudio realizado sobre 116 pacientes con IC, donde se refirieron a la implantación de un desfibrilador para prevención primaria o secundaria, el alcance de la MIBG tardía y del protocolo SPECT por defecto, predijeron descargas apropiadas de ICD y muerte cardíaca de más de 23 ± 15 meses, independiente de una puntuación de desajuste de inervación/perfusión [26].

En cambio, la perfusión SPECT podría tener una importancia pronóstica aditiva hacia una evaluación global de la inervación miocárdica gracias a la gammagrafía MIBG plana. En una cohorte de 60 pacientes con ICD, seguido de una media de 29 meses, pacientes con discapacidad de absorción de MIBG (C/M < 1.9) y defecto de ^{99m}Tc -tetrofosmina con un puntaje > 12 , presentaron una tasa de eventos significativamente mayor (94%) que el grupo con captación de MIBG temprana y tardía de ^{99m}Tc -tetrofosmin [45%; $P < 0.05$] y respecto al grupo con absorción conservada de ambos agentes (18%) [27]. No somos conscientes de los estudios que evalúan si las imágenes MIBG pueden informar la decisión de si un ICD debería ser implantado en casos límite (por ejemplo, en pacientes con etiología no isquémica y la FEVI que se acerca al umbral del 35%), o puede

ayudar a predecir la respuesta a la CRT.

El aumento de los niveles de NE circulantes comúnmente observados en pacientes con IC y el mal pronóstico de las personas con niveles de NE particularmente altos, se asocian con una disminución en la capacidad de respuesta del corazón a la estimulación adrenérgica y la regulación negativa de receptores beta cardíacos. El pronóstico del beneficio de los betabloqueantes en ICFER puede atribuirse parcialmente a una mejora en la función simpática cardíaca. La imagen de la inervación simpática miocárdica, proporciona un medio para juzgar la recuperación de este sistema regulatorio en pacientes con IC que reciben terapia médica de atención estándar [28], CRT o LAVD [29].

Efectos beneficiosos sobre la inervación simpática cardíaca se han informado después del inicio del tratamiento con IC [30,31], de acuerdo con el beneficio otorgado por el pronóstico de estos medicamentos ICFER. Por el contrario, pacientes cuya inervación simpática cardíaca, no se recupera ni empeora, la terapia IC tiene un peor pronóstico, como se indica en una cohorte de 74 pacientes con FEVI <45%. Durante el seguimiento, se presentaron 12 muertes y otros 11 resultados adversos. Aunque no se presentó diferencia en la media de C/M al inicio entre los sujetos que no sobrevivieron, el 92% de aquellos que fallecieron exhibieron una disminución en C/M entre los dos estudios de MIBG. El cambio en la absorción de MIBG fue un mejor predictor de resultado adverso a largo plazo que la línea de base NE o BNP o sus cambios durante 6 meses [32].

Preguntas abiertas:

- ¿La MIBG se puede utilizar rutinariamente para seleccionar los mejores candidatos para ICD?
- ¿cuál es el impacto de las novedosas opciones terapéuticas para Href en los hallazgos de MIBG (especialmente SGLT2i)?
- ¿ Pueden las imágenes MIBG ayudar a identificar a los pacientes con mala respuesta a la combinación estándar de ACEi/ARB betabloqueante y MRA y quién podría beneficiarse de la mayoría del cambio a sacubitrilo/valsartán u otras terapias?
- ¿Pueden los exámenes MIBG en serie, caracterizar mejor la respuesta a la TRC, más allá de la duración del QRS y los cambios en volúmenes y función del VI?
- ¿Pueden las imágenes MIBG identificar a los

pacientes con ICpIE y la inervación cardíaca simpática trastornada que podría tener un beneficio pronóstico de una terapia con betabloqueantes?

Enfermedad isquémica del corazón

Síndrome crónico coronario. Varios estudios sobre el síndrome crónico coronario (SCC) se han centrado en la entidad patológica específica conocida como angina vasoespástica, en la que el vasoespasma provoca una isquemia transitoria en el correspondiente territorio vascular, dando lugar a defectos de MIBG que persisten incluso cuando se restablece la perfusión. Se han obtenido resultados contradictorios que informan sobre los valores de TL, ya que un TL más bajo se asocia con un diagnóstico de angina vasoespástica [33], aunque un TL más alto, se asocia con un mayor riesgo de eventos recurrentes [34]. Además, se encontraron áreas de captación defectuosas de MIBG en pacientes con isquemia miocárdica silente [35].

Infarto de miocardio. Después de la fase aguda del infarto de miocardio (IM), los pacientes pueden someterse a imágenes MIBG para evaluar las consecuencias del daño isquémico en las terminales nerviosas simpáticas. Las fibras amielínicas de pequeño calibre son más susceptibles a la isquemia que los cardiomiocitos, lo que resulta en disfunción de las fibras (aturdimiento) o muerte [36]. El área de captación de la MIBG defectuosa es más grande que la perfusión por defecto y de la inervación por defecto, la cual persiste después de la revascularización [37]. El desajuste de inervación/perfusión resultante, puede predisponer a arritmias ventriculares [38], como lo demuestra el hecho de que el grado de discordancia de perfusión/inervación se correlaciona significativamente con el sitio de activación más temprana en las taquicardias ventriculares (TV) [39].

Una recuperación del aturdimiento y/o algunos grados de reinervación, se cree que ocurren dado que un MIBG normal encuentra captación a las 14 semanas después de MI en perros [40] y la captación MIBG en el área peri-infartada aumentó durante 12 meses en humanos [41]. Los pacientes con un IM reciente (<14 días) también demostraron un lavado de MIBG miocárdico más rápido que los sujetos normales, tanto en el corazón completo como en el miocardio remoto, lo que denota un aumento de la estimulación simpática que podría contribuir a la

remodelación posterior al IM [42].

Insuficiencia cardíaca isquémica. Numerosos estudios sobre el valor pronóstico de imágenes MIBG en IC incluyeron un número significativo de pacientes con etiología isquémica [19], mientras que los pacientes con IC isquémica han sido menos evaluados específicamente. La actividad del nervio simpático cardíaco se alteró progresivamente en paralelo con la gravedad de la IC independientemente de la etiología subyacente [43] y la C/M tardía fue el predictor independiente más fuerte de muerte cardíaca en pacientes con FEVI <40% con etiología isquémica o no isquémica, presentando un mejor punto de corte en pacientes con IC isquémica (1.50 frente a 2.02) [44]. En un estudio de 50 pacientes con antecedentes de IM y FEVI $\leq 40\%$ derivó en una prueba electrofisiológica (EP) debido a una síncope o TV no sostenida, el C/M tardío no difirió significativamente entre pacientes con taquiarritmias ventriculares sostenidas inducibles, mientras que una puntuación de efecto regional a las 4 h ≥ 37 , arrojó una sensibilidad del 77% y una especificidad del 75% para predecir resultados EP positivos [45]. La noción de que los defectos regionales más grandes están asociados con un mayor riesgo de arritmias, fue respaldada por un estudio en pacientes evaluados antes de la implantación de DAI para prevención primaria (89 %) o secundaria (11 %) [26]. La puntuación del defecto MIBG tardío fue un predictor independiente tanto de la descarga adecuada del DAI como de la muerte cardíaca a los 23 ± 15 meses. Además, los pacientes con un gran retraso en el MIBG SPECT (puntaje sumado >26), mostró significativamente una terapia ICD más apropiada (52 vs. 5%, $P < 0.01$) y un ICD apropiado o muerte cardíaca (57 vs. 10%, $P < 0.01$) que los pacientes con un pequeño defecto (puntuación sumada ≤ 26) en un estudio de seguimiento por 3 años. Una puntuación de desajuste de inervación/perfusión obtuvo un predictor univariado pero no independiente de ambos puntos finales [26]. En un estudio muy reciente en pacientes con insuficiencia cardíaca isquémica (seguimiento medio de 18 meses), aquellos que recibieron un DAI para la prevención secundaria de la MSC, presentaban defectos de perfusión e inervación significativamente mayores, mientras que los resultados de las imágenes no pudieron predecir los pacientes con la terapia adecuada del DAI entre los pacientes con implantes DAI para prevención primaria [46]. Finalmente, se evaluaron los defectos de inervación y perfusión también como predictores

de respuesta a la ablación del catéter en pacientes con arritmias de ventrículo con infarto de miocardio previo y baja FEVI. El desajuste de perfusión/inervación en la zona VI específica, fue un predictor independiente de la actividad ventricular anormal local en el mapeo electroanatómico y presentó además una reducción significativa en la puntuación de discordancia de perfusión/inervación después de la ablación predicha con una reducción de la carga arrítmica [47]. Llévate este mensaje a casa:

- Un número bastante limitado de estudios han evaluado imágenes MIBG en pacientes con cardiopatía isquémica (desde CCS hasta IC isquémica) y la evidencia es bastante fragmentaria.
- La isquemia miocárdica provoca defectos de inervación duraderos, las áreas de inervación/desajuste de la perfusión son proarritmogénicas en el entorno post-IM.
- Los defectos regionales más grandes de la captación de MIBG, predicen problemas cardíacos y una descarga apropiada del DAI en IC isquémica.

Arritmias ventriculares y predicción de muerte cardíaca súbita en trastornos genéticos

La evaluación de la integridad del sistema simpático cardíaco y la inervación por gammagrafía MIBG, se han propuesto durante mucho tiempo como un método valioso para estratificar el riesgo de arritmias ventriculares (AV) y muerte súbita cardíaca (MSC) en pacientes con cardiopatías estructurales de etiología genética o trastornos arritmogénicos no asociados con trastornos funcionales y cambios anatómicos detectables por técnicas convencionales.

Miocardiopatía idiopática dilatada. En pacientes con miocardiopatía idiopática dilatada (MID), el lavado de MIBG estuvo correlacionado con la función basal del LV y el C/M tardío con la reserva contráctil en estimulación auricular [48] o contractilidad durante la prueba de esfuerzo con dobutamina [49]. Además, el C/M tardío surgió como el predictor independiente más poderoso de muerte cardíaca en pacientes con MID [44]. En otro estudio, un desajuste entre la inervación regional y la perfusión, estuvo asociado con un mayor riesgo de TV [50]. Estos hallazgos aún no han sido replicados

a pesar de su relevancia potencial para seleccionar pacientes para implantación de desfibrilador o para guiar los procedimientos de ablación.

Miocardopatía hipertrófica. La miocardopatía hipertrófica (MCH) es la enfermedad cardiovascular genética más común y una causa importante de SCD. Resultados preliminares indican que juega un papel importante en el sistema nervioso simpático cardíaco y en la innervación en la función del VI (evidenciado en pacientes con MCH con la disfunción sistólica, quienes presentaron un MIBG temprano significativamente más bajo en absorción que los controles con una disminución de TL de normal a EF anormal) y durante el ejercicio, incluso queda por ser establecido si la gammagrafía MIBG puede predecir el deterioro de la función cardíaca u otros resultados, más notablemente SCD.

Miocardopatía de Takotsubo

La miocardopatía de Takotsubo (TTC) es afección en la que el corazón toma la apariencia de una olla japonesa para pescar pulpos, los síntomas y signos de MI coexisten sin estenosis o espasmos arteriales coronarios demostrable. La función VI puede estar notablemente deprimida, pero por lo general, se recupera dentro de unas pocas semanas. Un aumento repentino en la actividad simpática es considerado como un determinante crucial de la enfermedad en TTC. La demostración de la hiperactividad adrenérgica en TTC, fue extraída de un estudio en el que se realizó una gammagrafía plana con ¹²³I-Mibg durante la fase subaguda (media de 8 días después de la angiografía coronaria). Los pacientes (n=32) mostraron una menor C/M tardía y un aumento de TL que los sujetos de control con agudo síndrome coronario. La disminución de la captación cardíaca de MIBG estuvo atribuida a la inhibición de la recaptación de MIBG por la epinefrina con altos niveles en la hendidura sináptica y/o regulación negativa de NET. La hiperactividad adrenérgica se resolvió con el tiempo, como quedaría demostrado con valores tardíos de C/M y TL después de una mediana de 109 días [51]. La relación entre la innervación simpática, la perfusión miocárdica y el metabolismo de la glucosa en TTC, fue evaluado por MIBG gated SPECT, ^{99m}Tc-tetrofosmin o ²⁰¹Tl SPECT sincronizada y tomografía por emisión de positrones (PET) sincronizada con ¹⁸F-FDG, respectivamente [52]. Se encontró que los segmentos del VI disfuncionales tenían una perfusión normal aunque con una innervación y un metabolismo de la

glucosa reducidos. Estas últimas alteraciones se recuperaron más lentamente que el movimiento del VI [52]. El papel de las imágenes MIBG para la caracterización del paciente y la predicción del riesgo después de la fase aguda, aún no se ha caracterizado, mientras que probablemente no haya existido espacio para mejorar el trabajo del diagnóstico [53].

Cardiotoxicidad por antraciclinas

Entre los regímenes antineoplásicos, las antraciclinas presentan un riesgo particularmente alto de cardiotoxicidad [54]. Las antraciclinas causan anomalías en la función adrenérgica miocárdica que preceden a la disminución de la FEVI y a la insuficiencia cardíaca manifiesta. En estudios con animales, la captación de MIBG en las neuronas adrenérgicas miocárdicas fue reducida de una manera dependiente de la dosis [55] y la imagen MIBG demostró ser superior a la ecocardiografía, la NE plasmática y la tinción de cardiomiocitos en la detección temprana de oxorrubicina inducida por cardiotoxicidad [56]. Se confirmó en humanos una disminución dependiente de la dosis en la captación de MIBG antes del deterioro de la FEVI. En pacientes con exposición previa a regímenes de quimioterapia que contenían antraciclinas, el C/M tardío mostró una correlación inversa con la tensión longitudinal global [57], pero el daño a las neuronas miocárdicas adrenérgicas parecía persistir incluso en pacientes que se recuperan de una disfunción del VI [58]. En la actualidad, la aplicación más prometedora de imágenes MIBG en este entorno, son un diagnóstico temprano de cardiotoxicidad por antraciclina, pero se justifican más comparaciones con enfoques alternativos como la ecocardiografía de seguimiento de manchas o las troponinas de alta sensibilidad.

Trasplante de corazón

Durante el trasplante de corazón, el simpático posganglionar de las fibras nerviosas del corazón del donante se interrumpen quirúrgicamente, resultando en una denervación completa [59]. La denervación temprana del corazón después del trasplante, es un modelo útil para probar la especificidad de los agentes de imágenes neuronales, debido a que no existe captación cardíaca que deba ser detectada en esta condición [60]. La reinervación simpática después del trasplante, se informó por primera vez en

modelos animales [61] y luego en pacientes humanos evaluados con MIBG SPECT así como con trazadores PET [62, 63]. Por ejemplo, el 48% de los 23 pacientes evaluados a los 1 o 2 años después del trasplante, mostraron una captación cardíaca [60] y la reinervación partió de los segmentos basales, de las paredes anterior y septal [62, 63]. Las áreas del miocardio reinervado han mejorado la regulación del flujo sanguíneo, el uso de sustratos energéticos, el rendimiento cardíaco y la capacidad de ejercicio [64], pero la relación entre la reinervación y la supervivencia del paciente son inciertas [65].

Amiloidosis cardíaca

Las amiloidosis sistémicas se caracterizan por la acumulación extracelular de proteínas mal plegadas en la configuración de la hoja beta, lo que lleva a un daño tisular, las dos formas más comunes son la cadena ligera amiloide (AL) y la amiloidosis transtiretina (ATTR), esta última debida al depósito de moléculas TTR normales (ATTR de tipo nativa, ATTRwt) o mutadas (ATTR variante, ATTRv) [66-68]. El corazón es el órgano más comúnmente afectado en ATTRwt y es uno de los principales sitios de depósito de cadenas ligeras; además, se han identificado diferentes mutaciones en el gen TTR asociado con una afectación prevalente del corazón o del sistema nervioso periférico. Manifestaciones del corazón como la amiloidosis (AC), incluyen la pseudohipertrofia ventricular izquierda y alteraciones de la conducción. Evidencia clínica de la disfunción autónoma es bastante común en la amiloidosis ATTRv y AL pero no en ATTRwt. La muerte súbita cardíaca posee una alta incidencia y puede resultar en taquiarritmias, pero más a menudo por disociación electromecánica o arritmias no susceptibles de terapia con desfibrilador [66-68].

La gammagrafía con MIBG puede permitir evaluar inervación en el miocardio en CA [69]. Los portadores de mutaciones del gen TTR (n=31), exhibieron un C/M tardío reducido (<1.85) en el 48% de los casos, la mitad de los cuales, tenían una gammagrafía con difosfonato normal y todos los sujetos con una C/M normal exhibían una exploración ^{99m}Tc-DPD normal. En toda la cohorte (portadores o pacientes con ATTRv manifiesta, n=75), la exploración DPD resultó negativa en todos los pacientes con exploración normal MIBG excepto en 2 pacientes [70]. Por lo tanto, la denervación solidaria puede ser un marcador temprano de enfermedad cardíaca en ATTRv y podría

considerarse como una herramienta de detección de compromiso cardíaco en portadores del gen TTR. Una evaluación combinada de inervación, carga de amiloide (con ^{99m}Tc-hidroxi metileno difosfonato-^{99m}Tc-HMDP) y perfusión (^{99m}Tc-tetrofosmin) con una cámara de Telururo de cadmio y zinc (CTZ), se llevó a cabo solo en pacientes con ATTRwt, en un estudio pequeño (n=15), donde se informó un problema cardíaco de denervación simpática más evidente en la parte inferior y en regiones septales. Aunque las mismas regiones mostraron una severa carga amiloide, la acumulación de fibras amiloides era más intensa y extendida a todas las demás regiones del VI. Similarmente, la hipoperfusión miocárdica era menos intensa que la deposición amiloide con una distribución espacial similar a la denervación [71]. Estos resultados están de acuerdo con la noción de que la denervación simpática del miocardio no es un factor de característica importante en ATTRwt y se desarrolla en una etapa mucho más tardía que el depósito de amiloide, contrario a lo que sucede con ATTRv. En resumen, se dispone de datos muy fragmentarios sobre imágenes MIBG en CA con alguna evidencia de un papel para el diagnóstico temprano en ATTRv. Las imágenes SPECT merecen consideración en futuros estudios, explorando por ejemplo, los patrones de denervación miocárdica, su relación con el resultado y los cambios en respuesta a terapias novedosas como las tafamidis.

Fibrilación auricular

La actividad anormal del sistema nervioso autónomo cardíaco intrínseco, parece jugar un papel importante en la iniciación y mantenimiento de la fibrilación auricular (FA). Por ejemplo, en pacientes con la primera aparición de FA paroxística, una reducción tardía de C/M puede predecir el desarrollo de FA permanente durante un seguimiento medio de 4 años [72], y un alto TL (calculado en una condición de ritmo sinusal estable 5 días después del aislamiento de la vena pulmonar (AVP), que predice de forma independiente, las recaídas de FA durante una media de 14 meses en pacientes con paroxística o FA permanente FA [73]. Además, la presencia de defectos de inervación regional por defecto después de la PVI en imágenes MIBG SPECT, estuvo asociada con un mayor riesgo de recaídas de FA durante un seguimiento de 6 meses (40% frente a 17 % de los pacientes) [74]. El sistema cardíaco autónomo incluye miles de neuronas ubicadas en plexos ganglionares (GP) en las almohadillas de

grasa epicárdicas, las cuales proyectan axones a las regiones extensas del corazón. Cuatro de los siete principales GPs están ubicados alrededor de las venas pulmonares y los resultados de PVI a través de los pulsos por radiofrecuencia, pueden depender de la destrucción efectiva de estos GP. El enfoque estándar para localizar los GPs es aplicando una estimulación de alta frecuencia a las supuestas áreas de GP para obtener bloqueos auriculoventriculares, pero este método posee baja especificidad y sensibilidad, es invasivo y requiere mucho tiempo [75]. Las imágenes MIBG se han utilizado recientemente para localizar GPs. Stirrup et al. definieron un protocolo de tomografía computarizada a alta resolución CZT SPECT (TC) para identificar GPs que midieran entre 5–10 mm, con buena precisión y reproducibilidad cuando se establece comparación con la estimulación de alta frecuencia (HFS) [76]. Las imágenes de innervación auricular izquierda mediante SPECT podrían reemplazar o integrar HFS invasivos en la identificación de GPs, por lo tanto, se puede refinar la planificación del procedimiento de ablación. Es más, MIBG SPECT, representa una herramienta innovadora para evaluar el grado de denervación de la aurícula izquierda y la dinámica de la reinervación después del PVI, lo que podría ayudar a predecir las recurrencias de FA [77].

Diabetes mellitus

La diabetes mellitus (DM) es la enfermedad endocrina más frecuente y una de los principales determinantes de la morbilidad y mortalidad a nivel mundial. Las complicaciones a largo plazo de la DM incluyen un tipo de enfermedad macrovascular, que se manifiesta como coronaria o enfermedad arterial periférica que causa daño microvascular de la retina, riñones y nervios. Las neuropatías diabéticas son un grupo heterogéneo de complicaciones diabéticas que afectan diferentes partes del sistema nervioso periférico. La neuropatía autónoma cardíaca (NAC) resulta a partir del daño a las fibras autónomas que inervan al corazón y los vasos sanguíneos, lo que altera el control de la frecuencia cardíaca (FC) y la dinámica vascular. Las manifestaciones clínicas incluyen taquicardia en reposo, aumentos inadecuados en el gasto cardíaco durante el ejercicio, hipotensión ortostática e isquemia asintomática o infarto. En una cohorte retrospectiva de 144 pacientes con DM tipo 2, C/M tardío reducido (<1.7), predijo de forma independiente, todas las causas de mortalidad durante un periodo de 7.2 ± 3.2 años y la

combinación de C/M tardía reducida y HRV bajo eventos cardíacos independientes (arritmias, IC o MI), así como todas las causas de mortalidad [78]. Por lo tanto, el C/M, ya sea solo o integrado con otras medidas de CAN, tiene importancia pronóstica en pacientes con DM. No se conocen estudios investigando el valor pronóstico de MIBG SPECT y no se ha proporcionado una demostración concluyente de que el control intensivo de la glucemia puede mejorar la captación cardíaca de MIBG.

Enfermedad de Parkinson y trastornos relacionados

La enfermedad de Parkinson (EP), la demencia con cuerpos de Lewy (DCL) y la falla autónoma pura se denominan "enfermedades con cuerpos de Lewy (ECL)" porque comparten la presencia de cuerpos Lewy (inclusiones citoplasmáticas que contienen α -sinucleína y agregados de proteínas) en las neuronas. La principal aplicación clínica. La gammagrafía cardíaca con MIBG en pacientes con EP es actualmente, el diagnóstico diferencial entre la EP y otros parkinsonismos con alta sensibilidad y especificidad [79].

Futuras perspectivas

Las principales aplicaciones de MIBG y SPECT para imágenes simpáticas cardíacas se recapitulan en la tabla 1. Una de las posibles causas por las que las imágenes cardíacas MIBG, no han sido ampliamente adoptadas en la práctica clínica, incluso para la caracterización de los pacientes con IC, es el hecho de que los protocolos de adquisición siguen siendo bastante heterogéneos en términos de dosis del trazador, el tiempo de adquisición, el trazado del ROI y el uso de colimadores LE en lugar de ME, a pesar de una propuesta de estandarización [7]. La falta de estandarización es probablemente una de las principales fuentes de heterogeneidad entre los resultados del estudio, y puede ayudar a explicar el por qué esta técnica no se ha generalizado como adopción en la práctica clínica, y no ha entrado ni siquiera en manuales de IC a pesar de la evidencia de esta condición.

Tabla 1 Imágenes con ¹²³I-MIBG y enfermedad cardíaca: evidencia de estudios clínicos

	Diagnóstico (diagnóstico precoz o diagnóstico diferencial)		Estratificación del riesgo		Manejo de pacientes (planificación o seguimiento de la terapia con medicamentos/dispositivos, seguimiento)	
	Gammagrafía plana	SPECT	Gammagrafía plana	SPECT	Gammagrafía plana	SPECT
Falla cardíaca	-	-	†††	††	†	-
Enfermedad isquémica del corazón						
Síndrome coronario crónico	†	†	-	-	-	-
Infarto de miocardio	-	-	†	†	-	-
Insuficiencia cardíaca isquémica	-	-	†	†	-	-
Arritmias ventriculares y predicción de muerte súbita cardíaca en trastornos genéticos						
MCD idiopática	-	-	†	†	-	-
ICM	-	-	-	-	-	-
Miocardiopatía de Takotsubo	-	-	-	-	-	-
Cardiotoxicidad por antraciclinas	†	-	-	-	-	-
Trasplante de corazón	-	-	-	-	-	-
Amiloidosis cardíaca	-	†	-	-	-	-
Fibrilación auricular	-	-	-	-	-	-
Diabetes mellitus	-	-	†	-	-	-
Enfermedad de Parkinson y trastornos relacionados	†	-	-	-	-	-

†††= Evidencia a partir de múltiples estudios clínicos; ††= Evidencia a partir de un pequeño número de estudios; †= Evidencia a partir de uno o muy pocos estudios; - : sin evidencia clara de estudios publicados.

La única excepción es un manual en conjunto con la Sociedad de Circulación Japonesa, que incluye una recomendación de clase I para imágenes MIBG para la evaluación de la gravedad y el pronóstico de la IC [80]. Un enfoque estandarizado para la adquisición de imágenes MIBG, posiblemente estimulado por recomendaciones novedosas y actualizadas, puede entonces ser previsto. Los puntos fuertes de las imágenes MIBG, es decir, el hecho de que las adquisiciones tempranas y tardías son relativamente rápidas, la radiación y la exposición son limitadas (con una dosis efectiva de menos de 1 mSv cuando se usan cámaras CZT), la mayoría de las terapias no influyen en los resultados, las contraindicaciones se limitan a la hipersensibilidad conocida respecto a las MIBG o al sulfato de MIBG, y los efectos adversos son muy escasos [7]. Debe enfatizarse además que el papel de la caracterización regional a través de MIBG SPECT, merece una mayor consideración como una herramienta para capturar las primeras etapas de la denervación del miocardio, posiblemente perdido por la gammagrafía planar, o para identificar regiones de desajuste de inervación/perfusión cuando se combina con SPECT de perfusión. Entre los últimos avances en imágenes SPECT, se tiene la técnica CZT y el detector digital basado en SPECT/CT; no obstante, se puede obviar la necesidad de colimadores ME.

La imagen PET de la inervación simpática cardíaca, posee muchas ventajas sobre MIBG SPECT, incluyendo una mayor resolución espacio-temporal y una corrección de atenuación bien validada, la disponibilidad de muchos trazadores que permiten explorar terminales presinápticas y postsinápticas y la posibilidad de captación cuantitativa del trazador [1]. Por otro lado, la necesidad para un ciclotrón in situ para todos los trazadores marcados con ¹¹C, limitan en gran medida, la aplicabilidad de la PET en la clínica actual práctica, y solicita una búsqueda de la configuración donde puede ser reemplazado por MIBG SPECT.

Abreviaciones y acrónimos

ACEi/ARB= inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina o bloqueadores de los receptores de angiotensina.

ADMIRE-IC= Imágenes del miocardio AdreView para el riesgo de evaluación en insuficiencia cardíaca.

ADMIRE-ICX= Estudio de extensión de ADMIRE-IC.

AF= Fibrilación auricular.

AL= Cadena ligera de amiloide.

ATTR= Transtiretina amiloide (ATTR_v, forma de la variante; ATTR_{wt}, forma tipo nativa).

BNP= Péptido natriurético tipo B.

CA= Amiloidosis cardíaca.

CAN= Neuropatía autónoma cardíaca.
CCS= Síndrome coronario crónico.
CI= Intervalo de confidencia.
C/M= Corazón a mediastinum.
CRT= Terapia de resincronización cardíaca.
CT= Tomografía computarizada.
CZT= Telururo de cadmio y zinc.
DCM= Cardiomiopatía dilatada.
DLB= Demencia con cuerpos de Lewy.
DM= Diabetes Mellitus.
EP= Electrofisiológica.
GP= Plexus ganglionado.
HCM= Cardiomiopatía hipertrófica.
HFrEF= Insuficiencia cardíaca con fracción de eyección reducida.
HFS= Estimulación de alta frecuencia.
HR(V)= Ritmo cardíaco (variabilidad).
IC= Insuficiencia cardíaca.
ICD= Desfibrilador de cardioversión implantable.
LBD= Enfermedades de cuerpos de Lewy.
LV= Ventrículo izquierdo/ ventricular izquierdo.
LVAD= Dispositivo asistente del ventrículo izquierdo.
LVEF= Fracción de eyección del ventrículo izquierdo.
MACE= Principales eventos cardíacos adversos.
MI= Infarto al miocardio.
MIBG= Metayodobencilguanidina.
MRA= Antagonista de los receptores de mineralocorticoides.
NE= Norepinefrina.
NET= Transportador de la norepinefrina
NP= Péptido natriurético
NYHA= Asociación del Corazón de New York
OR= Relación de probabilidades.
PD= Enfermedad de Parkinson
PV= Vena pulmonar
PVI= Aislamiento de la vena pulmonar
ROI= Región de interés
RV= Ventrículo derecho/ventricular derecho.
SCD= Muerte súbita cardíaca.
SGLT2i= Cotransportador-2 inhibidores de glucosa de sodio.
SHFM= Modelo de insuficiencia cardíaca de Seattle.
SPECT= Tomografía computarizada de emisión foto sencilla.

Consentimiento para publicación

los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran no poseer ningún tipo de conflicto de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no de las instituciones a las cuales pertenecen.

Perfil de autoría

Alberto Aimò

Cardiólogo en la Fondazione Toscana Gabriele Monasterio (una sección del Consejo Nacional de Investigación de Italia) y candidato a doctorado en la Scuola Superiore Sant'Anna en Pisa, Italia. Su actividad investigadora se ha centrado principalmente en la insuficiencia cardíaca y las miocardiopatías en particular, la miocardiopatía dilatada idiopática y la amiloidosis cardíaca, pero también la afectación cardíaca en la enfermedad mitocondrial o las distrofias musculares. Sus principales campos de interés son el uso de biomarcadores o hallazgos de imagen como herramientas para el diagnóstico y manejo de la insuficiencia cardíaca y las miocardiopatías.



Alessia Gimelli

Directora Médica. Departamento de Medicina Nuclear en la Fondazione Toscana/CNR "Gabriele Monasterio", Pisa, Italia. Ha publicado más de 150 artículos publicados en revistas indexadas en Scopus y WoS. Es editora actualmente de cuatro revistas Q1 y Q2: *Imaging*, *European Journal of Cardiovascular Imaging*; *Journal of Nuclear Cardiology*; *International Journal of Cardiac Imaging*. Es cardióloga y especialista en medicina nuclear. Desde 2013, lidera el sistema de aseguramiento de la calidad del departamento de medicina nuclear de la FTGM. En octubre de 2019 ganó la beca ESC: Women Transforming Leadership Program (WTLF) de la Saïd Business School de la Universidad de Oxford (Reino Unido). Tiene una amplia experiencia en investigación clínica sobre enfermedades cardiovasculares e imágenes cardiovasculares y ha contribuido a varios proyectos internacionales de alto perfil. Es miembro del Comité de Defensa de ESC (2020-2022) y fue vicepresidente de EACVI y presidente de la sección de cardiología nuclear y TC (2018-2020).



Referencias

- [1] Zelt J, deKemp R, Rotstein B, Nair G, Narula J, Ahmadi A, et al. Nuclear imaging of the cardiac sympathetic nervous system: a disease-specific interpretation in heart failure. *JACC Cardiovasc Imaging* 2020; 13: 1036–54. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.01.042>
- [2] Schroeder C, Jordan J: Norepinephrine uptake mechanisms in cardiovascular disease deserve our attention. *J Cardiovasc Pharmacol* 2011; 58: 406–8. <https://doi.org/10.1097/FJC.0B013E31822EAE22>
- [3] Eisenhofer G: The role of neuronal and extraneuronal plasma membrane transporters in the inactivation of peripheral catecholamines. *Pharmacol Ther* 2001; 91: 35–62. [https://doi.org/10.1016/s0163-7258\(01\)00144-9](https://doi.org/10.1016/s0163-7258(01)00144-9)

- [4] Pandit-Taskar N, Modak S: Norepinephrine transporter as a target for imaging and therapy. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med* 2017; 58: 39s–53s. <https://doi.org/10.2967/jnumed.116.186833>
- [5] Patel AD, Iskandrian AE: MIBG imaging. *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol* 2002; 9: 75–94. <https://doi.org/10.1067/mnc.2002.121471>
- [6] Kline R, Swanson D, Wieland D, Thrall J, Gross M, Pitt B, et al. Myocardial imaging in man with I-123 metaiodobenzylguanidine. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med* 1981; 22: 129–32. PMID: 7463156.
- [7] Flotats A, Carrió I, Agostini D, Marcassa C, Schafers M, Aernout Somsem G, et al.: Proposal for standardization of 123I-metaiodobenzylguanidine (MIBG) cardiac sympathetic imaging by the EANM cardiovascular committee and the European council of nuclear cardiology. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2010; 37: 1802–12. <https://doi.org/10.1007/s00259-010-1491-4>
- [8] Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. A report of a task group of committees 2 of the international commission on radiological protection. *Ann ICRP* 1987; 18: 1–377. PMID: 3505163
- [9] Verberne HJ, Verschure DO, Somsen GA, van Eck-Smit BL, Jacobson AF: Vascular time-activity variation in patients undergoing 123I-MIBG myocardial scintigraphy: implications for quantification of cardiac and mediastinal uptake. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2011; 38: 1132–8. <https://doi.org/10.1007/s00259-011-1783-3>
- [10] Nakajima K, Matsumoto N, Kasai T, Matsuo S, Kiso K, Okuda K: Normal values and standardization of parameters in nuclear cardiology: Japanese Society of Nuclear Medicine working group database. *Ann Nucl Med* 2016; 30: 188–99. <https://doi.org/10.1007/s12149-016-1065-z>
- [11] Nakajima K, Okuda K, Matsuo S, Wakabayashi H, Kinuya S: Is (123I)-metaiodobenzylguanidine heart-to-mediastinum ratio dependent on age? From Japanese Society of Nuclear Medicine normal database. *Ann Nucl Med* 2018; 32: 175–81. <https://doi.org/10.1007/s12149-018-1231-6>
- [12] Matsuo S, Nakajima K, Yamashina S, Sakata K, Momose M, Hashimoto J, et al.: Characterization of Japanese standards for myocardial sympathetic and metabolic imaging in comparison with perfusion imaging. *Ann Nucl Med* 2009; 23: 517–22. <https://doi.org/10.1007/s12149-009-0269-x>
- [13] Jacobson AF, Travin MI: Impact of medications on mIBG uptake, with specific attention to the heart: comprehensive review of the literature. *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol* 2015; 22: 980–93. <https://doi.org/10.1007/s12350-015-0170-z>
- [14] Carrió I, Cowie MR, Yamazaki J, Udelson J, Camici PG: Cardiac sympathetic imaging with mIBG in heart failure. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010; 3: 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2009.07.014>
- [15] Verberne HJ, Brewster LM, Somsen GA, van Eck-Smit BL: Prognostic value of myocardial 123I-metaiodobenzylguanidine (MIBG) parameters in patients with heart failure: a systematic review. *Eur Heart J* 2008; 29: 1147–59. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehn113>
- [16] Kuwabara Y, Tamaki N, Nakata T, Yamashina S, Yamazaki J: Determination of the survival rate in patients with congestive heart failure stratified by 123I-MIBG imaging: a meta-analysis from the studies performed in Japan. *Ann Nucl Med* 2011; 25: 101–7. <https://doi.org/10.1007/s12149-010-0452-0>
- [17] Merlet P, Valette H, Dubois-Rande J, Moyse D, Duboc D, Dove P, et al.: Prognostic value of cardiac metaiodobenzylguanidine imaging in patients with heart failure. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med* 1992; 33: 471–7.
- [18] Ebina T, Takahashi N, Mitani I, et al.: Clinical implications of cardiac (123I)-meta-iodobenzylguanidine scintigraphy and cardiac natriuretic peptides in patients with heart disease. *Nucl Med Commun* 2002; 23: 795–801. <https://doi.org/10.1097/00006231-200208000-00014>
- [19] Jacobson A, Senior R, Cerqueira M, Wong N, Thomas G, Lopez V, et al.: Myocardial iodine-123 meta-iodobenzylguanidine imaging and cardiac events in heart failure. Results of the prospective ADMIRE-HF (AdreView Myocardial Imaging for Risk Evaluation in Heart Failure) study. *J Am Coll Cardiol* 2010; 55: 2212–21. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.01.014>
- [20] Jacobson AF, Lombard J, Banerjee G, Camici PG: 123I-mIBG scintigraphy to predict risk for adverse cardiac outcomes in heart failure patients: design of two prospective multicenter international trials. *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol* 2009; 16: 113–21. <https://doi.org/10.1007/s12350-008-9008-2>
- [21] Piña IL, Carson P, Lindenfeld J, Archambault WT, Jacobson AF: Persistence of (123I)-mIBG prognostic capability in relation to medical therapy in heart failure (from the ADMIRE-HF trial). *The Am J Cardiol* 2017; 119: 434–9. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2016.10.024>
- [22] Narula J, Gerson M, Thomas GS, Cerqueira MD, Jacobson AF: 123I-MIBG imaging for prediction of mortality and potentially fatal events in heart failure: the ADMIRE-HFX study. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med* 2015; 56: 1011–8. <https://doi.org/10.2967/jnumed.115.156406>
- [23] Ketchum E, Jacobson A, Caldwell J, Senior R, Cerqueira M, Thomas G, et al.: Selective improvement in Seattle Heart Failure Model risk stratification using iodine-123 meta-iodobenzylguanidine imaging. *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol* 2012; 19: 1007–16. <https://doi.org/10.1007/s12350-012-9603-0>
- [24] Koutelou M, Katsikis A, Flevari P, Theodorakis G, Livanis E, Georgiadis M, et al.: Predictive value of cardiac autonomic indexes and MIBG washout in ICD recipients with mild to moderate heart failure. *Ann Nucl Med* 2009; 23: 677–84. <https://doi.org/10.1007/s12149-009-0289-6>
- [25] Arora R, Ferrick K, Nakata T, Kaplan R, Rozengarten M, Latif F, et al.: 2003I-123 MIBG imaging and heart rate variability analysis to predict the need for an implantable cardioverter defibrillator. *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol*, 10: 121–31. <https://doi.org/10.1067/mnc.2003.2>
- [26] Boogers M, Borleffs C, Henneman M, Van Bommel R, van Ramshorst J, Boersma E, et al.: Cardiac sympathetic denervation assessed with 123I-iodine metaiodobenzylguanidine imaging predicts ventricular arrhythmias in implantable cardioverter-defibrillator patients. *J Am Coll Cardiol*, 2010. 55: 2769–77. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.12.066>
- [27] Nishisato K, Hashimoto A, Nakata T, Doi Y, Yamamoto H, Nagahara D, et al.: Impaired cardiac sympathetic innervation and myocardial perfusion is related to lethal arrhythmia: quantification of cardiac tracers in patients with ICDs. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med* 2010; 51: 1241–9. <https://doi.org/10.2967/jnumed.110.074971>
- [28] Agostini D, Belin A, Amar M, Darlas Y, Hamon M, Grollier G, et al.: Improvement of cardiac neuronal function after carvedilol treatment in dilated cardiomyopathy: a 123I-MIBG scintigraphic study. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med* 2000; 41: 845–51. PMID: 10809201
- [29] Cha Y, Oh J, Miyazaki C, Rea R, Shen W, Asirvatham S, et al.: Cardiac resynchronization therapy upregulates cardiac autonomic

- control. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2008; 19: 1045–52. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2008.01190.x>
- [30] Suwa M, Otake Y, Moriguchi A, Ito T, Hirota Y, Kawamura K, et al.: Iodine-¹²³ metaiodobenzylguanidine myocardial scintigraphy for prediction of response to beta-blocker therapy in patients with dilated cardiomyopathy. *Am Heart J* 1997; 133: 353–8. [https://doi.org/10.1016/s0002-8703\(97\)70232-1](https://doi.org/10.1016/s0002-8703(97)70232-1)
- [31] Kasama S, Toyama T, Kumakura H, Takayama Y, Ichikawa S, Suzuki T, et al.: Effects of perindopril on cardiac sympathetic nerve activity in patients with congestive heart failure: comparison with enalapril. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2005; 32: 964–71. <https://doi.org/10.1007/s00259-005-1786-z>
- [32] Matsui T, Tsutamoto T, Maeda K, Kusukawa J, Kinoshita M: Prognostic value of repeated ¹²³I-metaiodobenzylguanidine imaging in patients with dilated cardiomyopathy with congestive heart failure before and after optimized treatments—comparison with neurohumoral factors. *Circ J Off Jpn Circ Soc* 2002; 66: 537–43. <https://doi.org/10.1253/circj.66.537>
- [33] Sakata K, Shirotani M, Yoshida H, Kurata C: Iodine-¹²³ metaiodobenzylguanidine cardiac imaging to identify and localize vasospastic angina without significant coronary artery narrowing. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 370–6. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(97\)00159-9](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(97)00159-9)
- [34] Inobe Y, Kugiyama K, Miyagi H, Ohgushi M, Tomiguchi S, Takahashi M, et al.: Long-lasting abnormalities in cardiac sympathetic nervous system in patients with coronary spastic angina: quantitative analysis with iodine ¹²³metaiodobenzylguanidine myocardial scintigraphy. *Am Heart J* 1997; 134: 112–8. [https://doi.org/10.1016/s0002-8703\(97\)70114-5](https://doi.org/10.1016/s0002-8703(97)70114-5)
- [35] Langer A, Freeman MR, Josse RG, Armstrong PW: Metaiodobenzylguanidine imaging in diabetes mellitus: assessment of cardiac sympathetic denervation and its relation to autonomic dysfunction and silent myocardial ischemia. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 610–8. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(94\)00459-4](https://doi.org/10.1016/0735-1097(94)00459-4)
- [36] Fallavollita JA, Cauty JM, Jr.: Dysinnervated but viable myocardium in ischemic heart disease. *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol* 2010; 17: 1107–15. <https://doi.org/10.1007/s12350-010-9292-5>
- [37] Matsunari I, Schricke U, Bengel F, Haase H, Barthel P, Schmidt G, et al.: Extent of cardiac sympathetic neuronal damage is determined by the area of ischemia in patients with acute coronary syndromes. *Circulation* 2000; 101: 2579–85. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.22.2579>
- [38] Zipes DP: Ischemic modulation of myocardial innervation. *Giornale italiano di cardiologia* 1992; 22: 615–21.
- [39] Sasano T, Abraham M, Chang K, Ashikaga H, Mills J, Holt D, et al.: Abnormal sympathetic innervation of viable myocardium and the substrate of ventricular tachycardia after myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2008; 51: 2266–75. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2008.02.062>
- [40] Minardo J, Tuli M, Mock B, Weiner R, Pride H, Wellman H, et al.: Scintigraphic and electrophysiological evidence of canine myocardial sympathetic denervation and reinnervation produced by myocardial infarction or phenol application. *Circulation* 1988; 78: 1008–19. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.78.4.1008>
- [41] Hartikainen J, Kuikka J, M€antysaari M, L€ansimies E, Py€or€al€a K: Sympathetic reinnervation after acute myocardial infarction. *The Am J Cardiol* 1996; 77: 5–9. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(97\)89125-4](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(97)89125-4)
- [42] Bengel FM, Barthel P, Matsunari I, Schmidt G, Schwaiger M: Kinetics of ¹²³I-MIBG after acute myocardial infarction and reperfusion therapy. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med* 1999; 40: 904–10. PMID: 10452304.
- [43] Imamura Y, Ando H, Mitsuoka W, Egashira S, Masaki H, Ashihara T, et al.: Iodine-¹²³ metaiodobenzylguanidine images reflect intense myocardial adrenergic nervous activity in congestive heart failure independent of underlying cause. *J Am Coll Cardiol* 1995; 26: 1594–9. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(95\)00374-6](https://doi.org/10.1016/0735-1097(95)00374-6)
- [44] Wakabayashi T, Nakata T, Hashimoto A, Yuda S, Tsuchihashi K, Travin M, et al.: Assessment of underlying etiology and cardiac sympathetic innervation to identify patients at high risk of cardiac death. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med* 2001; 42: 1757–67. PMID: 11752070.
- [45] Bax J, Kraft O, Buxton A, Gunnar Fjeld J, Parížek P, Agostini D, et al.: ¹²³I-mIBG scintigraphy to predict inducibility of ventricular arrhythmias on cardiac electrophysiology testing: a prospective multicenter pilot study. *Circ Cardiovasc Imaging* 2008; 1: 131–40. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.108.782433>
- [46] Sazonova S, Atabekov T, Batalov R, Mishkina A, Varlamova J, Zavadovsky K, et al.: Prediction of appropriate ICD therapy in patients with ischemic heart failure. *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol* 2020. <https://doi.org/10.1007/s12350-020-02321-y>
- [47] Gimelli A, Menichetti F, Soldati E, Liga R, Scelza N, Zucchelli G, et al.: Predictors of ventricular ablation’s success: viability, innervation, or mismatch? *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol* 2019, 28(1):175-183. <https://doi.org/10.1007/s12350-018-01575-x>
- [48] Ohshima S, Isobe S, Izawa H, Nanasato M, Ando A, Yamada A, et al.: 2005Cardiac sympathetic dysfunction correlates with abnormal myocardial contractile reserve in dilated cardiomyopathy patients. *J Am Coll Cardiol*, 46: 2061–8. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.08.046>
- [49] Ohshima S, Isobe S, Hayashi D, Abe S, Kato K, Murohara T: Myocardial ¹²³I-MIBG scintigraphy predicts an impairment in myocardial functional reserve during dobutamine stress in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2013; 40: 262–70. <https://doi.org/10.1007/s00259-012-2256-z>
- [50] Maeno M, Ishida Y, Shimonagata T, Hayashida K, Toyama T, Hirose Y, et al.: The significance of ²⁰¹Tl/¹²³I MIBG (metaiodobenzylguanidine) mismatched myocardial regions for predicting ventricular tachycardia in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy. *Kaku igaku The Jpn J Nucl Med* 1993; 30: 1221–9. PMID: 8264112.
- [51] Christensen T, Bang L, Holmvang L, Skovgaard D, Oturai D, Søholm H, et al.: (123)I-MIBG scintigraphy in the subacute state of takotsubo cardiomyopathy. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016; 9: 982–90. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.01.028>
- [52] Cimarelli S, Sauer F, Morel O, Ohlmann P, Constantinesco A, Imperiale A: Transient left ventricular dysfunction syndrome: patho-physiological bases through nuclear medicine imaging. *Int J Cardiol* 2010; 144: 212–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2009.04.025>
- [53] Madias JE: Do we need MIBG in the evaluation of patients with suspected Takotsubo syndrome? Diagnostic, prognostic, and pathophysiological connotations. *Int J Cardiol* 2016; 203: 783–4. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.11.046>
- [54] Laursen A, Thune J, Hutchings M, Hasbak P, Kjaer A, Elming M, et al.: (123) I-MIBG imaging for detection of anthracycline-induced cardiomyopathy. *Clin Physiol Funct Imaging* 2018 38: 176–85. <https://doi.org/10.1111/cpf.12419>

- [55] Wakasugi S, Wada A, Hasegawa Y, Nakano S, Shibata N: Detection of abnormal cardiac adrenergic neuron activity in adriamycin-induced cardiomyopathy with iodine-125-metaiodobenzylguanidine. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med* 1992; 33:208–14. PMID: 1732442.
- [56] Jeon TJ, Lee JD, Ha JW, Yang WI, Cho SH: Evaluation of cardiac adrenergic neuronal damage in rats with doxorubicin-induced cardiomyopathy using iodine-¹²³I MIBG autoradiography and PGP 9.5 immunohistochemistry. *Eur J Nucl Med* 2000; 27: 686–93. <https://doi.org/10.1007/s002590050563>
- [57] Bulten B, Verberne H, Bellersen L, Oyen W, Sabaté-Llobera A, Mavinkurve-Groothuis A, et al.: Relationship of promising methods in the detection of anthracycline-induced cardiotoxicity in breast cancer patients. *Cancer Chemother Pharmacol* 2015; 76: 957–67. <https://doi.org/10.1007/s00280-015-2874-9>
- [58] Nousiainen T, Vanninen E, Jantunen E, Remes J, Kuikka J, Hartikainen J: Anthracycline-induced cardiomyopathy: long-term effects on myocardial cell integrity, cardiac adrenergic innervation and fatty acid uptake. *Clin Physiol (Oxford, England)* 2001; 21: 123–8. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2281.2001.00292.x>
- [59] Cooper T, Willman VL, Jellinek M, Hanlon CR: Heart autotransplantation: effect on myocardial catecholamine and histamine. *Science (New York, NY)* 1962; 138: 40–1. <https://doi.org/10.1126/science.138.3536.40>
- [60] De Marco T, Dae M, Yuen-Green M, Kumar S, Sudhir K, Keith F, et al.: Iodine-¹²³ metaiodobenzylguanidine scintigraphic assessment of the transplanted human heart: evidence for late reinnervation. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 927–31. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(94\)00463-z](https://doi.org/10.1016/0735-1097(94)00463-z)
- [61] Norvell JE, Lower RR: Degeneration and regeneration of the nerves of the heart after transplantation. *Transplantation* 1973; 15: 337–44. <https://doi.org/10.1097/00007890-197303000-00015>
- [62] Bengel FM, Ueberfuhr P, Ziegler SI, Nekolla S, Reichart B, Schwaiger M: Serial assessment of sympathetic reinnervation after orthotopic heart transplantation. A longitudinal study using PET and C-11 hydroxyephedrine. *Circulation* 1999; 99:1866–71. <https://doi.org/10.1161/01.cir.99.14.1866>
- [63] Ueberfuhr P, Ziegler S, Schwaiblmair M, Reichart B, Schwaiger M: Incomplete sympathetic reinnervation of the orthotopically transplanted human heart: observation up to 13 years after heart transplantation. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000; 17: 161–8. [https://doi.org/10.1016/s1010-7940\(99\)00367-x](https://doi.org/10.1016/s1010-7940(99)00367-x)
- [64] Bengel FM, Ueberfuhr P, Schiepel N, Nekolla SG, Reichart B, Schwaiger M: Effect of sympathetic reinnervation on cardiac performance after heart transplantation. *The New Engl J Med* 2001; 345: 731–8. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa010519>
- [65] Bengel FM, Ueberfuhr P, Hesse T, et al.: Clinical determinants of ventricular sympathetic reinnervation after orthotopic heart transplantation. *Circulation* 2002; 106: 831–5. <https://doi.org/10.1161/01>
- [66] Aimo A, Buda G, Fontana M, Barison A, Vergaro G, Emdin M, et al.: Therapies for cardiac light chain amyloidosis: an update. *Int J Cardiol* 2018; 271: 152–60. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.05.018>
- [67] Aimo A, Castiglione V, Borrelli C, et al.: Oxidative stress and inflammation in the evolution of heart failure: from pathophysiology to therapeutic strategies. *Eur J Prev Cardiol* 2020; 2047487319870344. <https://doi.org/10.1177/2047487319870344>
- [68] Emdin M, Aimo A, Rapezzi C, Fontana M, Perfetto F, Seferovic P, et al.: Treatment of cardiac transthyretin amyloidosis: an update. *Eur Heart J* 2019; 40: 3699–706. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz298>
- [69] Dorbala S, Ando Y, Bokhari S, Dispenzieri A, Falk R, Ferrari V, et al.: ASNC/AHA/ASE/EANM/HFSA/ISA/SCMR/SNMMI expert consensus recommendations for multimodality imaging in cardiac amyloidosis: Part 2 of 2-Diagnostic criteria and appropriate utilization. *J Nucl Cardiol* 2021, 14(7), e000030. <https://doi.org/10.1161/HCI.0000000000000030>
- [70] Piekarski E, Chequer R, Algalarrondo V, Eliahou L, Mahida B, Vigne N, et al.: Cardiac denervation evidenced by MIBG occurs earlier than amyloid deposits detection by diphosphonate scintigraphy in TTR mutation carriers. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2018; 45: 1108–18. <https://doi.org/10.1007/s00259-018-3963-x>
- [71] Vergaro G, Genovesi D, Santonato V, Kusch A, et al.: Cardiac sympathetic denervation in wild-type transthyretin amyloidosis. *Amyloid Int J Exp Clin Invest Off J Int Soc Amyloidosis* 2020; 1–7.
- [72] Akutsu Y, Kaneko K, Kodama Y, Li H, Suyama J, Shinozuka A, et al.: Iodine-¹²³ mIBG imaging for predicting the development of atrial fibrillation. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011; 4: 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2010.10.005>
- [73] Arimoto T, Tada H, Igarashi M, Sekiguchi Y, Sato A, Koyama S, et al.: High washout rate of iodine-¹²³-metaiodobenzylguanidine imaging predicts the outcome of catheter ablation of atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2011; 22: 1297–304. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2011.02123.x>
- [74] Wenning C, Lange P, Sch€ulke C, Vrachimis A, Mc€onnig G, Schober O, et al.: Pulmonary vein isolation in patients with paroxysmal atrial fibrillation is associated with regional cardiac sympathetic denervation. *EJNMMI Res* 2013; 3: 81. <https://doi.org/10.1186/2191-219X-3-81>
- [75] Lemery R, Ben-Haim S, Wells G, Ruddy TD: I-¹²³-Metaiodobenzylguanidine imaging in patients with atrial fibrillation undergoing cardiac mapping and ablation of autonomic ganglia. *Heart rhythm* 2017; 14: 128–32. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2016.08.038>
- [76] Stirrup J, Gregg S, Baavour R, Roth N, Breault C, Agostini D, et al.: Hybrid solid-state SPECT/CT left atrial innervation imaging for identification of left atrial ganglionated plexi: technique and validation in patients with atrial fibrillation. *J Nucl Cardiol official Publ Am Soc Nucl Cardiol* 2020. <https://doi.org/10.1007/s12350-018-01535-5>
- [77] Teresinska A: I-123-MIBG cardiac innervation imaging in patients with atrial fibrillation. *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol* 2020, 6:1951-4. <https://doi.org/10.1007/s12350-019-01601-6>
- [78] Nagamachi S, Fujita S, Nishii R, Futami S, Tamura S, Mizuta M, et al.: Prognostic value of cardiac I-¹²³ metaiodobenzylguanidine imaging in patients with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *J Nucl Cardiol Off Publ Am Soc Nucl Cardiol* 2006; 13: 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.nuclcard.2005.11.009>
- [79] Treglia G, Cason E: Diagnostic performance of myocardial innervation imaging using MIBG scintigraphy in differential diagnosis between dementia with lewy bodies and other dementias: a systematic review and meta-analysis. *J Neuroimaging* 2012; 22: 111–7. <https://doi.org/10.1111/j.1552-6569.2010.00532.x>
- [80] Guidelines for clinical use of cardiac nuclear medicine (JCS 2010)– digest version –. *Circ J Off J Jpn Circ Soc* 2012; 76: 761–7. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-88-0019>

Determinación del sitio de descarga anormal inicial en la epilepsia del lóbulo temporal mediante EEG combinado y neuroimagen. ¿Qué sigue?

Determination of the initial abnormal discharge site in temporal lobe epilepsy through combined EEG and neuroimaging. What is next?

Ana Arely Rentería-Palomo , José Luis Montes-Ochoa , Adriana Martínez-Mayorga , Jorge Guillermo Reyes-Vaca  e Ildefonso Rodríguez-Leyva *

Acceso Abierto

Correspondencia:

ildefonso.rodriguez@uaslp.mx
Facultad de Medicina, Servicio de
Neurología, Hospital Central Dr.
Ignacio Morones Prieto, Universidad
Autónoma de San Luis Potosí
(UASLP), San Luis Potosí, México

Sometido:

24-03-2022

Aceptado para publicación:

23-10-2022

Publicado en línea:

01-12-2022

Palabras clave:

Ataque epiléptico; EEG; ELT; RMV;
volumen del hipocampo.

Key words:

EEG; epileptic seizure;
hippocampal volume; MRI;
TLE.

Citación:

Rentería-Palomo A, Montes-Ochoa JL., Martínez-Mayorga A., Reyes-Vaca JG., Rodríguez-Leyva I.
Determinación del sitio de descarga anormal inicial en la epilepsia del lóbulo temporal mediante EEG combinado y neuroimagen. ¿Qué sigue? *Magna Scientia UCEVA* 2022; 2:2 191-196.
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a4>

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar la relación entre la atrofia del hipocampo y la severidad de la epilepsia en pacientes con epilepsia del lóbulo temporal (ELT) como primer paso para evaluar la posibilidad de cirugía para la epilepsia y analizar por qué los pacientes no pueden operarse de la epilepsia. Se realizó RM volumétrica del hipocampo en 51 pacientes consecutivos (29 hombres; edad media 40) con ELT. El diagnóstico de ELT, la lateralización y la gravedad (leve, moderada, grave) de las convulsiones se basaron en una evaluación integral que incluyó examen neurológico y EEG en todos los pacientes. Los pacientes con evidencia de una lesión diferente a la esclerosis del hipocampo no se incluyeron en el estudio. Evaluamos la relación entre los volúmenes del hipocampo y la evidencia electrofisiológica de la gravedad de las convulsiones. Según el lado afectado con base en el EEG, se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.001$) en el volumen y una correlación positiva entre la epilepsia y la atrofia del hipocampo. Nuestros resultados confirman que la pérdida de volumen en el hipocampo en pacientes con ELT se correlaciona con la gravedad de la epilepsia según el EEG. Por lo tanto, el tratamiento quirúrgico se considera temprano cuando la atrofia del hipocampo es evidente en pacientes con ELT refractario. Sin embargo, en los países latinoamericanos es un desafío lograr que un paciente se someta a una cirugía de epilepsia. Por ello, tratamos de analizar la triste situación de nuestro hospital.

Abstract

The aim of this study was to determine the relationship between atrophy of the hippocampus and severity of epilepsy in patients with temporal lobe epilepsy (TLE) as the first step to evaluate the possibility of surgery for epilepsy and analyze why patients cannot undergo epilepsy surgery. Volumetric MRI of the hippocampus was performed in 51 consecutive patients (29men;mean age 40) with TLE. TLE diagnosis, lateralization, and severity (mild, moderate, severe) of seizures were based on a comprehensive evaluation that included neurologic examination and EEG in all patients. Patients with evidence of a lesion other than hippocampal sclerosis were not included in the study. We assessed the relationship between hippocampal volumes and electrophysiological evidence of seizure severity. According to the affected side based on the EEG, a statistically significant difference ($p < 0.001$) in volume and a positive correlation between epilepsy and hippocampal atrophy were found. Our results confirm that volume loss to the hippocampus in patients with TLE correlates with the severity of epilepsy based on the EEG. Therefore, surgical treatment is considered early when hippocampal atrophy is evident in patients with refractory TLE. However, in Latin American countries, it is a challenge to get a patient to undergo epilepsy surgery. Therefore, we try to analyze the sad situation in our hospital.



Introducción

La epilepsia [según la Liga Internacional contra la Epilepsia, ILAE, y la Oficina Internacional para la Epilepsia, IBE, (2005)] se define como un trastorno cerebral caracterizado por una predisposición a generar crisis epilépticas recurrentes, lo que suele dejar secuelas neurobiológicas, cognitivas, psicológicas y sociales, en las que es necesaria la presencia de al menos una crisis epiléptica [1]. Un grupo de trabajo de la ILAE propuso que la epilepsia es una enfermedad cerebral definida por [1] al menos dos convulsiones no provocadas (o reflejas) en más de 1 día; [2] una convulsión no provocada (o refleja) y probabilidad de nuevas convulsiones similar al riesgo general de recurrencia (al menos 60%) después de dos convulsiones no provocadas, que ocurran dentro de los próximos 10 años; [3] diagnóstico de un síndrome epiléptico [2]. Una crisis epiléptica es un evento recurrente caracterizado por la presencia transitoria de signos y síntomas debido a una hiperactividad anormal o actividad neuronal sincrónica en el cerebro [1]. Factores que influyen en la forma de manifestación de una convulsión epiléptica son: *i*) la ubicación de la hiperactividad neuronal anormal en el cerebro; *ii*) el modo de propagación; *iii*) la madurez del cerebro; *iv*) la enfermedad subyacente del paciente; *v*) el ciclo de sueño-vigilia; *vi*) medicamentos y *vii*) la semiología clínica de las convulsiones, entre otros. Además, el EEG y la RM [3] pueden ayudar a localizar la anomalía en la función o estructura del cerebro, especialmente en la epilepsia del lóbulo temporal (ELT).

En 1989, la ELT se incluyó en la clasificación ILAE bajo el grupo de las epilepsias sintomáticas relacionadas con la localización, la definición ofrece una descripción tentativa basada en sugerencias de características clínicas más hallazgos que arroja el electroencefalograma ictal e interictal (EEG). La ILAE también identifica los ataques de epilepsia que se originan a partir del área amígdalohipocámpal (límbico mesio-basal o rincefálico) y desde el área temporal lateral. La otra forma de ELT es a menudo referida como ELT neocortical (ELTn) [4]. En la nueva clasificación de convulsiones, la mayoría de las convulsiones ELT se reconocen como focales, con alteración de la conciencia, inicio motor y automatismo, inicio no motor y paro conductual, o alteración cognitiva, a veces con propagación bilateral tónico-clónica [5]. Las convulsiones pueden afectar las funciones sensoriales, motoras,

autónomas y la conciencia, las emociones, la cognición, memoria y el comportamiento. No todas las convulsiones afectan estas funciones sensoriales, motoras las funciones autónomas; sin embargo, al menos una está involucrada en las manifestaciones sensoriales que incluyen las somatosensoriales, las auditivas, visuales, las alteraciones olfatorias, gustativas y presentaciones más complejas como las distorsiones perceptivas [6]. Las alteraciones cognitivas pueden aparecer como problemas en la percepción, atención, emoción, memoria, desempeño o lenguaje. El estado emocional es difícil de definir de manera similar para los pacientes. Aun así, debe ser considerado, ya que algunos casos se presentan con manifestaciones de miedo, ansiedad, satisfacción y alegría. La lateralización hemisférica de la ELT no suele ser sencilla y las actividades anormales pueden propagarse rápidamente del hemisferio contralateral hacia otras presentaciones cerebrales que presentan síntomas clínicos relacionados con sitios secundarios. La observación cuidadosa de la semiología ictal, sin embargo, puede ayudar a identificar la lateralización en la ELT. Para localizar la zona de inicio de la convulsión ELT, podemos utilizar: *i*) actividad clónica unilateral (con foco contralateral); *ii*) postura distónica o tónica unilateral (en 90 y 86%, respectivamente); *iii*) automatismos unilaterales (con foco convulsivo ipsilateral en el 80%); *iv*) la preservación del habla ictal (con foco convulsivo contralateral hacia el hemisferio lingüístico dominante en un 80%); la preservación del lenguaje no es localizar, solo informa si la convulsión impacta o no en las áreas del lenguaje y *v*) rotación aversiva de la cabeza que ocurre 10 segundos antes de las convulsiones consistentemente predicha y generalizada sobre un foco contralateral.

Las manifestaciones menos predictivas de lateralización incluyeron la detención dictal del habla y el estado del habla posictal, con valores predictivos del 67%. La desviación ocular, el tipo de aura y los movimientos aversivos de la cabeza, ocurrieron en momentos diferentes a la generalización de la convulsión secundaria y fueron menos predictivos que la lateralización [7]. En ocasiones, es posible reconocer la lateralización pero no el lóbulo afectado; varias diferencias pueden hacer que las convulsiones del lóbulo frontal estén precedidas por auras somatosensoriales localizadas en el tórax o auras olfativas en el epigastrio, las cuales sugieren compromiso del lóbulo orbitofrontal.

Las auras epigástricas suelen preceder a las convulsiones ELT. Las convulsiones del lóbulo parietal se presentan con aura somatosensorial, entumecimiento, dolor y sensaciones de hormigueo. Las auras visuales suelen preceder a las convulsiones del lóbulo occipital [8].

La epilepsia del lóbulo temporal generalmente se presenta con convulsiones focales. Sin embargo, la patología subyacente puede ser cualquiera dentro de una amplia gama de condiciones, como la esclerosis del hipocampo, los tumores glial de bajo grado (tumor neuroepitelial desembrioplásico, ganglioglioma y oligodendroglioma), trastornos neuronales migratorios (displasia cortical) y lesiones vasculares (malformación cavernosa y malformación arteriovenosa), aunque en un número significativo de los casos, no se encuentran anomalías estructurales [9]. Al menos un tercio de los pacientes con ELT, desarrollan médicamente una epilepsia intratable (EI), que es una forma común de epilepsia; se hace necesaria para identificar factores farmacológicos, genéticos, neurobiológicos e inmunológicos para mejorar el pronóstico de aquellos que sufren de este problema [10]. Por lo tanto, se ha presentado un creciente interés en la terapia quirúrgica para las EI médicas. La resección cortical de la zona de inicio de las convulsiones es el modelo de tratamiento quirúrgico más ampliamente aceptado. Aun así, la resección anatómicamente estándar del lóbulo temporal o la resección limitada a la amigdalohipocampectomía, pueden ser una vía posible para mejorar la calidad de vida en sujetos con EI de origen en el lóbulo temporal. Especialmente, si el procedimiento se realiza de forma temprana, el abordaje proporciona un equilibrio óptimo entre beneficios, riesgos y costos para todos los pacientes con ELT [11].

Un estudio en pacientes con EI, en búsqueda de cambios en las estructuras y su localización en el cerebro, podría ser relevante para entender la expresión de las convulsiones de epilepsia. En particular, las mediciones volumétricas basadas en la MRI de la amígdala y el hipocampo, los cuales han probado ser útiles en el diagnóstico y tratamiento de los pacientes con ELT. Esta modalidad de imagen correlaciona la amígdala y los volúmenes del hipocampo con hallazgos semiológicos, neurofisiológicos y neuropatológicos, resultados posquirúrgicos y la clínica en curso. Aspectos técnicos y anatómicos subyacentes al uso exitoso de esta modalidad, que se ha informado en estudios

previos, fueron evaluados. Sin embargo, la sensibilidad del análisis visual cualitativo frente al análisis cuantitativo de resonancia magnética volumétrica, es un tema de debate. Cuando se utilizan junto con la monitorización electroencefalográfica, la resonancia magnética volumétrica nos permitirá tratar adecuada, eficiente y rentablemente pacientes con ELT, brindándonos la capacidad de ofrecer cirugía antes, especialmente en países en vía de desarrollo [12].

Métodos

Este estudio se realizó en el Hospital Central “Dr. Ignacio Morones Prieto” en San Luis Potosí, México. Cincuenta y un pacientes consecutivos con ELT idiopático (22 mujeres y 29 hombres, con una edad media de 40 años) fueron reclutados entre 2010 y 2011. Los 51 pacientes seleccionados cumplían con los siguientes criterios de inclusión: ambos sexos, >18 y <80 años, con una edad media de 44 años, diagnóstico de lóbulo temporal idiopático EI, EEG y resonancia magnética. Los criterios de exclusión fueron las neuroimágenes que mostraban tumores, infecciones o infartos.

Un neurólogo ciego con formación en electrofisiología, analizó los estudios electroencefalográficos para clasificar los grupos de epilepsia del lóbulo temporal derecho e izquierdo. A su vez en tres subgrupos con categorías de leve, moderado o grave, según los hallazgos característicos del EEG (de acuerdo con la frecuencia de la presencia de grafoelementos epilépticos en el EEG, obteniendo en promedio por tiempo; leve: más de 1 por h pero menos de 1 por min; moderado: más de 1 por min pero <1 en 10 s; severo: más de 1 por s) por un neurofisiólogo encargado de la semiología de las convulsiones. Para los estudios de imagen, se utilizó el equipo Signa Imagen de resonancia magnética superconductor de alto campo de 1.5 T GE con bobina neurovascular de 8 canales e imágenes potenciadas en T1 y T2. Los volúmenes del hipocampo se derivaron utilizando Analyze 10.0 (Clínica Mayo) delineando manualmente la estructura en las imágenes potenciadas en T1. Se utilizó como control el hipocampo contralateral que no estaba dañado o estaba menos afectado en cada participante.

Resultados

Se realizaron mediciones para cada paciente en ambas áreas de hipocampos. Luego, se compararon los resultados, restando el área izquierda del hipocampo desde la derecha. Por lo tanto, los valores positivos, indicarían un tamaño mayor en la región del hipocampo derecho y los valores negativos, mostrarían un espacio más grande hacia el área izquierda del hipocampo. Diez años después de finalizar esta investigación, no hemos implementado la cirugía de la epilepsia de forma rutinaria en nuestra institución. Estos hallazgos se ejemplifican en la figura 1.

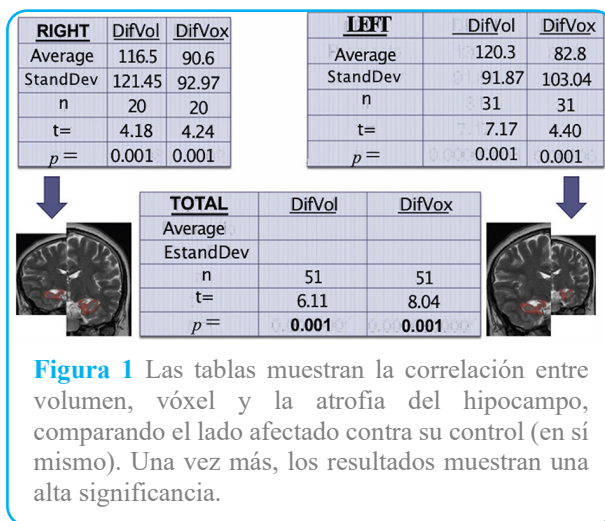


Figura 1 Las tablas muestran la correlación entre volumen, voxel y la atrofia del hipocampo, comparando el lado afectado contra su control (en sí mismo). Una vez más, los resultados muestran una alta significancia.

A pesar de estar ciego, el neurofisiólogo logró una interpretación asociada con la ubicación y una mayor implicación en las mediciones volumétricas y del voxel del área del hipocampo (Figura 2).

Discusión

Utilizamos métodos como EEG y el análisis matemático de resonancia magnética basada en cuatro variables (área, volumen, voxel e intensidad) correlacionadas fuertemente con los métodos cualitativos usuales para efectuar la evaluación de resonancia magnética. Encontramos que las medidas matemáticas que se correlacionaron más fuertemente con EEG fueron el volumen y el voxel, exhibiendo una significancia estadística en los seis grupos clasificados. Por lo tanto, pudimos detectar una correlación muy alta entre EEG y MRI, las cuales fueron precisamente las medidas cuantitativas de volumen y voxel basadas en estas dos medidas. También encontramos una fuerte correlación entre la

gravedad de la epilepsia y la diferencia más significativa entre el hipocampo en relación con el volumen, el área y el voxel.

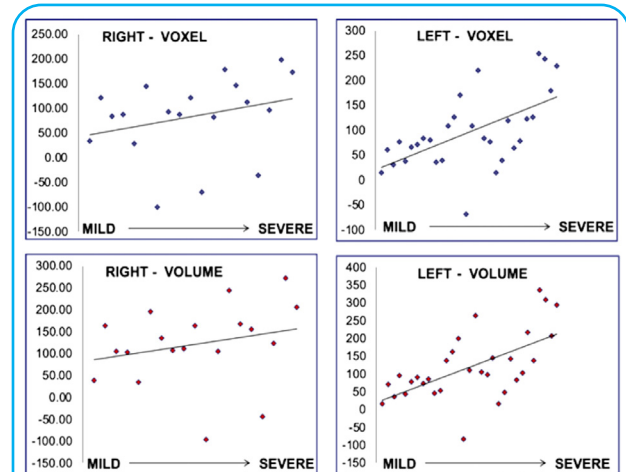


Figura 2 Correlación entre el voxel y el volumen con severidad de los hallazgos en el EEG. Los resultados se presentan para cada grupo de EI: leve, moderada y grave, y para cada lado afectado, izquierdo y derecho.

Desafortunadamente, el próximo paso es muy difícil de establecer. La razón es que estamos siendo cautelosos en varios puntos esenciales: *i*) falta en el número de especialistas para realizar este tipo de cirugía; *ii*) falta de equipo adecuado para realizar la localización del enfoque epiléptico más preciso, incluso si ya conocemos el lado y el tamaño (p. ej., aplicación de bastidores de registro, electrodos profundos); *iii*) pertenecer a instituciones públicas donde un paciente que asiste, no cuenta con recursos económicos y la institución carece de medios para apoyar su estudio preoperatorio y la realización del procedimiento.

Conclusiones

La resonancia magnética nuclear (RMN) ha revolucionado la detección de anomalías estructurales en pacientes con epilepsia. Sin embargo, muchas anomalías focales permanecen indetectables a la inspección visual de rutina por parte del observador. El análisis de resonancia magnética usando software especializado, optimiza los parámetros y puede proporcionar una herramienta para una evaluación clínica adicional. Mejorar la detección de malformaciones previamente ocultas; de esta manera permite la identificación de los pacientes que pueden beneficiarse de la cirugía de la epilepsia al detectar

con mayor precisión el foco irritativo. El marcaje de la semiología de las convulsiones, el EEG y la localización de la imagen de resonancia magnética, nos proporciona un valioso armamento para mejorar el pronóstico de la EI en pacientes con ELT [13-16]. La falta de recursos humanos y económicos para completar el abordaje diagnóstico y realizar un procedimiento previo a la cirugía, favorece a que nuestros pacientes sigan padeciendo epilepsia refractaria y presenten un mayor riesgo de muerte prematura (SUDEP).

Consentimiento para publicación

los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran no poseer ningún tipo de conflicto de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no de las instituciones a las cuales pertenecen.

Perfil de autoría

Ana Arely Rentería-Palomo

Médico internista en el Hospital Ángeles Centro Médico del Potosí, en la Ciudad de San Luis Potosí, México.



José Luis Montes Ochoa

Jefe del Servicio de Neurocirugía en el Montreal Children's Hospital en Canadá. Egresado reconocido de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), México, Especialista en Neurocirugía Pediátrica.



Adriana Martínez Mayorga

Es egresada como Médico General de la Universidad Autónoma de Coahuila (UAC) y posteriormente como Neurofisiología en el Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), misma institución donde más tarde concluyó la especialidad en Neurología.



Certificada por el Consejo Mexicano de Neurología, actualmente es Jefa del Servicio de Neurofisiología Clínica en el Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto.

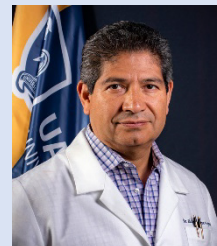
Jorge Guillermo Reyes-Vaca

Médico Cirujano con especialidad en Radiología. Actualmente, forma parte del equipo de especialistas de MIRA Medica Imagen y Radiología en San Luis Potosí, México. Cuenta con entrenamiento en tomografía axial computada y ultrasonido Doppler color en el Instituto Nacional de la Nutrición, Dr. Salvador Zubirán, México D.F.



Ildefonso Rodríguez-Leyva

El destacado Dr. Idelfonso Rodríguez Leyva es un especialista en Neurología de Alto Nivel. Se formó en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) como Médico Cirujano, posteriormente concluyó la Maestría en Ciencias en Investigación Clínica y el Doctorado en Ciencias Aplicadas dentro de la misma institución. Cuenta con la Especialidad en Neurología realizada en el Consejo Mexicano de Neurología. Su amplia experiencia le ha permitido ser experto en el diagnóstico y tratamiento de la Migraña. Gracias a esto, el Dr. Rodríguez Leyva es un referente entre los especialistas en Neurología de San Luis Potosí, México.



Referencias

- [1] Fisher RS, van Emde Boas W, Blume W, Elger C, Genton P, Lee P, et al. Epileptische Anfälle und Epilepsie: von der Internationalen Liga gegen Epilepsie (International League Against Epilepsy; ILAE) und dem Internationalen Büro für Epilepsie (International Bureau for Epilepsy; IBE) vorgeschlagene Definitionen. *Akt Neurol*. 2005; 32:249–52. <https://doi.org/10.1055/s-2005-866879>
- [2] Fisher RS, Acevedo C, Arzimanoglou A, Bogacz A, Cross JH, Elger CE, et al. ILAE Official Report: a practical clinical definition of epilepsy. *Epilepsia*. 2014; 55:475–82. <https://doi.org/10.1111/epi.12550>
- [3] Rüber T, David B, Elger CE. MRI in epilepsy: clinical standard and evolution. *Curr Opin Neurol*. 2018; 31:223–31. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000539>
- [4] Commission on Classification and Terminology of the International League Against Epilepsy. Proposal for revised classification of epilepsies and epileptic syndromes. *Epilepsia* 1989; 30:389–99. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1989.tb05316.x>
- [5] Fisher RS, Cross JH, French JA, Higurashi N, Hirsch E, Jansen FE, et al. Operational classification of seizure types by the International League Against Epilepsy: position Paper of the ILAE Commission for Classification and Terminology. *Epilepsia* 2017; 58:522–30. <https://doi.org/10.1111/epi.13670>
- [6] Blair RD. Temporal lobe epilepsy semiology. *Epilepsy Res Treat* 2012; 2012:751510. <https://doi.org/10.1155/2012/751510>
- [7] Marks Jr WJ, Laxer KD. Semiology of temporal lobe seizures: value in lateralizing the seizure focus. *Epilepsia* 1998; 39:721–6. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1998.tb01157.x>
- [8] Sarmast ST, Abdullahi AM, Jahan N. Current classification of seizures and epilepsies: scope, limitations, and recommendations

for future action. *Cureus* 2020, 12:e10549.

<https://doi.org/10.7759/cureus.10549>

[9] Georgiadis I, Kapsalaki EZ, Fountas KN. Temporal lobe resection surgery for medically intractable epilepsy: a review of complications and side effects. *Epilepsy Res Treat* 2013, 2013:752195. <https://doi.org/10.1155/2013/752195>

[10] Wassenaar M, Leijten FS, Egberts TC, Moons KG, Uijl SG. Prognostic factors for medically intractable epilepsy: a systematic review. *Epilepsy Res* 2013, 106:301–10. <https://doi.org/10.1016/j.epilepsyres.2013.06.013>

[11] Ojemann GA. Surgical therapy for medically intractable epilepsy. *J Neurosurg* 1987, 66:489–99. <https://doi.org/10.3171/jns.1987.66.4.0489>

[12] Watson C, Jack CR, Cendes F. Volumetric magnetic resonance imaging: clinical applications and contributions to understanding temporal lobe epilepsy. *Arch Neurol* 1997, 54:1521–31. <https://doi.org/10.1001/archneur.1997.00550240071015>

[13] Dowd CF, Dillon WP, Barbara NM, Laxer KD. Magnetic resonance imaging of intractable complex partial seizures: pathologic and electroencephalographic correlation. *Epilepsia* 1991, 32:454–9. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1991.tb04677.x>

[14] Pack AM. Epilepsy Overview and revised classification of seizures and epilepsies. *Contin Lifelong Learn Neurol* 2019, 25:306–21. <https://doi.org/10.1212/CON.0000000000000707>

[15] Lesser RP. American electroencephalographic society guidelines in EEG, 1-7 (Revised 1985). *J Clin Neurophysiol* 1986, 3:131–2. <https://doi.org/10.1097/00004691-198604000-00003>

[16] Noachtar S, Peters AS. Semiology of epileptic seizures: a critical review. *Epilepsy Behav* 2009, 15:2–9. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2009.02.029>

Fundamentos de la epidemiología genómica, lecciones aprendidas de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) y nuevas direcciones

Fundamentals of genomic epidemiology, lessons learned from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic, and new directions

Denis Jacob Machado* , Richard Allen White III , Janice Kofsky 
y Daniel A. Janies 

Acceso Abierto

Correspondencia:

dmachado@unc.edu
Department of Bioinformatics and Genomics, College of Computing and Informatics, University of North Carolina at Charlotte, 9331 Robert D. Snyder Rd, BINF 224, Charlotte, NC 28223, USA.

Sometido:

30-07-2022

Aceptado para publicación:

13-10-2022

Publicado en línea:

01-12-2022

Palabras clave:

COVID-19; epidemiología molecular; secuenciación genómica; vigilancia genómica mejorada; virulencia.

Key words:

COVID-19; genomic sequencing; improved genomic surveillance; molecular epidemiology; virulence.

Citación:

Machado DJ., White III RA., Kofsky J., Janies DA. Fundamentos de la epidemiología genómica, lecciones aprendidas de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) y nuevas direcciones. *Magna Scientia UCEVA* 2022; 2:2 197-213.
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a5>

Resumen

La pandemia de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) fue una de las principales causas de muerte en todo el mundo en 2020. La enfermedad es causada por el coronavirus 2 (SARS-CoV-2), un virus de ARN de la subfamilia Orthocoronavirinae relacionado con otros 2 coronavirus clínicamente relevantes, SARS-CoV y MERS-CoV. Al igual que otros coronavirus y varios otros virus, el SARS-CoV-2 se originó en los murciélagos. Sin embargo, a diferencia de otros coronavirus, el SARS-CoV-2 resultó en una pandemia devastadora. La pandemia de SARS-CoV-2 continúa, debido a la evolución viral que conduce a variantes más transmisibles e inmunes evasivas. Tecnologías como la secuenciación genómica, ha impulsado el cambio de la epidemiología sindrómica a la molecular, y promete una mejor comprensión de las variantes. La pandemia de COVID-19 ha expuesto obstáculos críticos que deben abordarse para desarrollar la ciencia de las pandemias. Gran parte del progreso se está aplicando en el mundo desarrollado. Sin embargo, persisten las barreras para el uso de la epidemiología molecular en los países de ingresos bajos y medianos (LMIC), incluida la falta de logística para equipos y reactivos y la falta de capacitación en análisis. Revisamos la literatura de epidemiología molecular para comprender sus orígenes desde la epidemia de SARS (2002-2003) hasta los eventos de influenza y la pandemia actual de COVID-19. Abogamos por una mejor vigilancia genómica del SARS-CoV y por comprender la diversidad de patógenos en posibles huéspedes zoonóticos. Este trabajo requerirá capacitación en computación filogenética y de alto rendimiento para mejorar los análisis del origen y la propagación de patógenos. Los objetivos generales son comprender y reducir el riesgo de zoonosis a través de la colaboración interdisciplinaria y la reducción de las barreras logísticas.

Abstract

The coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic was one of the significant causes of death worldwide in 2020. The disease is caused by severe acute coronavirus syndrome (SARS) coronavirus 2 (SARS-CoV-2), an RNA virus of the subfamily Orthocoronavirinae related to 2 other clinically relevant coronaviruses, SARS-CoV and MERS-CoV. Like other coronaviruses and several other viruses, SARS-CoV-2 originated in bats. However, unlike other coronaviruses, SARS-CoV-2 resulted in a devastating pandemic. The SARS-CoV-2 pandemic rages on due to viral evolution that leads to more transmissible and immune evasive variants. Technology such as genomic sequencing has driven the shift from syndromic to molecular epidemiology and promises better understanding of variants. The COVID-19 pandemic has exposed critical impediments that must be addressed to develop the science of pandemics. Much of the progress is being applied in the developed world. However, barriers to the use of molecular epidemiology in low- and middle-income countries (LMICs) remain, including lack of logistics for equipment and reagents and lack of training in analysis. We review the molecular epidemiology literature to understand its origins from the SARS epidemic (2002–2003) through influenza events and the current COVID-19 pandemic. We advocate for improved genomic surveillance of SARS-CoV and understanding the pathogen diversity in potential zoonotic hosts. This work will require training in phylogenetic and high-performance computing to improve analyses of the origin and spread of pathogens. The overarching goals are to understand and abate zoonosis risk through interdisciplinary collaboration and lowering logistical barriers.



¿Cómo se convirtió la epidemiología genómica en lo que es?

La epidemiología genómica se deriva de la epidemiología molecular, la cual utiliza pruebas que van desde la electroforesis en gel hasta la tipificación de secuencias multilocus para estudiar los orígenes y la propagación de microorganismos patógenos. Janies et al. [1] revisaron la historia de la epidemiología molecular y la compararon con la epidemiología sindrómica. Aquí, nos enfocamos en los avances recientes hacia la epidemiología genómica (ver figura 1), los cuales incluyen la secuenciación genómica, combinada con el intercambio rápido de datos como lo permite Internet. En 2002-2003, el coronavirus del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV) fue la primera enfermedad infecciosa para la cual, los científicos compartieron software y datos genéticos de patógenos a través de Internet para responder rápidamente a la enfermedad. A partir de entonces, la epidemiología genómica se consolidó con las respuestas a H5N1, H1N1-2009 y otras cepas de influenza como H7N9 [2] y se ha expandido para responder a las enfermedades transmitidas por los alimentos y de transmisión sexual [3-5]. El primer genoma del SARS-CoV se compartió después de la publicación [6,7] en el sitio web GenBank del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI), lo cual era lo habitual. Mientras tanto, surgieron dashboards, gráficos y mapas para rastrear casos en tiempo y espacio [8]. Janies et al. [9,10] combinaron datos genómicos y geográficos para el SARS-CoV y la influenza H5N1, respectivamente, siendo los primeros en proyectar filogenias en un globo virtual. Janies et al. [11] usaron lenguaje de marcación Keyhole (KML) para desarrollar *supramaps*, los cuales facilitan el mapeo geográfico de filogenias. Los *supramaps* permitieron probar las hipótesis que comprendían el hospedero y los orígenes geográficos de los patógenos [12] para rastrear mutaciones que conferían resistencia a los medicamentos o cambio de hospedero [13,14]. Las limitaciones de computar grandes conjuntos de datos junto con la preferencia de compartir datos después de la publicación, dieron como resultado un cambio mayor entre la adquisición de datos y los resultados que el que ocurre hoy. Sin embargo, estas condiciones no impidieron un campo basado en hipótesis con valor para los tomadores de decisiones, como se demostró en una audiencia del Congreso de 2007 [15]. En la década del 2000, se secuenciaron algunos genomas

de patógenos respiratorios como el H1N1-2009. Sin embargo, incluso los genomas del SARS-CoV no siempre se secuenciaron por completo y las secuencias se publicaron gradualmente [9]. Esto cambió debido a factores como las nuevas tecnologías de secuenciación de ADN.

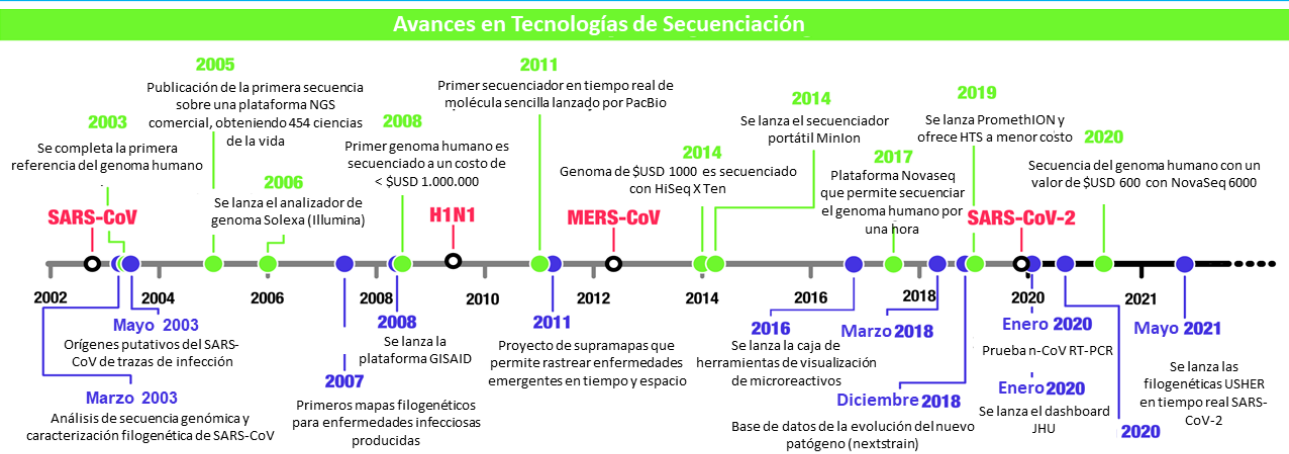
¿Cómo los avances en la tecnología de secuenciación cambiaron la epidemiología genómica?

La actual epidemiología genómica de enfermedades infecciosas se originó en respuesta a la epidemia de la SARS-CoV [16]. La secuenciación del genoma del SARS-CoV fue fundamental para reconocerlo como un nuevo coronavirus asociado con HCoV-OC43 y HCoV-229E [6,7]. Los investigadores combinaron datos genómicos y epidemiológicos para rastrear la variación genotípica de las rutas de transmisión viral entre 2002 y 2003 [17,18]. Sin embargo, la vigilancia genómica actual evolucionó con el avance de la secuenciación de alto rendimiento (HTS) (ver figura 1). Reuter et al. [19] resumieron la historia de HTS hasta 2015 y Pérez-Losada [20] revisaron los avances recientes en HTS. Aquí, nos enfocamos en la variación del costo de secuencia por megabase sin procesar entre 2001 y 2020 [21] (ver figura 2a) para ilustrar la creciente viabilidad de secuenciar genomas de coronavirus (ver figura 2b). Teniendo en cuenta el costo de la secuenciación de nucleótidos sin procesar, 100 dólares estadounidenses no fueron suficientes para secuenciar un genoma de coronavirus en 2020, pero 100 dólares cubrirían más de 400000 genomas en 2020.

¿Qué son los Coronavirus?

Los coronavirus corresponden a los cuatro géneros de la subfamilia Orthocoronavirinae, Gammacoronavirus (GammaCoVs) y Deltacoronavirus (DeltaCoVs); los coronavirus infectan principalmente a las aves y rara vez infectan a los mamíferos [22, 23]. Los alfacoronavirus (AlphaCoVs) y los betacoronavirus (BetaCoVs) se originaron en quirópteros (murciélagos) y a menudo se encuentran en otros mamíferos, incluidos los humanos [24]. El virión del coronavirus encapsula uno de los genomas de virus de ARN más largos (27-32kb), [25] el cual posee una expresión génica compleja [26] y un contenido de genes variable entre los géneros (figura 3a) [27].

Figura 1 Cronología de los principales eventos en tecnología de secuenciación (verde) y epidemiología genómica (púrpura) junto con la primera aparición registrada de SARS-CoV, H1N1-2009, MERS-CoV y SARS-CoV-2 en humanos



Avances en Epidemiología Genómica

Las infecciones por coronavirus en animales domésticos son económicamente significativas [28–30]. Sin embargo, la aparición episódica de coronavirus humanos (HCoV) es una preocupación apremiante debido a que causan infecciones en todos los grupos de edad, lo que a menudo conduce a enfermedades respiratorias o entéricas [31]. Las enfermedades neurológicas o hepatitis, son menos frecuentes [32]. El sitio web de los Centros para el Control de Enfermedades (CDC) de EE-CoV y SARS-CoV-2 adicionó el coronavirus entérico humano 4408 (HECV-4408) a la lista porque se aisló de un niño con gastroenteritis aguda [34].

¿Cómo aceleró el SARS-CoV-2 el crecimiento de la epidemiología genómica?

Los coronavirus no se consideraron altamente patógenos para los humanos hasta el brote de SARS-CoV de 2002 [35,36]. Los peligros de los HCoV se hicieron más evidentes con el brote de 2012 del síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS) coronavirus (MERS-CoV) [37]. No obstante, los coronavirus no recibieron el nivel actual de atención hasta que la enfermedad por coronavirus pandémico 2019 (COVID-19), causada por el SARS-CoV-2, se informó por primera vez en humanos en Wuhan, China, en diciembre de 2019 [38]. Sin embargo, Pekar et al. [39] infirieron que el virus estuvo presente en Hubei aproximadamente un mes antes. El 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró una pandemia debido a

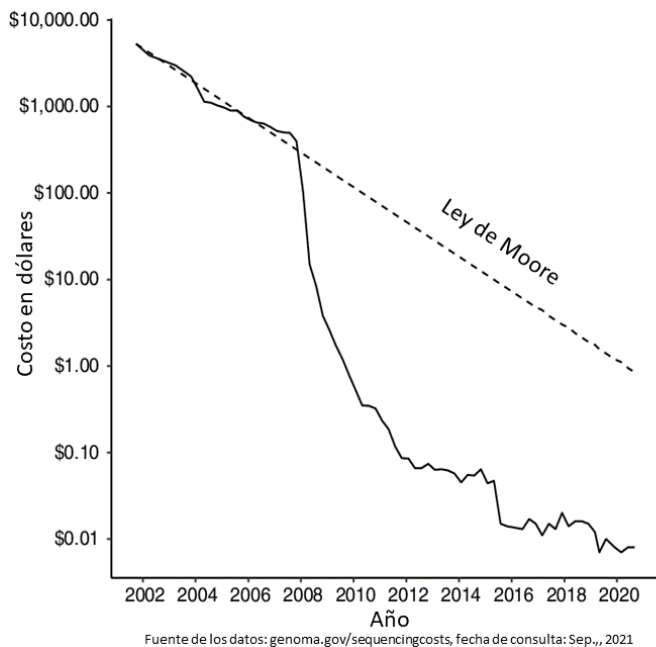
la propagación del SARS-CoV-2 [38]. Para el 14 de octubre de 2021, el COVID-19 había causado 4.863.818 muertes en todo el mundo [40].

Comprender la aparición y evolución del SARS-CoV-2 es vital para prevenir futuras pandemias [41]. La pregunta se puede dividir en 3 componentes. Primero, ¿el virus fue manipulado a propósito? Varias publicaciones revisadas por pares han concluido que el SARS-CoV-2 surgió naturalmente a través de la zoonosis (ver, por ejemplo, Anderson et al. [42]; Liu et al. [43] y Holmes et al. [44]). Además, los datos serológicos anteriores indican infecciones humanas naturales por virus similares al SARS alojados en murciélagos [45]. En segundo lugar, ¿fue el SARS-CoV-2 una liberación accidental? Si un virus natural se transportó a un laboratorio y los humanos se infectaron poco después, es posible que el virus no haya acumulado suficientes mutaciones para registrar su paso a través de entornos controlados [46]. Sin embargo, no existe ninguna evidencia científica del SARS-CoV-2 antes de diciembre de 2019 [47,48]. Tercero, ¿cuál es la fuente natural del SARS-CoV-2? El análisis filogenómico más completo del coronavirus [49] (figura 3b) abordó la evolución fundamental de los HCoV (figura 3c) y mostró que el SARS-CoV-2 resulta a partir de los virus alojados en murciélagos que infectaban a los humanos [50]. El SARS-CoV-2 encuentra su pariente más cercano coronavirus alojados en murciélagos del subgénero Sabercovirus, un subgrupo de coronavirus relacionados con el SARS (SARSr-CoV) identificado por primera vez en murciélagos [51].

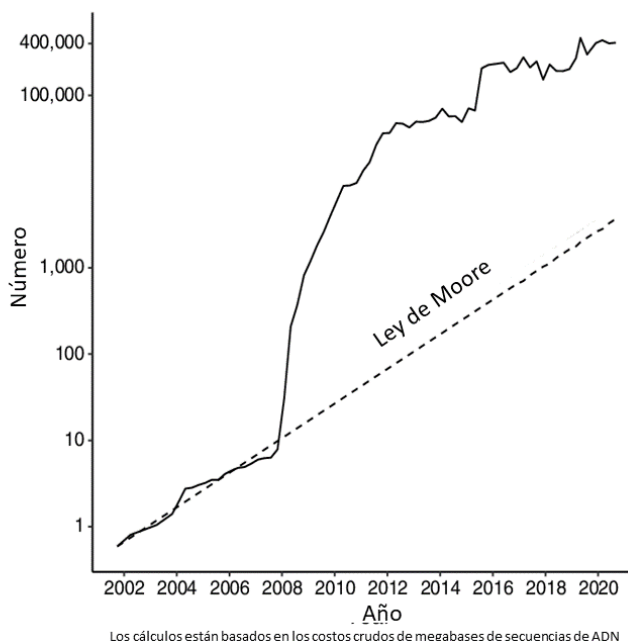
Figura 2 La creciente viabilidad de secuenciar genomas completos de coronavirus

(a) Costo de secuenciación por megabase sin procesar secuencia de ADN desde septiembre de 2001 hasta agosto de 2020 (fuente de datos: genoma.gov/sequencingcosts, fecha de acceso: septiembre de 2021); (b) Número de genomas completos de coronavirus que se pueden secuenciar con USD 100, suponiendo un tamaño de genoma de 32 Kbp. Estas estimaciones de costos no consideran los costos de muestreo, almacenamiento, consumibles, equipos y personal. Estos gráficos utilizan una escala logarítmica.

(a) Costo de secuenciación por megabase cruda (Mb) de secuencias de ADN desde septiembre de 2001 hasta agosto de 2020



(b) Número de genomas de coronavirus que pueden ser secuenciados con \$100 dólares



Se colectaron virus alojados en murciélagos similares al SARS-CoV-2 en la provincia de Yunnan, a más de 1500 km de Wuhan, pero los huéspedes poseían un amplio rango geográfico [45, 52, 53]. A pesar de una serie confusa de informes que confirman [54-56] y niegan [57] el origen del SARS-CoV-2 a partir de huéspedes pangolín (*Manis javanica*), los pangolines no están involucrados en el linaje del SARS-CoV-2 que infectó a los humanos [49]. Este hallazgo es similar a la aparición del SARS-CoV [9] que también infectó a los humanos a partir del virus alojado en murciélagos sin necesidad de hospederos intermedios, incluyendo las civetas de las palmeras del Himalaya (*Parguma larvata*) y los perros mapaches (*Nyctereutes procyonoides*).

¿Estamos secuenciando los genomas del SARS-CoV-2 lo suficientemente rápido?

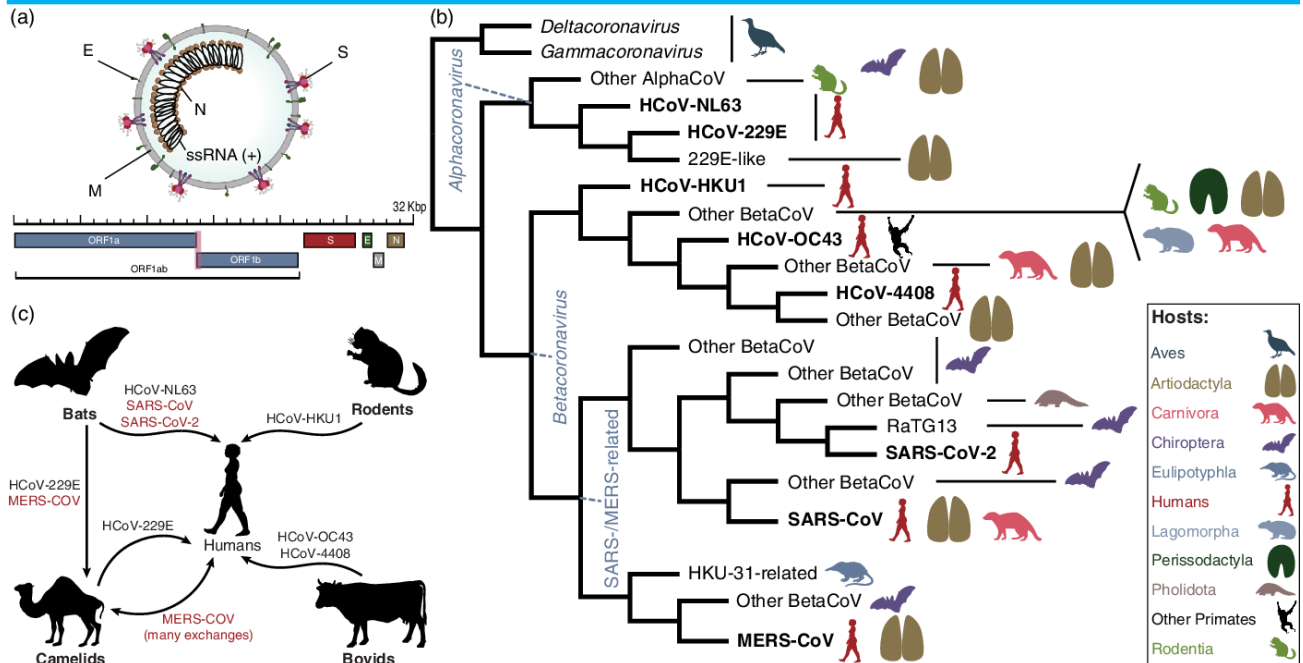
El SARS-CoV-2 se identificó el 7 de enero de 2020. Tres días después, su genoma y metadatos se compartieron a través de la base de datos EpiCoV de

la iniciativa mundial para compartir datos sobre la influenza aviar (GISAID) [58,59] antes de que se publicara el primer artículo revisado por pares en febrero de 2020 [60]. Para poner en contexto la velocidad de secuenciación del genoma del SARS-CoV-2, hay que considerar que el SARS-CoV se informó por vez primera en noviembre de 2002, pero su genoma se hizo público en abril de 2003 [6]. La velocidad a la que se publican dichos datos cambió por varias razones, Janies et al. [16] resumieron las razones que incluyeron una mayor viabilidad de la secuenciación del genoma, la voluntad de compartir datos antes de la publicación y el surgimiento de la gran base de datos GISAID, que acredita a los laboratorios donde se envían las pruebas.

La figura 4 muestra la acumulación de 4.224.785 genomas completos de SARS-CoV-2 en EpiCoV entre el 10 de enero de 2020 y el 13 de octubre de 2021. La curva está lejos de alcanzar una meseta, lo que indica que no estamos produciendo genomas de coronavirus a su máxima capacidad. Los esfuerzos para secuenciar el SARS-CoV-2 siguiendo las pautas internacionales [61,62] son bienvenidos porque estos

Figura 3 Evolución fundamental de los coronavirus basada en Machado et al. [49]

(a) Virión y estructura del genoma. Las regiones genómicas indicadas en la figura no representan todos los genes del genoma del coronavirus, sino los genes que comparten los diferentes géneros de Orthocoronavirinae y fueron analizados por Machado et al.49 Nota. E, proteína de membrana pequeña de la envoltura; M, proteína de membrana; N, nucleoproteína; S, glicoproteína de pico. (b) Cladograma resumido de Machado et al.49 El cladograma original contenía 2006 terminales correspondientes a genomas de coronavirus únicos. Los terminales que indican las ocho especies de coronavirus humanos (HCoV) están en negrita. (c) Huéspedes involucrados en la aparición de todos los coronavirus humanos, incluido el SARS-CoV-2. Los HCoV de especial preocupación para la salud humana (SARS-CoV, MERS-CoV y SARS-CoV-2) se muestran en rojo. El diagrama de flujo indica que HCoV-NL63, SARS-CoV y SARS-CoV-2 se originaron a partir de coronavirus alojados en murciélagos. Los murciélagos también fueron clave para la aparición de MERS-CoV en camellos y humanos. HCoV-229E, HCoV-HKU1 y HCoV-OC43 se originaron a partir de virus alojados en artiodáctilos, roedores y bóvidos, respectivamente. Todas las siluetas se descargaron de PhyloPic (<http://phylopic.org>). La estructura de visión del coronavirus se modificó de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coronavirus_virion_structure.svg.



datos informan los pronósticos epidemiológicos (por ejemplo, la mayor eficiencia de transmisión de las variantes del SARS-CoV-2 ha llevado a proyecciones del aumento de un mayor número de casos [63].

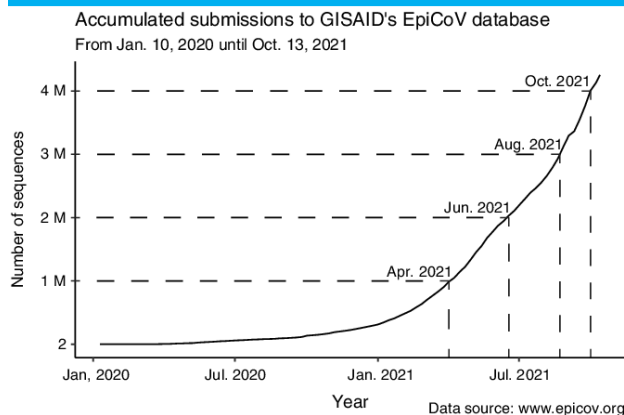
La secuenciación genómica genera una instantánea de un linaje viral en tiempo y espacio. Cuando las secuencias se recopilan longitudinalmente, surgen aplicaciones en epidemiología genómica y respuestas pandémicas, las cuales se ilustran con 4 ejemplos. En primer lugar, el perfilado de huellas dactilares de mutación desde el pangenoma viral hasta cuasi-especies de infección individual permite el rastreo de contactos moleculares [64]. En segundo lugar, la secuenciación genómica informa la huella dactilar de la masa peptídica (PMF) utilizada para predecir nuevas estructuras y encontrar inhibidores de péptidos virales [65], aunque los resultados deben probarse en ensayos aleatorios controlados [66] para identificar antivirales efectivos [67,68]. En tercer

lugar, los datos se utilizan para modelar tamaño y gravedad de una epidemia o pandemia [63]. En cuarto lugar, las secuencias virales son fundamentales para desarrollar vacunas de ARNm [69]. Para una revisión de las dificultades y oportunidades actuales en la aplicación de HTS a los genomas del SARS-CoV-2, se invita a consultar Chiara et al. [70].

A medida que el SARS-CoV-2 se vuelva endémico [71,72], la demanda de secuenciación seguirá siendo alta. Las infecciones por SARS-CoV-2 están disminuyendo a medida que más personas desarrollan inmunidad a través de la infección natural o la vacunación [73]. Sin embargo, las variantes pueden evadir la infección y los anticuerpos inducidos por la vacuna [74], especialmente con infecciones que ocurren meses después de la vacunación (es decir, infecciones intercurrentes) [75,76].

Figura 4 Acumulación progresiva de 4.224.785 secuencias completas del genoma SARS-CoV-2 (>26 Kbp) enviadas a la base de datos GISAID EpiCoV (<https://www.epicov.org/>) entre el 10 de enero de 2020 y el 13 de octubre de 2021.

Estos costos estimados no consideran el muestreo, almacenamiento, consumibles, equipos y personal (ver, por ejemplo, Schwarze et al. [68]). Sin embargo, el precio de la secuenciación de nucleótidos en bruto es un componente significativo del costo de los proyectos del genoma.



Dadas las infecciones progresivas, el aumento de la transmisión de algunas variantes y la falta de vacunación completa entre las personas elegibles, podemos predecir que el SARS-CoV-2 seguirá evolucionando. Si el SARS-CoV-2 está evolucionando hacia fenotipos de COVID-19 más graves o más benignos es una pregunta de investigación apremiante para la epidemiología genómica.

Las contramedidas efectivas dependen de la comprensión de los linajes del SARS-CoV-2, como el muestreo de variantes cuyo fenotipo no se comprende por completo [77] y el abordaje del sesgo de muestreo [78]. Por ejemplo, si restringimos la secuenciación de cepas virales de pacientes hospitalizados, las relaciones entre cualquier variable asociada con la hospitalización, se distorsionará en comparación con la población general. Así, perderíamos mutaciones asociadas a los casos asintomáticos y sintomáticos que no requirieron hospitalización, lo que podría inducir o malinterpretar la evidencia de asociaciones fenotipo-genotipo [79-81].

Brito et al. [82] analizaron la heterogeneidad espaciotemporal en los esfuerzos de vigilancia genómica del SARS-CoV-2 de cada país en función de los metadatos enviados a GISAID hasta el 30 de mayo de 2021. Estos investigadores estimaron que

cuando la prevalencia de una cepa rara era del 2%, se necesitarían secuenciar 300 casos para detectar al menos 1 genoma de esa cepa con un 95% de probabilidad. Por lo tanto, la capacidad de secuenciación debe ser de al menos el 0.5% de los casos por semana cuando la incidencia era >100 casos positivos por cada 100.000 personas.

Brito et al. [82], observaron que países como Dinamarca, que tienen un tiempo de respuesta rápido para la secuenciación, con el procesamiento y el intercambio de datos genómicos del SARS-CoV-2 (<18 días) y una alta tasa de secuenciación (>32%), se observa una mayor diversidad de linajes. Muchas variantes pueden pasarse por alto cuando las tasas de muestreo son bajas. Sin embargo, las disparidades en la riqueza, la inversión en investigación y capacitación, la coordinación y la logística de la cadena de suministro, afectan la capacidad de los países para realizar la vigilancia genómica, especialmente los LMIC. Por lo tanto, se deben realizar esfuerzos para proporcionar fondos, capacitación y apoyo logístico a los investigadores con base en los LMIC para mejorar su capacidad de vigilancia genómica y la toma de decisiones de salud pública.

¿Cómo clasificamos las variantes del SARS-CoV-2?

Cualquier secuencia del genoma que sea genéticamente distinta de la referencia puede llamarse variante. En la práctica, las variantes del SARS-CoV-2 representan clados que comparten un conjunto de mutaciones clave y, al mismo tiempo, permiten una pequeña cantidad de otra variación de secuencia [83,84]. Además, la evolución convergente entre variantes geográficamente distantes ha sido observada (ver tabla 1) [85]. Aunque las variantes y las cepas son diferentes, algunos investigadores usan estos términos indistintamente (p. ej., Awadasseid et al. [86]; Hossein et al. [87] y Ul-Rahman et al. [88]). El término “cepa” generalmente se asocia con linajes que se volvieron lo suficientemente divergentes como para exhibir un fenotipo cambiado [89].

A finales del 2020 y a lo largo del 2021, a medida que aumentaba la disponibilidad de vacunas, la información sobre variantes comenzó a dominar la respuesta de COVID-19 [90-92]. La aparición de variantes que podrían representar un mayor riesgo para la salud pública mundial llevó a la OMS a caracterizar variantes específicas de interés (VOI) y

Tabla 1 Variantes notables del SARS-CoV-2 y sus principales atributos^a

Clase SIG	Clase OMS	Etiqueta OMS	Cepas Pango	Cepas CDC	Identificado inicialmente	Mutaciones de picos característicos
VOC	VOC	delta (δ)	AY.1, AY.2, B.1.617.2	AY	India	T19R, K417N, L452R, T478K, P681R, D950N
VBM	VOC	alpha (α)	B.1.1.7 and cepas Q	Q	Reino Unido	HV69-, Y144-, N501Y, A570D, P681H, T716I, S982A, D1118H
VBM	VOC	beta (β)	B.1.351		Suráfrica	D80A, D215G, E484K, N501Y, A701V
VBM	VOC	gamma (γ)	P.1	P.1	Brasil	T20N, P26S, K417T, E484K, N501Y, T1027I
VBM	VOI	mu (μ)	B.1.621 and B.1.621.1		India	T95I, Y145N, R346K, E484K, N501Y, D614G, P681H, D950N
N/A	VOI	lambda (λ)	C.37		Suramérica	G75V, T76I, RSYLTPG246-, L452Q, F490S, D614G, T859N
VBM	VUM	epsilon (ε)	B.1.427 and B.1.429		EEUU	S13I, W152C, L452R, D614G
VBM	VUM	eta (η)	B.1.525		Reino Unido y Nigeria	Q52R, E484K, Q677H, F888L
VBM	VUM	iota (ι)	B.1.526		EEUU	L5F, T95I, D253G, E484K, D614G, A701V, S477N, Q957R
VBM	VUM	kappa (κ)	B.1.617.1		India	L452R, E484Q, P681R
VBM	VUM	zeta (ζ)	P.2		Brasil	E484K
VBM	N/A	N/A	B.1.617.3		India	T19R, L452R, E484Q, P681R, D950N

Nota. SIG, Grupo Interagencial SARS-CoV-2 del gobierno de EE. UU.; VBM, variante en seguimiento; VOC, variante de preocupación; VOI, variante de interés; VUM, variantes en seguimiento; EUA, autorización de uso de emergencia.

^aEsta tabla fue modificada y actualizada desde el sitio web de la OMS [93], el sitio web de los CDC [94], Rambaut et al. [97] y Soh et al. [167], SIG y las clasificaciones de la OMS, se detallan en la tabla 2.

variantes de preocupación (VOC) para priorizar el monitoreo y la investigación global [93]. El grupo interinstitucional (SIG) del SARS-CoV-2 del gobierno de EEUU desarrolló un esquema de clasificación de variantes por separado [94], el cual se compara con el sistema de la OMS expuesto en la tabla 2. En marzo de 2021, la OMS asignó letras del alfabeto griego para categorizar los VOI y los VOC [93], por simplicidad y para evitar la asociación con localidades particulares. Estas etiquetas no reemplazan las clasificaciones existentes de GISAID (<https://gisaid.org/>) [95], Nextstrain (<https://nexstrain.org/>) [96] y cepas Pango (<https://cov-lineages.org/>) [97]. Las variantes de SARS-CoV-2 fueron revisadas por Harvey et al. [98].

¿Por qué las vacunas aún no son suficientes contra el COVID-19?

La velocidad de desarrollo y la prueba de las vacunas COVID-19 es uno de los logros de salud pública más destacados de la historia. La vacunación masiva de individuos elegibles, es la forma mejor y más segura de controlar la pandemia [99]. Aunque algunas variantes del SARS-CoV-2 muestran cierto grado de escape de los anticuerpos protectores inducidos por la infección natural (y, en menor grado, después de la inmunización), las respuestas de las células T se conservan [100].

Además, las vacunas basadas en ARNm de SARS-CoV-2 de primera generación inducen anticuerpos públicos (es decir, anticuerpos con elementos genéticos y modos de reconocimiento similares contra un antígeno diferente observado en múltiples individuos) con una fuerte actividad neutralizante y protectora potencialmente duradera contra variantes como alfa (α), beta (β) y gamma (γ) [101].

Las variantes del SARS-CoV-2 seguirán apareciendo [102], lo que requerirá un estrecho seguimiento internacional para determinar la necesidad de refuerzos o rediseños de la vacunación [102]. A medida que surgen variantes en áreas de baja vacunación, es imperativo implementar la vacunación mundial contra la COVID-19. Desde el lanzamiento de la vacuna, han surgido nuevas preguntas con respecto a la eficacia de la vacuna contra la transmisión de diferentes variantes [100], la duración de la protección [103] y la eficacia de los esquemas de primo-refuerzo [99,104-106]. También ha surgido una demanda de estudios para determinar los correlatos inmunológicos de la protección contra COVID-19 a medida que los casos disminuyen y la prevención de enfermedades graves adquiere más importancia en la eficacia de la vacuna [107]. Mientras tanto, las intervenciones no farmacéuticas para reducir la propagación del SARS-CoV-2 y otros patógenos aún están justificadas [102,108,109].

Tabla 2 Comparación de las diferentes categorías en el sistema de clasificación de variantes de la OMS [93] con el sistema utilizado por el grupo interinstitucional (SIG) del SARS-CoV-2 del gobierno de EEUU [94]^a

Categoría SIG	Atributos Potenciales	Categoría OMS	Definición de Trabajo
VBM	Variantes para las cuales los datos indican un impacto potencial o claro en las contramedidas médicas aprobadas o autorizadas o que están asociadas con una enfermedad más grave o un aumento en la transmisión pero ya no se detectan o circulan a niveles muy bajos en los Estados Unidos, y como tales, no representan un riesgo significativo e inminente para la salud pública en los Estados Unidos	VUM	Una variante del SARS-CoV-2 con cambios genéticos que se sospecha que afectan las características del virus con alguna indicación de que puede representar un riesgo futuro, pero la evidencia del impacto fenotípico o epidemiológico actualmente no está clara, lo que requiere un seguimiento mejorado y una evaluación repetida en espera de nueva evidencia.
VOI	<ul style="list-style-type: none"> • Marcadores genéticos específicos que se predice que afectarán la transmisión, el diagnóstico de VOI, la terapia o el escape inmunológico. • Evidencia de que es la causa de una mayor proporción de casos o grupos de brotes únicos. • Prevalencia limitada o expansión en los Estados Unidos o en otros países 	VOI	Con cambios genéticos que se predicen o se sabe que afectan las características del virus, como la transmisibilidad, la gravedad de la enfermedad, el escape inmunitario, el escape diagnóstico o terapéutico se identifica que causan una transmisión comunitaria significativa o múltiples grupos de COVID-19, en múltiples países con una prevalencia relativa creciente junto con un número creciente de casos a lo largo del tiempo u otros impactos epidemiológicos aparentes que sugieran un riesgo emergente para la salud pública mundial
VOC	<ul style="list-style-type: none"> • Evidencia de impacto en diagnósticos, tratamientos o vacunas. • Evidencia de transmisibilidad aumentada. • Evidencia de aumento de la gravedad de la enfermedad. • Evidencia de transmisibilidad aumentada. • Evidencia de aumento de la gravedad de la enfermedad. 	VOC	Aumento de la transmisibilidad o cambio perjudicial en la epidemiología de COVID-19 O aumento de la virulencia o cambio en la presentación clínica de la enfermedad O disminución de la eficacia de las medidas sociales y de salud pública o los diagnósticos, vacunas y tratamientos disponibles.
VOHC	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto en las contramedidas médicas (MCM). • Fallo demostrado de los objetivos de las pruebas de diagnóstico. • Evidencia que sugiere una reducción significativa en la efectividad de la vacuna, un número desproporcionadamente alto de infecciones en personas vacunadas o una protección muy baja inducida por la vacuna contra enfermedades graves. • Susceptibilidad significativamente reducida a múltiples EUA o tratamientos aprobados. • Enfermedad clínica más grave y aumento de las hospitalizaciones. 	-----	Ninguna categoría OMS equivalente

Nota. VBM, variante en seguimiento; VOC, variante de preocupación; VOI, variante de interés; VUM, variantes en seguimiento; VOHC, variante de alta consecuencia; EUA, autorización de uso de emergencia.

^aActualmente, los CDC y SIG no clasifican ninguna variante como VOI o VOHC.

¿Cómo podemos reducir la brecha de conocimiento entre el origen y la transmisión de la enfermedad?

La epidemiología genómica puede ser una herramienta para estudiar las enfermedades infecciosas emergentes (EIE) en humanos, pero su

eficacia es máxima cuando tiene en cuenta los componentes animal y ambiental. En el caso de las zoonosis, existe una brecha de conocimiento entre los componentes animal y humano de la investigación de las EIE y la iniciativa One Health espera subsanar esta brecha. Aunque la mayoría de los investigadores en salud humana sólo empezaron a centrarse en los coronavirus desde la aparición del

SARS-CoV-2, los veterinarios, virólogos y zóoólogos han estado investigando los coronavirus animales mucho antes de la epidemia de COVID-19 [110]. La iniciativa One Health propone situar estos ámbitos de investigación (en humanos y animales) en el mismo contexto medioambiental. Los siguientes pasos en la ciencia de la prevención de pandemias son comprender los factores que crean oportunidades para la zoonosis [111,112], como la entrada en hábitats infecciosos como las cuevas de murciélagos y el uso de animales salvajes como alimento y medicina [113-117].

La secuenciación en profundidad de los microbiomas y viromas de archivos de biorrepositorios de animales supuestamente hospederos de gran profundidad taxonómica, geográfica y temporal, servirá de base para nuevos enfoques de la zoonosis, la evaluación de riesgos y la mitigación de amenazas [118-120]. Por lo tanto, otro paso hacia la promoción del enfoque “One Health” es aprovechar los biorrepositorios en la investigación biomédica. Aunque la iniciativa “Global Museum” ya ofrece una vía de integración internacional entre los biorrepositorios de los museos en una red descentralizada y geográficamente dispersa [121], el vínculo con la investigación de la EIE aún no se ha materializado del todo.

La reciente creación de la red de Museos y Patógenos Emergentes de las Américas (MPEA) es vital para vincular los biorrepositorios y la investigación de las EIE [122]. El objetivo general de la MPEA es aprovechar los biorrepositorios de los museos en un sistema de vigilancia de patógenos global y descentralizado mediante la ampliación de la infraestructura de biodiversidad y la apertura de canales de comunicación que fomenten la colaboración entre los biorrepositorios y las comunidades biomédicas. La necesidad de este enfoque basado en el hospedero para la epidemiología genómica se hace evidente por la naturaleza transmisible del SARS-CoV-2 [123], el cual tiene el potencial de infectar a una serie de hospederos, incluyendo tigres [124-126], visones [127,128], gatos domésticos [129-131], hurones [132-134], perros mapaches [135], macacos cynomolgus y rhesus [135-137], conejos [138], murciélagos frugívoros egipcios [138,139], hámsters sirios [140], y ciervos de cola blanca [141-143].

¿Cómo podemos rastrear más rápidamente las variantes del SARS-CoV-2?

Las vacunas siguen siendo eficaces en la prevención de resultados graves contra todas las variantes de SARS-CoV-2 [100], que están causando estragos entre las personas no vacunadas [144,145]. Sin embargo, la probabilidad de nuevas mutaciones aumenta a medida que aumentan los casos, lo que posiblemente conduce a una mayor transmisión, escape inmunológico o aumento de la patogenicidad. Este proceso ha dado lugar a variantes más transmisibles [146,147].

Los investigadores se enfrentan a 2 retos principales para seguir el ritmo de las variantes del SRAS-CoV-2: utilizar los recursos a su capacidad óptima y reducir las barreras a la tecnología y la formación en epidemiología genómica en todo el mundo. Por un lado, los países con una alta tasa de positividad, como la India, no están secuenciando los aislados a plena capacidad [148]. Estados Unidos es un ejemplo aún más extremo porque ha ocupado un lugar bajo en la secuenciación del SRAS-CoV-2 a pesar de su capacidad y experiencia [149,150]. Por otro lado, países como Sudáfrica tienen laboratorios de secuenciación que luchan contra la escasez de reactivos y la escasez de científicos formados [151].

A pesar del aumento de la viabilidad de la secuenciación, siguen siendo necesarios esfuerzos mundiales para reforzar la capacidad de secuenciación de patógenos a fin de responder a los retos técnicos, logísticos y financieros en entornos con recursos limitados. Además, los buenos resultados de la secuenciación del SRAS-CoV-2 en algunos PIBM (por ejemplo, la República Democrática del Congo, Brasil, Senegal y Tailandia) fomentan aún más la colaboración internacional y nacional entre las autoridades de salud pública, los centros sanitarios, el mundo académico y la industria [149].

Otros retos son la manipulación coherente de las cepas, así como la conservación y el depósito de metadatos y datos de secuencias de forma que facilite la combinación de conjuntos de datos procedentes de distintos laboratorios. Estos retos requieren esfuerzos coordinados [152] y normas de datos [153] para garantizar un acceso rápido a grandes volúmenes de datos moleculares brutos y procesados

a escalas sin precedentes [70]. También necesitamos abordar los cuellos de botella de la bioinformática para responder más rápidamente a la amenaza de las enfermedades emergentes y gestionar la acelerada producción de información genómica. La mayoría de las herramientas proceden del arsenal de la biología evolutiva para estudiar los linajes de taxones superiores con enfoques ejemplares [154]. Aunque estas herramientas no se diseñaron para gestionar grandes volúmenes de datos procedentes de patógenos en rápida evolución [154], algunas ya han empezado a responder a estas demandas. Por ejemplo, la colocación ultrarrápida de muestras en árboles existentes (USHER) permite la rápida colocación de nuevos genomas en un árbol de referencia utilizando el criterio de optimalidad de parsimonia [155]. Así pues, dado que los principios filogenéticos sustentan la forma en que vemos los cambios genéticos a través del tiempo, la iniciativa One Health, también incluirá el intercambio de conocimientos entre biólogos evolutivos y epidemiólogos.

Los árboles filogenéticos son difíciles de calcular e interpretar. La necesidad de consultar a filogenetistas profesionales queda patente en el número de trabajos destacados que no se ajustaron a las normas de la filogenética y no lograron identificar a los hospedadores fundamentales de los coronavirus [156]. Además, un buen análisis filogenético requiere muchos elementos: elección cuidadosa de los taxones, secuencias y/o datos fenotípicos recopilados; método y control de calidad de los datos de secuencias y alineamiento; evaluación de los modelos de sustitución e indel; tratamiento de las particiones; protocolo de búsqueda en árbol; medidas de ajuste o confianza y estrategias para la codificación y optimización de caracteres [49,156,157]. Además, los resultados pueden variar con la parametrización [158]. Éstas son sólo algunas de las difíciles decisiones que van más allá del nivel de sofisticación de cualquier manual de software y sistema automatizado [156,159].

¿Son siempre necesarios los árboles asignados a los globos terráqueos?

En muchos casos, como la propagación inicial de la gripe H5N1, los árboles y los *supramaps* resultaron muy útiles para comprender la propagación geográfica del patógeno, sus múltiples patrones de

zoonosis distintos desde el punto de vista geográfico y de las mutaciones [10] y la resistencia a los fármacos [14]. Sin embargo, debido a la oclusión, los *supramaps* no resultaron adecuados para la visualización de enfermedades cosmopolitas, como las cepas de Salmonella (p. ej., Hoffman et al. [3]), la gripe estacional (p. ej., H3N2), la influenza pandémica (H1N1-2009) [16] y el SARS-CoV-2. En respuesta, los investigadores han trabajado en herramientas alternativas de visualización, incluyendo mapas de puntos y mapas de rutas [13,160] y finalmente, lograron superar la necesidad de mapear árboles a globos con base en *strainhub* [161].

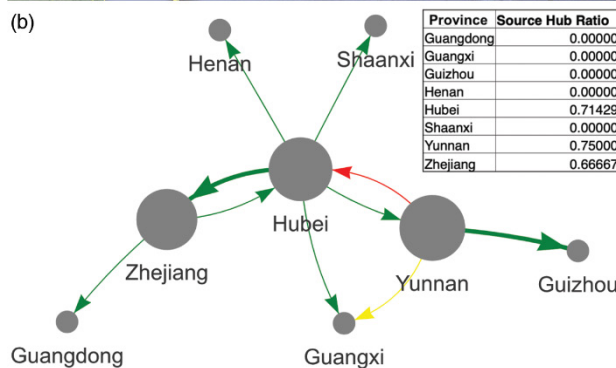
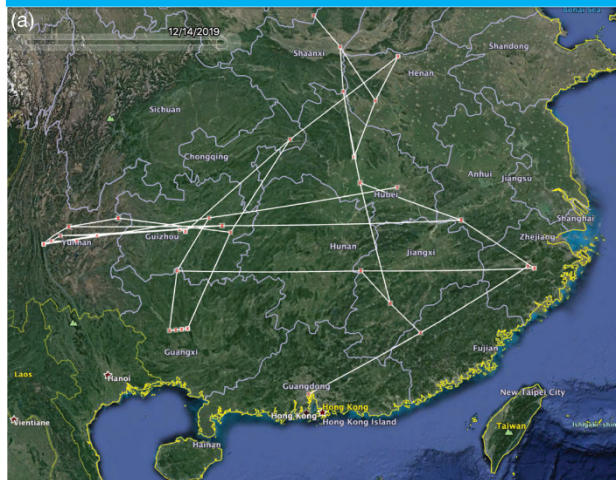
A diferencia de *supramap*, *strainhub* es menos exigente desde el punto de vista computacional. Puede ejecutarse desde un navegador web; no depende de ningún software de código cerrado (Google Earth), y los datos geográficos son opcionales (figura 5). Además, *strainhub* puede utilizarse para probar hipótesis sobre la importancia relativa de los hospederos o lugares en la propagación de enfermedades. Los futuros esfuerzos de *strainhub* se centrarán en la facilidad de uso, la interoperabilidad, la claridad visual y la cuantificación de la importancia relativa de los hospederos o lugares en la propagación de enfermedades para comprender mejor la zoonosis.

¿Cómo nos preparamos para la próxima pandemia?

La pandemia de COVID-19 ha ilustrado lo poco preparada que está nuestra sociedad global interconectada para las enfermedades zoonóticas. Para la próxima pandemia, dos fronteras de investigación son interesantes para la epidemiología genómica como herramienta para estudiar los microbios con potencial pandémico para predecir, prevenir o responder más rápidamente a la aparición de nuevas enfermedades. En primer lugar, debemos estudiar la diversidad natural de coronavirus y otros microbios con potencial pandémico presentes en los animales [120]. En segundo lugar, debemos desarrollar la ciencia de la prevención de pandemias pasando del seguimiento de las pandemias que se están produciendo a la predicción de brotes. Por ejemplo, la combinación de la inteligencia artificial con la epidemiología genómica puede conducir a la construcción de un "pronóstico viral" para informar las decisiones sobre los virus con potencial

patémico [162] y patógenos subyacentes a las zoonosis [163].

Figura 5 Comparación entre las visualizaciones de *supramap* y *strainhub*. (a) Visualización filogenética Supramap de coronavirus hospedados por murciélagos y pangolines que comparten ascendencia reciente (2005-2019) con el SARS-CoV-2 hospedado por humanos. Los datos subyacentes son secuencias genómicas y metadatos temporales y geográficos. (b) Visualización en *strainhub* de los mismos datos más los metadatos del hospedador en una red utilizando un espacio arbitrario. Los colores de las flechas corresponden a diferentes tipos de transmisión (rojo = murciélago a humano, verde = murciélago a murciélago, amarillo = murciélago a pangolín). El tamaño del círculo representa la relación fuente-hub (SHR). El SHR es el número de transiciones originadas en un nodo como fracción del número total de transiciones relacionadas con ese nodo. Un nodo con un SHR cercano a 1 indica una fuente (por ejemplo, Hubei, Yunnan y Zhejiang), un SHR cercano a 0,5 un centro y un SHR cercano a 0 un sumidero para el patógeno. El grosor de la línea representa una mayor frecuencia de transmisión viral (por ejemplo, de Hubei a Zhejiang).



Conclusiones

La pandemia de COVID-19, mientras continúa, ha causado 4.863.818 muertes en todo el mundo hasta el 14 de octubre de 2021 [164] y ha superado la cifra de muertes en EE.UU. de la pandemia H1N1 de

1918-1919, que fue de ~675,000. A medida que el SARS-CoV-2 se hace endémico, debemos recordar que no es tan letal como otros patógenos como la gripe H5N1 o el virus Nipah. En sus últimos 100 años de existencia, la viruela mató a 300 millones de personas y la Variola mayor (la variante principal de la viruela) mató al 30% de estos pacientes [165].

Un nuevo patógeno con una mortalidad del 30% que infectara al 50% de la población estadounidense (166.7 millones) habría provocado 50 millones de muertes. El MERS-CoV, los henipavirus y los hantavirus tienen una alta mortalidad (>30%) y virulencia y no disponen de vacunas o antivirales aprobados. El brote de Nipah de 2018 tuvo una tasa de letalidad del 91% y se cobró 21 vidas [166]. Debemos prestar atención a la advertencia de que patógenos con fenotipos de enfermedad más graves que el SARS-CoV-2 podrían dar lugar a una pandemia mucho más devastadora.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de las siguientes unidades de la Universidad de Carolina del Norte en Charlotte: el College of Computing and Informatics, el Bioinformatics Research Center, el Ribarsky Center for Visual Analytics, el Department of Bioinformatics and Genomics, Research and Economic Development, Academic Affairs y University Research Computing. También agradecemos el apoyo del Campus de Investigación de Carolina del Norte y de la familia Belk. R.A. White III cuenta con el apoyo de un paquete inicial de la UNC Charlotte. D.J.M. agradece a Thiago José Jacob Carnevali, su ejemplo e inspiración.

Consentimiento para publicación

Los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran no poseer ningún tipo de conflicto de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no de las instituciones a las cuales pertenecen.

Referencias

- [1] Janies DA. Phylogenetic concepts and tools applied to epidemiologic investigations of infectious diseases. *Microbiol Spectr* 2019;7. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.AME-0006-2018>
- [2] Janies DA, Pomeroy LW, Aaronson JM, et al. Analysis and visualization of H7 influenza using genomic, evolutionary and geographic information in a modular web service. *Cladistics* 2012;28:483–488. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2012.00401.x>
- [3] Hoffmann M, Luo Y, Monday SR, et al. Tracing origins of the *Salmonella* Bareilly strain causing a foodborne outbreak in the United States. *J Infect Dis* 2016;213:502–508. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiv297>
- [4] Ezeoke I, Galac MR, Lin Y, et al. Tracking a serial killer: integrating phylogenetic relationships, epidemiology, and geography for two invasive meningococcal disease outbreaks. *PLoS One* 2018;13:e0202615. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202615>
- [5] Allard MW, Strain E, Melka D, et al. Practical value of food pathogen traceability through building a whole-genome sequencing network and database. *J Clin Microbiol* 2016;54: 1975–1983. <https://doi.org/10.1128/JCM.00081-16>
- [6] Marra MA, Jones SJM, Astell CR, et al. The genome sequence of the SARS-associated coronavirus. *Science* 2003;300:1399–1404. <https://doi.org/10.1126/science.1085953>
- [7] Rota PA, Oberste MS, Monroe SS, et al. Characterization of a novel coronavirus associated with severe acute respiratory syndrome. *Science* 2003;300:1394–1399. <https://doi.org/10.1126/science.1085952>
- [8] Boulos MNK. Descriptive review of geographic mapping of severe acute respiratory syndrome (SARS) on the Internet. *Int J Health Geogr* 2004;3:2. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-3-2>
- [9] Janies DA, Habib F, Alexandrov B, Hill A, Pol D. Evolution of genomes, host shifts and the geographic spread of SARS-CoV and related coronaviruses. *Cladistics* 2008;24:111–130. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2008.00199.x>
- [10] Janies DA, Hill AW, Guralnick R, Habib F, Waltari E, Wheeler WC. Genomic analysis and geographic visualization of the spread of avian influenza (H5N1). *Syst Biol* 2007;56:321–329. <https://doi.org/10.1080/10635150701266848>
- [11] Janies DA, Treseder T, Alexandrov B, et al. The Supramap project: linking pathogen genomes with geography to fight emergent infectious diseases. *Cladistics* 2011;27:61–66. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2010.00314.x>
- [12] Studer J, Janies DA. Global spread and evolution of viral haemorrhagic septicaemia virus. *J Fish Dis* 2011;34:741–747. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01290.x>
- [13] Janies DA, Voronkin IO, Studer J, et al. Selection for resistance to oselta-mivir in seasonal and pandemic H1N1 influenza and widespread co-circulation of the lineages. *Int J Health Geogr* 2010;9:13. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-13>
- [14] Hill AW, Guralnick RP, Wilson MJC, Habib F, Janies D. Evolution of drug resistance in multiple distinct lineages of H5N1 avian influenza. *Infect Genet Evol* 2009;9:169–178. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2008.10.006>
- [15] Janies, DA. Local challenges of global proportions: evaluating role, preparedness for, and surveillance for pandemic influenza: Hearing before the committee on homeland security and government affairs, United States senate, 111 Sess. (2007). US government website. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CHRG-110shrg38846/html/CHRG-110shrg38846.htm>
- [16] Janies DA, Voronkin IO, Das M, Hardman J, Treseder TW, Studer J. Genome informatics of influenza A: from data sharing to shared analytical capabilities. *Anim Health Res Rev* 2010;11:73–79. <https://doi.org/10.1017/S1466252310000083>
- [17] Ruan YJ, Wei CL, Ee AL, et al. Comparative full-length genome sequence analysis of 14 SARS coronavirus isolates and common mutations associated with putative origins of infection. *Lancet* 2003;361:1779–1785. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(03\)13414-2](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(03)13414-2)
- [18] Zhao G-P. SARS molecular epidemiology: a Chinese fairy tale of control—ling an emerging zoonotic disease in the genomics era. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2007;362:1063–1081. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2034>
- [19] Reuter JA, Spacek DV, Snyder MP. High-throughput sequencing technologies. *Mol Cell* 2015;58:586–597. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2015.05.004>
- [20] Pérez-Losada M, Arenas M, Galán JC, et al. High-throughput sequencing (HTS) for the analysis of viral populations. *Infect Genet Evol* 2020;80:104208. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104208>
- [21] National Human Genome Research Institute. *The Cost of Sequencing a Human Genome, 2021*. <https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Sequencing-Human-Genome-cost>
- [22] Woo PCY, Lau SKP, Lam CSF, et al. Discovery of a novel bottlenose dolphin coronavirus reveals a distinct species of marine mammal coronavirus in gamma coronavirus. *J Virol* 2014;88:1318–1331. <https://doi.org/10.1128/JVI.02351-13>
- [23] Durães-Carvalho R, Caserta LC, Barnabé ACS, et al. Coronaviruses detected in Brazilian wild birds reveal close evolutionary relationships with beta- and deltacoronaviruses isolated from mammals. *J Mol Evol* 2015;81:21–23. <https://doi.org/10.1007/s00239-015-9693-9>
- [24] Woo PCY, Lau SKP, Lam CSF, et al. Discovery of seven novel mammalian and avian coronaviruses in the genus deltacoronavirus supports bat coronaviruses as the gene source of alphacoronavirus and betacoronavirus and avian coronaviruses as the gene source of gammacoronavirus and delta-coronavirus. *J Virol* 2012;86:3995–4008. <https://doi.org/10.1128/JVI.06540-11>
- [25] Woo PCY, Huang Y, Lau SKP, Yuen K-Y. Coronavirus genomics and bio-informatics analysis. *Viruses*. 2010;2:1804–1820. <https://doi.org/10.3390/v2081803>
- [26] Irigoyen N, Firth AE, Jones JD, Chung BY-W, Siddell SG, Brierley I. High-resolution analysis of coronavirus gene expression by RNA sequencing and ribosome profiling. *PLoS Pathog* 2016;12:e1005473. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005473>
- [27] ViralZone. Coronavirinae; 2021. https://viralzone.expasy.org/785?outline=all_by_species
- [28] Li BX, Ge JW, Li YJ. Porcine aminopeptidase N is a functional receptor for the PEDV coronavirus. *Virology*. 2007;365:166–172. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2007.03.031>
- [29] Boileau MJ, Kapil S. Bovine coronavirus associated syndromes. *Vet Clin N Am Food Anim Pract* 2010;26:123–146. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2009.10.003>
- [30] Mandelik R, Sarvas M, Jackova A, Salamonova S, Novotny J, Vilcek S. First outbreak with chimeric swine enteric coronavirus (SeCoV) on pig farms in Slovakia—lessons to learn. *Acta Vet Hung* 2018;66:488–492. <https://doi.org/10.1556/004.2018.043>

- [31] Su S, Wong G, Shi W, Liu J, Lai ACK, Zhou J, et al. Epidemiology, genetic recombination, and pathogenesis of coronaviruses. *Trends Microbiol* 2016;24:490–502. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2016.03.003>
- [32] Lai MMC, Cavanagh D. The molecular biology of coronaviruses. In *Advances in Virus Research*. New York: Elsevier; 1997: 1–100. [https://doi.org/10.1016/S0065-3527\(08\)60286-9](https://doi.org/10.1016/S0065-3527(08)60286-9)
- [33] Centers for Disease Control and Prevention. Human coronavirus types; 2021, March 17. <https://www.cdc.gov/coronavirus/types.html>.
- [34] Zhang XM, Herbst W, Kousoulas KG, Storz J. Biological and genetic characterization of a hemagglutinating coronavirus isolated from a diarrhoeic child. *J Med Virol* 1994;44:152–161. <https://doi.org/10.1002/jmv.1890440207>
- [35] Zhong NS, Zheng BJ, Li YM, et al. Epidemiology and cause of severe acute respiratory syndrome (SARS) in Guangdong, People's Republic of China, in February 2003. *Lancet* 2003;362:1353–1358. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)14630-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)14630-2)
- [36] Ksiazek TG, Erdman D, Goldsmith CS, et al. A novel coronavirus associated with severe acute respiratory syndrome. *N Engl J Med* 2003;348:1953–1966. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa030781>
- [37] Zumla A, Hui DS, Perlman S. Middle East respiratory syndrome. *Lancet* 2015;386:995–1007. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60454-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60454-8)
- [38] World Health Organization. World Health Organization director-general's opening remarks at the media briefing on COVID-19. <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19-11-march-2020>.
- [39] Pekar J, Worobey M, Moshiri N, Scheffler K, Wertheim JO. Timing the SARS-CoV-2 index case in Hubei province. *Science* 2021;372:412–417. <https://doi.org/10.1126/science.abbf8003>
- [40] Coronavirus (COVID-19) dashboard. World Health Organization. <https://covid19.who.int>.
- [41] Yuen K-S, Ye Z-W, Fung S-Y, Chan C-P, Jin D-Y. SARS-CoV-2 and COVID-19: the most important research questions. *Cell Biosci* 2020;10:40. <https://doi.org/10.1186/s13578-020-00404-4>
- [42] Andersen KG, Rambaut A, Lipkin WI, Holmes EC, Garry RF. The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nat Med* 2020;26:450–452. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9>
- [43] Liu S-L, Saif LJ, Weiss SR, Su L. No credible evidence supporting claims of the laboratory engineering of SARS-CoV-2. *Emerg Microbes Infect* 2020;9:505–507. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1733440>
- [44] Holmes EC, Goldstein SA, Rasmussen AL, et al. The origins of SARS-CoV-2: a critical review. *Cell* 2021, 184(19):4848–4856. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.08.017>
- [45] Wang N, Li S-Y, Yang X-L, et al. Serological evidence of bat SARS-related coronavirus infection in humans, China. *Virol Sin* 2018;33:104–107. <https://doi.org/10.1007/s12250-018-0012-7>
- [46] Zhang X, Hasoksuz M, Spiro D, et al. Quasi-species of bovine enteric and respiratory coronaviruses based on complete genome sequences and genetic changes after tissue culture adaptation. *Virol* 2007;363:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2007.03.018>
- [47] Rasmussen AL. On the origins of SARS-CoV-2. *Nat Med*, 27,9 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41591-020-01205-5>
- [48] Shi Z-L. Origins of SARS-CoV-2: focusing on science. *Infect Dis Immun* 2021;1:3–4. <https://doi.org/10.1097/ID9.000000000000008>
- [49] Machado DJ, Scott R, Guirales S, Janies DA. Fundamental evolution of all including three deadly lineages descendent from Chiroptera-hosted coronaviruses: SARS-CoV, MERS-CoV, and SARS-CoV-2. *Cladistics* 2021, 27(5), 461–488. <https://doi.org/10.1111/cla.12454>
- [50] Zhao S, Zhuang Z, Cao P, et al. Quantifying the association between domestic travel and the exportation of novel coronavirus (2019-nCoV) cases from Wuhan, China in 2020: a correlational analysis. *J Travel Med* 2020;27. <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa022>
- [51] Li W, Shi Z, Yu M, et al. Bats are natural reservoirs of SARS-like coronaviruses. *Science* 2005;310:676–679. <https://doi.org/10.1126/science.1118391>
- [52] Lytras S, Hughes J, Martin D, et al. Exploring the natural origins of SARS-CoV-2 in the light of recombination. *bioRxiv* 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.01.22.427830>
- [53] Lytras S, Xia W, Hughes J, Jiang X, Robertson DL. The animal origin of SARS-CoV-2. *Science* 2021;373:968–970. <https://doi.org/10.1126/science.abb0117>
- [54] Lam TT-Y, Jia N, Zhang Y-W, et al. Identifying SARS-CoV-2-related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature* 2020;583:282–285. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2169-0>
- [55] Xiao K, Zhai J, Feng Y, et al. Isolation of SARS-CoV-2-related coronavirus from Malayan pangolins. *Nature* 2020;583:286–289. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2313-x>
- [56] Zhang T, Wu Q, Zhang Z. Probable pangolin origin of SARS-CoV-2 associated with the COVID-19 outbreak. *Curr Biol* 2020;30:1346–1351.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.03.022>
- [57] Liu P, Jiang J-Z, Wan X-F, et al. Are pangolins the intermediate host of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2)? *PLoS Pathog* 2020;16:e1008421. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008421>
- [58] GISAID—Initiative. Global Initiative on Sharing All Influenza Data website. <https://www.gisaid.org>
- [59] GISAID—Initiative. EpiCov website. <https://www.epicov.org/>
- [60] Wu F, Zhao S, Yu B, et al. Author correction: a new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature* 2020;580:E7. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2008-3>
- [61] European Centre for Disease Control and Prevention. *Sequencing of SARS-CoV-2*. <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/sequencing-of-SARS-CoV-2.pdf>
- [62] World Health Organization. Genomic sequencing of SARS-CoV-2: a guide to implementation for maximum impact on public health. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240018440>
- [63] Truelove S, Smith CP, Qin M, et al. Projected resurgence of COVID-19 in the United States in July–December 2021 resulting from the increased transmissibility of the Delta variant and faltering vaccination. *medRxiv* 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.08.28.21262748>
- [64] Lau BT, Pavlichin D, Hooker AC, et al. Profiling SARS-CoV-2 mutation fingerprints that range from the viral pangenome to individual infection quasispecies. *Genome Med* 2021;13:62. <https://doi.org/10.1186/s13073-021-00882-2>
- [65] Hamza M, Ali A, Khan S, et al. nCoV-19 peptides mass fingerprinting identification, binding, and blocking of inhibitors

- flavonoids and anthraquinone of and hydroxychloroquine. *J Biomol Struct Dyn* 2021;39:4089–4099. <https://doi.org/10.1080/07391102.2020.1778534>
- [66] Hariton E, Locascio JJ. Randomised controlled trials—the gold standard for effectiveness research: Study design: randomised controlled trials. *BJOG* 2018;125:1716. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.15199>
- [67] Boulware DR, Pullen MF, Bangdiwala AS, et al. A randomized trial of hydroxychloroquine as postexposure prophylaxis for COVID-19. *N Engl J Med*. 2020;383:517–525. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2016638>
- [68] Siemieniuk RA, Bartoszko JJ, Ge L, et al. Drug treatments for COVID-19: living systematic review and network meta-analysis. *BMJ* 2020;370: m2980. <https://doi.org/10.1136/bmj.m2980>
- [69] National Human Genome Research Institute. COVID-19 mRNA vaccine production. <https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/COVID-19-mRNA-Vaccine-Production>
- [70] Chiara M, D'Erchia AM, Gissi C, et al. Next-generation sequencing of SARS-CoV-2 genomes: challenges, applications and opportunities. *Brief Bioinform* 2021;22:616–630. <https://doi.org/10.1093/bib/bbaa297>
- [71] Shaman J, Galanti M. Will SARS-CoV-2 become endemic? *Science* 2020;370:527–529. <https://doi.org/10.1126/science.abe5960>
- [72] Nakanishi N, Yoshio I. The novel coronavirus pandemic and the state of the epidemic in Kobe, Japan. *J Disaster Res* 2021;16:84–87. https://www.fujipress.jp/main/wp-content/themes/Fujipress/pdf_subscribed.php
- [73] Phillips N. The coronavirus is here to stay—here's what that means. *Nature* 2021;590:382–384. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00396-2>
- [74] Zhou D, Dejnirattisai W, Supasa P, et al. Evidence of escape of SARS-CoV-2 variant B.1.351 from natural and vaccine-induced sera. *Cell* 2021;184:2348–2361.e6. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.02.037>
- [75] Kustin T, Harel N, Finkel U, et al. Evidence for increased breakthrough rates of SARS-CoV-2 variants of concern in BNT162b2-mRNA-vaccinated individuals. *Nat Med* 2021;27:1379–1384. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01413-7>
- [76] Farinholt T, Doddapaneni H, Qin X, et al. Transmission event of SARS-CoV-2 delta variant reveals multiple vaccine breakthrough infections. *BMC Med* 2021;19:255. <https://doi.org/10.1186/s12916-021-02103-4>
- [77] Giovanetti M, Benedetti F, Campisi G, et al. Evolution patterns of SARS-CoV-2: snapshot on its genome variants. *Biochem Biophys Res Commun* 2021;538:88–91. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2020.10.102>
- [78] To KK-W, Sridhar S, Chiu KH-Y, et al. Lessons learned 1 year after SARS-CoV-2 emergence leading to COVID-19 pandemic. *Emerg Microbes Infect* 2021;10:507–535. <https://doi.org/10.1080/22221751.2021.1898291>
- [79] Munafò MR, Tilling K, Taylor AE, Evans DM, Davey Smith G. Collider scope: when selection bias can substantially influence observed associations. *Int J Epidemiol* 2018;47:226–235. <https://doi.org/10.1093/ije/dyx206>
- [80] Hernán MA. Invited commentary: selection bias without colliders. *Am J Epidemiol* 2017;185:1048–1050. <https://doi.org/10.1093/aje/kwx077>
- [81] Tattan-Birch H, Marsden J, West R, Gage SH. Assessing and addressing collider bias in addiction research: the curious case of smoking and COVID-19. *Addiction* 2021;116:982–984. <https://doi.org/10.1111/add.15348>
- [82] Brito AF, Semenova E, Dudas G, et al. Global disparities in SARS-CoV-2 genomic surveillance. medRxiv 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.08.21.21262393>
- [83] Lauring AS, Hodcroft EB. Genetic variants of SARS-CoV-2—what do they mean? *JAMA* 2021;325:529–531. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.27124>
- [84] Tegally H, Wilkinson E, Giovanetti M, et al. Emergence and rapid spread of a new severe acute respiratory syndrome-related coronavirus 2 (SARS-CoV-2) lineage with multiple spike mutations in South Africa. medRxiv 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.12.21.20248640>
- [85] Ford CT, Scott R, Machado DJ, Janies D. Sequencing data of North American SARS-CoV-2 isolates shows widespread complex variants. medRxiv 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.01.27.21250648>
- [86] Awadasseid A, Wu Y, Tanaka Y, Zhang W. Current advances in the development of SARS-CoV-2 vaccines. *Int J Biol Sci* 2021;17:8–19. <https://doi.org/10.7150/ijbs.52569>
- [87] Hossain MK, Hassanzadeganroudsari M, Apostolopoulos V. The emergence of new strains of SARS-CoV-2. What does it mean for COVID-19 vaccines? *Expert Rev Vaccines* 2021;20:635–638. <https://doi.org/10.1080/14760584.2021.1915140>
- [88] Ul-Rahman A, Shabbir MAB, Aziz MW, et al. A comparative phylogenomic analysis of SARS-CoV-2 strains reported from non-human mammalian species and environmental samples. *Mol Biol Rep* 2020;47: 9207–9217. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05879-5>
- [89] Kuhn JH, Bao Y, Bavari S, et al. Virus nomenclature below the species level: a standardized nomenclature for natural variants of viruses assigned to the family *Filoviridae*. *Arch Virol* 2013;158:301–311. <https://doi.org/10.1007/s00705-012-1454-0>
- [90] Parums D. Editorial: revised World Health Organization (WHO) terminology for variants of concern and variants of interest of SARS-CoV-2. *Med Sci Monit* 2021;27:e933622. <https://doi.org/10.12659/MSM.933622>
- [91] Konings F, Perkins MD, Kuhn JH, et al. SARS-CoV-2 variants of interest and concern naming scheme conducive for global discourse. *Nat Microbiol* 2021;6:821–823. <https://doi.org/10.1038/s41564-021-00932-w>
- [92] 92. Janik E, Niemcewicz M, Podogrocki M, Majsterek I, Bijak M. The emerging concern and interest SARS-CoV-2 variants. *Pathogens* 2021;10. <https://doi.org/10.3390/pathogens10060633>
- [93] Tracking SARS-CoV-2 variants. World Health Organization <https://www.who.int/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants>.
- [94] SARS-CoV-2 variant classifications and definitions. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/variants/variant-info.html>.
- [95] Shu Y, McCauley J. GISAID: Global initiative on sharing all influenza data from vision to reality. *Euro Surveill* 2017;22. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2017.22.13.30494>
- [96] Hadfield J, Megill C, Bell SM, et al. Nextstrain: real-time tracking of pathogen evolution. *Bioinformatics* 2018;34:4121–4123.

<https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty407>

[97] Rambaut A, Holmes EC, O'Toole Á, et al. A dynamic nomenclature proposal for SARS-CoV-2 lineages to assist genomic epidemiology. *Nat Microbiol* 2020;5:1403–1407. <https://doi.org/10.1038/s41564-020-0770-5>

[98] Harvey WT, Carabelli AM, Jackson B, et al. SARS-CoV-2 variants, spike mutations and immune escape. *Nat Rev Microbiol* 2021;19:409–424. <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00573-0>

[99] Flanagan KL, MacIntyre CR, McIntyre PB, Nelson MR. SARS-CoV-2 vaccines: where are we now? *J Allergy Clin Immunol Pract* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2021.07.016>

[100] Cevik M, Grubaugh ND, Iwasaki A, Openshaw P. COVID-19 vaccines: keeping pace with SARS-CoV-2 variants. *Cell* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.09.010>

[101] Schmitz AJ, Turner JS, Liu Z, et al. A vaccine-induced public antibody protects against SARS-CoV-2 and emerging variants. *Immunity* 2021;54: 2159–2166. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2021.08.013>

[102] Boehm E, Kronig I, Neher RA, et al. Novel SARS-CoV-2 variants: the pandemics within the pandemic. *Clin Microbiol Infect* 2021;27: 1109–1117. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2021.05.022>

[103] Farooqi T, Malik JA, Mulla AH, et al. An overview of SARS-CoV-2 epidemiology, mutant variants, vaccines, and management strategies. *J Infect Public Health* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2021.08.014>

[104] Krause PR, Gruber MF. Emergency use authorization of COVID vaccines safety and efficacy follow-up considerations. *N Engl J Med* 2020;383: e107. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2031373>

[105] Pascual-Iglesias A, Canton J, Ortega-Prieto AM, Jimenez-Guardenõ JM, Regla-Nava JA. An overview of vaccines against SARS-CoV-2 in the COVID-19 pandemic era. *Pathogens* 2021;10. <https://doi.org/10.3390/pathogens10081030>

[106] Chen Y, Zhu L, Huang W, et al. Potent RBD-specific neutralizing rabbit monoclonal antibodies recognize emerging SARS-CoV-2 variants elicited by DNA prime-protein boost vaccination. *Emerg Microbes Infect* 2021;10: 1390–1403. <https://doi.org/10.1080/22221751.2021.1942227>

[107] Hodgson SH, Mansatta K, Mallett G, Harris V, Emary KRW, Pollard AJ. What defines an efficacious COVID-19 vaccine? A review of the challenges assessing the clinical efficacy of vaccines against SARS-CoV-2. *Lancet Infect Dis* 2021;21:e26–e35. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30773-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30773-8)

[108] Zhao T, Hu C, Ayaz Ahmed M, Cheng C, Chen Y, Sun C. Warnings regarding the potential coronavirus disease 2019 (COVID-19) transmission risk: vaccination is not enough. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2021;2. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100116>

[109] Lanzavecchia S, Beyer KJ, Evina Bolo S. Vaccination is not enough: understanding the increase in cases of COVID-19 in Chile despite a high vaccination rate. *Epidemiologia* 2021;2:377–390. <https://doi.org/10.3390/epidemiologia2030028>

[110] Poudel U, Subedi D, Pantha S, Dhakal S. Animal coronaviruses and coronavirus disease 2019: lesson for One Health approach. *Open Vet J* 2020;10: 239–251. <https://doi.org/10.4314/ovj.v10i3.1>

[111] Semenza JC, Menne B. Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet Infect Dis* 2009;9:365–375. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70104-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70104-5)

[112] Bartlow AW, Manore C, Xu C, et al. Forecasting zoonotic infectious disease response to climate change: mosquito vectors and a changing environment. *Vet Sci China* 2019;6. <https://doi.org/10.3390/vetsci6020040>

[113] Mersha C, Tewodros F. One Health, one medicine, one world: conjoint of animal and human medicine with perspectives, a review. *Veterinary World* 2012, 5(4), 238–243. <https://doi.org/10.5455/vetworld.2012.238-243>

[114] Sánchez-Vizcaíno JM. One world, One Health, one virology. *Vet Microbiol* 2013. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2013.02.018>

[115] Reeve-Johnson L. One Health and a world of opportunity. *Veterinary Record* 2015. <https://doi.org/10.1136/vr.h2117>

[116] Mwangi W, de Figueiredo P, Criscitiello MF. One Health: addressing global challenges at the nexus of human, animal, and environmental Health. *PLoS Pathog* 2016;12:e1005731. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005731>

[117] Kelly TR, Karesh WB, Johnson CK, et al. One Health proof of concept: bringing a transdisciplinary approach to surveillance for zoonotic viruses at the human-wild animal interface. *Prev Vet Med* 2017;137:112–118. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.11.023>

[118] Colella JP, Stephens RB, Campbell ML, Kohli BA, Parsons DJ, Mclean BS. The open-specimen movement. *Bioscience* 2021;71:405–414. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa146>

[119] Cook JA, Arai S, Armien B, et al. Integrating biodiversity infrastructure into pathogen discovery and mitigation of emerging infectious diseases. *Bioscience* 2020;70:531–534. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa064>

[120] Thompson CW, Phelps KL, Allard MW, et al. Preserve a voucher specimen! The critical need for integrating natural history collections in infectious disease studies. *MBio* 2021;12. <https://doi.org/10.1128/mBio.02698-20>

[121] Bakker FT, Antonelli A, Clarke JA, et al. The Global Museum: natural history collections and the future of evolutionary science and public education. *Peer J* 2020;8:e8225. <https://doi.org/10.7717/peerj.8225>

[122] Colella JP, Bates J, Burneo SF, et al. Leveraging natural history biorepositories as a global, decentralized, pathogen surveillance network. *PLoS Pathog* 2021;17:e1009583. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1009583>

[123] Conceicao C, Thakur N, Human S, et al. The SARS-CoV-2 spike protein has a broad tropism for mammalian ACE2 proteins. *PLoS Biol* 2020;18: e3001016. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001016>

[124] Wang L, Mitchell PK, Calle PP, et al. Complete genome sequence of SARS-CoV-2 in a tiger from a US zoological collection. *Microbiol Resour Announc* 2020;9. <https://doi.org/10.1128/MRA.00468-20>

[125] McAloose D, Laverack M, Wang L, et al. From people to: natural SARS-CoV-2 infection in tigers and lions at the Bronx Zoo. *MBio* 2020;11. <https://doi.org/10.1128/mBio.02220-20>

[126] Bartlett SL, Diel DG, Wang L, et al. SARS-CoV-2 infection and longitudinal fecal screening in Malayan tigers (*Panthera tigris jacksoni*), Amur tigers (*Panthera tigris altaica*), and African lions (*Panthera leo kru-geri*) at the Bronx Zoo, New York, USA. *J Zoo Wildl Med* 2021;51:733–744. <https://doi.org/10.1638/2020-0171>

[127] Oreshkova N, Molenaar RJ, Vreman S, et al. SARS-CoV-2 infection in farmed minks, the Netherlands, April and May 2020. *Euro Surveill* 2020;25.

<https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.23.2001005>

- [128] Hammer AS, Quaade ML, Rasmussen TB, et al. SARS-CoV-2 transmission between mink (*Neovison vison*) and humans, Denmark. *Emerg Infect Dis* 2021;27:547–551. <https://doi.org/10.3201/eid2702.203794>
- [129] Halfmann PJ, Hatta M, Chiba S, et al. Transmission of SARS-CoV-2 in domestic cats. *N Engl J Med* 2020;383:592–594. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2013400>
- [130] Gaudreault NN, Trujillo JD, Carossino M, et al. SARS-CoV-2 infection, disease and transmission in domestic cats. *Emerg Microbes Infect* 2020;9:2322–2332. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1833687>
- [131] Braun KM, Moreno GK, Halfmann PJ, et al. Transmission of SARS-CoV-2 in domestic cats imposes a narrow bottleneck. *PLoS Pathog* 2021;17: e1009373. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1009373>
- [132] Liu H-L, Yeh I-J, Phan NN, et al. Gene signatures of SARS-CoV/SARS-CoV-2-infected ferret lungs in short- and long-term models. *Infect Genet Evol* 2020;85:104438. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104438>
- [133] Ryan KA, Bewley KR, Fotheringham SA, et al. Dose-dependent response to infection with SARS-CoV-2 in the ferret model and evidence of protective immunity. *Nat Commun* 2021;12:81. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20439-y>
- [134] Kim Y-I, Kim S-G, Kim S-M, et al. Infection and rapid transmission of SARS-CoV-2 in ferrets. *Cell Host Microbe* 2020;27:704–709.e2. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2020.03.023>
- [135] Freuling CM, Breithaupt A, Müller T, et al. Susceptibility of raccoon dogs for experimental SARS-CoV-2 infection. *Emerg Infect Dis* 2020;26: 2982–2985. <https://doi.org/10.3201/eid2612.203733>
- [136] Munster VJ, Feldmann F, Williamson BN, et al. Respiratory disease in rhesus macaques inoculated with SARS-CoV-2. *Nature* 2020;585: 268–272. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2324-7>
- [137] Rockx B, Kuiken T, Herfst S, et al. Comparative pathogenesis of COVID-19, MERS, and SARS in a nonhuman primate model. *Science* 2020; 368:1012–1015. <https://doi.org/10.1126/science.abb7314>
- [138] Mykytyn AZ, Lamers MM, Okba NMA, et al. Susceptibility of rabbits to SARS-CoV-2. *Emerg Microbes Infect* 2021;10:1–7. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1868951>
- [139] Schlottau K, Rissmann M, Graaf A, et al. SARS-CoV-2 in fruit bats, ferrets, pigs, and chickens: an experimental transmission study. *Lancet Microbe* 2020;1:e218–e225. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30089-6](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30089-6)
- [140] Imai M, Iwatsuki-Horimoto K, Hatta M, et al. Syrian hamsters as a small animal model for SARS-CoV-2 infection and countermeasure development. *Proc Natl Acad Sci* 2020;117:16587–16595. <https://doi.org/10.1073/pnas.2009799117>
- [141] Palmer MV, Martins M, Falkenberg S, et al. Susceptibility of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) to SARS-CoV-2. *J Virol* 2021. <https://doi.org/10.1128/JVI.00083-21>
- [142] Chandler JC, Bevins SN, Ellis JW, et al. SARS-CoV-2 exposure in wild white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*). *bioRxiv* 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.07.29.454326>
- [143] Gryseels S, De Bruyn L, Gyselings R, Calvignac-Spencer S, Leendertz FH, Leirs H. Risk of human-to-wildlife transmission of SARS-CoV-2. *Mamm Rev* 2020. <https://doi.org/10.1111/mam.12225>
- [144] Griffin JB, Haddix M, Danza P, et al. SARS-CoV-2 Infections and hospitalizations among persons aged ≥16 years, by vaccination status—Los Angeles County, California, May 1–July 25, 2021. *Morb Mortal Wkly Rep* 2021;70:1170–1176. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7034e5>
- [145] Del Rio C, Malani PN, Omer SB. Confronting the delta variant of SARS-CoV-2, summer 2021. *JAMA* 2021. <https://doi.org/10.1001/jama.2021.14811>
- [146] Lazarevic I, Pravica V, Miljanovic D, Cupic M. Immune evasion of SARS-CoV-2 emerging variants: what have we learnt so far? *Viruses* 2021;13. <https://doi.org/10.3390/v13071192>
- [147] Kemp SA, Collier DA, Datir RP, et al. SARS-CoV-2 evolution during treatment of chronic infection. *Nature* 2021;592:277–282. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03291-y>
- [148] Srivastava S, Banu S, Singh P, Sowpati DT, Mishra RK. SARS-CoV-2 genomics: an Indian perspective on sequencing viral variants. *J Biosci* 2021;46. <https://doi.org/10.1007/s12038-021-00145-7>
- [149] Furuse Y. Genomic sequencing effort for SARS-CoV-2 by country during the pandemic. *Int J Infect Dis* 2021;103:305–307. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.12.034>
- [150] Crawford DC, Williams SM. Global variation in sequencing impedes SARS-CoV-2 surveillance. *PLoS Genet* 2021;17:e1009620. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1009620>
- [151] Adepoju P. Challenges of SARS-CoV-2 genomic surveillance in Africa. *Lancet Microbe* 2021;2:e139. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(21\)00065-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(21)00065-3)
- [152] Blomberg N, Lauer KB. Connecting data, tools and people across Europe: ELIXIR's response to the COVID-19 pandemic. *Eur J Hum Genet* 2020;28:719–723. <https://doi.org/10.1038/s41431-020-0637-5>
- [153] Conesa A, Beck S. Making multiomics data accessible to researchers. *Sci Data* 2019;6:251. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0258-4>
- [154] Hodgecroft EB, De Maio N, Lanfear R, et al. Want to track pandemic variants faster? Fix the bioinformatics bottleneck. *Nature* 2021; 591:30–33. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00525-x>
- [155] Turakhia Y, Thornlow B, Hinrichs AS, et al. Ultrafast Sample placement on Existing tRees (USHER) enables real-time phylogenetics for the SARS-CoV-2 pandemic. *Nat Genet* 2021;53:809–816. <https://doi.org/10.1038/s41588-021-00862-7>
- [156] Wenzel J. Origins of SARS-CoV-1 and SARS-CoV-2 are often poorly explored in leading publications. *Cladistics* 2020;36:374–379. <https://doi.org/10.1111/cla.12425>
- [157] Machado DJ, Schneider AB, Guirales S, Janies DA. FLAVi: an enhanced annotator for viral genomes of Flaviviridae. *Viruses* 2020;12. <https://doi.org/10.3390/v12080892>
- [158] Wheeler WC. Sequence alignment, parameter sensitivity, and the phylogenetic analysis of molecular data. *Syst Biol* 1995;44:321–331.
- [159] Grant T. The perils of “point-and-click” systematics. *Cladistics* 2003;19: 276–285. [https://doi.org/10.1016/S0748-3007\(03\)00029-X](https://doi.org/10.1016/S0748-3007(03)00029-X)
- [160] Hovmöller R, Alexandrov B, Hardman J, Janies D. Tracking

the geographical spread of avian influenza (H5N1) with multiple phylogenetic trees. *Cladistics* 2010;26:1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2009.00297.x>

[161] de Bernardi Schneider A, Ford CT, et al. StrainHub: a phylogenetic tool to construct pathogen transmission networks. *Bioinformatics* 2020;36:945–947. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btz646>

[162] Syrowatka A, Kuznetsova M, Alsubai A, et al. Leveraging artificial intelligence for pandemic preparedness and response: a scoping review to identify key use cases. *NPJ Digit Med* 2021;4:96. <https://doi.org/10.1038/s41746-021-00459-8>

[163] Chen S, Owolabi Y, Li A, et al. Patch dynamics modeling framework from pathogens' perspective: Unified and standardized approach for complicated epidemic systems. *PLoS One* 2020;15:e0238186. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238186>

[164] COVID-19. Johns Hopkins Coronavirus Resource Center website. [https:// coronavirus.jhu.edu/map.html](https://coronavirus.jhu.edu/map.html)

[165] Henderson DA. The eradication of smallpox—an overview of the past, present, and future. *Vaccine* 2011;29 suppl 4:D7–9. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2011.06.080>

[166] Arunkumar G, Chandni R, Mourya DT, et al. Outbreak investigation of Nipah virus disease in Kerala, India, 2018. *J Infect Dis* 2019;219: 1867–1878. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiy612>

[167] Soh SM, Kim Y, Kim C, Jang US, Lee H-R. The rapid adaptation of SARS- CoV-2-rise of the variants: transmission and resistance. *J Microbiol* 2021;59:807–818. [https://doi.org/ 10.1007/s12275-021-1348-5](https://doi.org/10.1007/s12275-021-1348-5)

[168] Schwarze K, Buchanan J, Fermont JM, et al. The complete costs of genome sequencing: a microcosting study in cancer and rare diseases from a single center in the United Kingdom. *Genet Med* 2020;22:85–94. <https://doi.org/10.1038/s41436-019-0618-7>

Implications of EU environmental policies on agriculture in Europe and beyond

Implicaciones de las políticas ambientales de la Unión Europea sobre la agricultura en Europa y más allá

Jurgen Tack 

Open Access

Correspondence:

Jurgen.tack@elo.org
European Landowners Organization
(ELO) 1050 Brussels, Belgium

First draft submitted:
18-06-2022
Accepted for publication:
11-10-2022
Published on line:
01-12-2022

Key words:

Agriculture; biodiversity;
Carbon farming; climate
change; European policies.

Palabras clave:

Agricultura; biodiversidad;
cambio climático; cultivo de
carbono; políticas europeas.

Citation:

Tack J. Implications of EU
environmental policies on
agriculture in Europe and beyond.
Magna Scientia UCEVA 2022;2:2
214-217.
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a6>

Abstract

The European Union is taking several policy initiatives to combat climate change and the loss of biodiversity with direct impact on agriculture. For farmers the European Commission is promoting an instrument called OECM, Other effective area-based conservation measures. Other effective area-based conservation measures (OECMs) are a new conservation approach, separate from protected areas, where conservation is achieved mainly as a by-product of other management. OECMs can be counted towards the EU target if: *i*) Conservation objectives and measures are in place; *ii*) the area is covered by a national or international legal or administrative act or a contractual arrangement achieving long-term conservation outcomes and *iii*) effective management and monitoring of the biodiversity in the area is in place. A new growth strategy that aims to transform the EU into a fair and prosperous society with a modern, resource-efficient and competitive economy where there are no net emissions of greenhouse gases in 2050 and where economic growth is decoupled from resource use. While those initiatives mainly impact the life and work of European farmers, there is as well an indirect impact to farmers elsewhere in the world.

Resumen

La Unión Europea está tomando varias iniciativas políticas para combatir el cambio climático y la pérdida de biodiversidad con impacto directo en la agricultura. Para los agricultores, la Comisión Europea está impulsando un instrumento llamado OECM, otra de las medidas efectivas de conservación basadas en la conservación de áreas (OECM, por sus siglas en inglés) son un nuevo enfoque de conservación, separado de las áreas protegidas, donde la conservación se logra principalmente como un subproducto de otra gestión. Los OECM pueden contarse para el objetivo de la UE si: *i*) se implementan objetivos y medidas de conservación; *ii*) el área está cubierta por un acto legal o administrativo nacional o internacional o un arreglo contractual que logra resultados de conservación a largo plazo y *iii*) se cuenta con un manejo y monitoreo efectivo de la biodiversidad en el área. Una nueva estrategia de crecimiento que pretende transformar la UE en una sociedad justa y próspera con una economía moderna, eficiente en el uso de los recursos y competitiva en la que no haya emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050 y en la que el crecimiento económico esté desvinculado del uso de los recursos. Si bien esas iniciativas afectan principalmente la vida y el trabajo de los agricultores europeos, también tienen un impacto indirecto en los agricultores de otras partes del mundo.



Copyright: ©2022 for the authors. This article is open access distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-No Derivatives International License 4.0 CC BY-NC-ND. 4.0.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Introduction

In the last 2 to 3 years the European Commission, the EU's politically independent executive governmental body, has taken several initiatives to combat climate change and the loss of biodiversity including several initiatives with a direct impact on agriculture. The most important ones are: The European Green Deal [1], the Farm to Fork strategy [2], Fit for 55 [3], the introduction of carbon farming [4] and the EU Biodiversity Strategy 2030 [5]. This reflection gives an overview of each of those 5 strategies.

The European Green Deal

The European Green Deal [1] was published in December 2019 with the overall goal to become the first ever climate neutral continent in the world by 2050. It is a new growth strategy that aims to transform the EU into a fair and prosperous society with a modern, resource-efficient, and competitive economy where there are no net emissions of greenhouse gasses in 2050 and where economic growth is decoupled from resource use (see figure 1).



To achieve its decarbonization objectives, emissions must be reduced in all sectors, from industry and energy, to transport and farming as follows:

- By increasing the EU's climate ambition for 2030 and 2050
- By supplying clean, affordable, and secure energy
- By mobilizing industry for a clean and circular economy

- By building and renovating in an energy and resource-efficient way
- By putting forward a zero-pollution ambition
- By preserving and restoring ecosystems and biodiversity
- By accelerating the shift to sustainable and smart mobility

Farm to Fork strategy

As agriculture, especially cattle breeding, is seen as an important source of carbon emissions the European Commission developed a specific strategy, called the 'Farm to Fork'.

The Farm to Fork Strategy [2] is at the heart of the European Green Deal [1] aiming to make food systems fair, healthy, and environmentally friendly. It aims to redesign our food systems which today account for nearly one-third of global GHG emissions, consume large amounts of natural resources, result in biodiversity loss and negative health impacts (due to both under- and over-nutrition) and do not allow fair economic returns and livelihoods for all actors, for primary producers. Putting our food systems on a sustainable path also brings new opportunities for operators in the food value chain. New technologies and scientific discoveries, combined with increasing public awareness and demand for sustainable food, will benefit all stakeholders. The Farm to Fork Strategy [2] aims to accelerate our transition to a sustainable food system that should:

- Have a neutral or positive environmental impact
- Help to mitigate climate change and adapt to its impacts
- Reverse the loss of biodiversity
- Ensure food security, nutrition, and public health, making sure that everyone has access to sufficient, safe, nutritious, sustainable food
- Preserve affordability of food while generating fairer economic returns, fostering competitiveness of the EU supply sector, and promoting fair trade.

Fit for 55

On 14 July 2021, the Commission presented the Fit for 55 package [3], containing a set of legislative proposals to make the EU's climate, energy, land use, transport and taxation policies fit for reaching the European Green

Deal's objective of reducing net greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030 [1]. In total a set of 13 interconnected legislative proposals must deliver on the ambitious target set. The package aims to make the EU "fit for 55" in a fair, cost-efficient, and competitive manner. It is a policy mix that respects a balance between pricing, targets, taxes, standards, and support measures. Besides proposing legislation to reach the EU's climate goals the European Commission also introduced a new methodology to reach carbon reduction goals within agriculture: carbon farming (see figure 2).

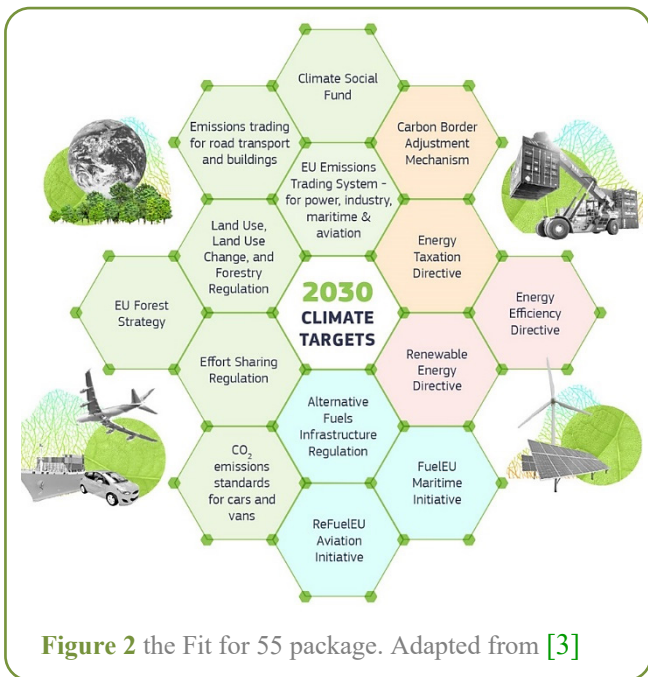


Figure 2 the Fit for 55 package. Adapted from [3]

Carbon Farming [4] is a green business model that rewards land managers/farmers for adopting improved land management practices that result in increased carbon sequestration or emission reductions. It should make it financially possible for farmers to sequester carbon in the soil and reduce emissions through practices such as peatland restoration, agroforestry, no/less tillage, use of cover crops, etc. The European Commission wants to realize this with a combination of public and private funding. Public funding could include e.g., CAP Eco-schemes, a form of agricultural subsidies and other EU funds additional to national/regional government support. Private finance should come from farmers generating "carbon credits" when they store CO₂ in the soil or reduce their emissions and sell them to companies that want to offset emissions. Many governments and organizations, including the European Landowners' Organization, are working on certification mechanisms and markets to sell or buy those certificates.

EU Biodiversity Strategy 2030

The European Union not only wants to act on climate change, also halting the loss of biodiversity is high on the political agenda. To realize this, the European Commission introduced the EU Biodiversity Strategy 2030[5]. It is a long-term plan to protect nature and reverse the degradation of ecosystems. The strategy aims to put Europe's biodiversity on a path to recovery by 2030. Among the objectives is to have 30% of the total land and sea area of the European Union under protection and 10% under strict protection.

Europe has set up in the past decades the world's largest network of protected areas called the Natura 2000 Network [6]. 60% of the Natura 2000 network is in private hands (individual landowners, companies, NGOs,). Overall, one third of (individual) landowners use their land (partly) for nature conservation. On average 5% of private land is only used for conservation. This shows the importance of private landowners in reaching the goals set by the EU Biodiversity Strategy 2030. Knowing that 80% of private landowners own agricultural land it immediately becomes clear they will have to play an important role.

For farmers, the European Commission is promoting an instrument called OECM, Other effective area-based conservation measures. Other effective area-based conservation measures (OECMs) are a new conservation approach, separate from protected areas, where conservation is achieved mainly as a by-product of other management. It is often focusing on areas with some form of legal protection that is not related to the protection of habitats and species: e.g., areas designated for water protection or flood prevention, military areas, fisheries restriction measures, offshore wind farms, underwater cables sites, among others.

However, OECMs can also be developed within farmland areas and many European Member States have created financial instruments to reward farmers for biodiversity actions taken in their fields and meadows. Changing legislation in Europe is having direct impacts on farmers all over the world. With Colombia being an important trade partner, especially in the field of agricultural products, the European Green Deal will have an important impact also on Colombian farmers exporting to Europe.

The European Green Deal will result in higher standards for social and environmental sustainability in production and processing of goods and services. The laws and measures being proposed under the European Green Deal will result in an increased demand for sustainably produced goods and services. This results in enormous opportunities for companies exporting to Europe complying with those laws and measures. There will be an increased demand for information on production and processing practices. SMEs exporting to the European Union will need to provide more and more information about how goods are produced, including information from suppliers about production and labor practices and justifying where your goods are coming from (traceability). In the short term, increased costs of transitioning to new models of sustainable production must be considered. But as Europe is not the only important market considering legal measures to increase sustainability of traded products those who implement new models of sustainable production on the short term will get a market advantage not only towards Europe but towards global markets).

Conclusion

The European Union takes a strong engagement to halt the loss of biodiversity and to tries to stop climate change by developing several new policies including the European Green Deal, the Farm to Fork strategy, Fit for 55, the introduction of carbon farming, and the EU Biodiversity Strategy 2030. All those strategies have a direct or indirect impact on agricultural practices in Europe and beyond.

Consent for publication

The author read and approved the final manuscript.

Competing interest

The author declares no conflict of interest. This document only reflects his point of view and not that of the institution to which he belongs.

Author details

Jurgen Tack

Jurgen Tack studied biology (marine ecology) at Brussels Free University where he also obtained his PhD in Sciences. Within the Framework of the Kenya Belgium Project in Marine Sciences (Coastal Farms Kenya) he developed several oyster farms along the Kenyan coast. In 2000 he joined the team of the Belgian Biodiversity Platform



(Belgian Science Policy Office) where he was responsible for European and international science policy in the field of biodiversity and biodiversity related research. In 2007 he became the CEO of the Research Institute for Nature and Forest (a research organization under the umbrella of the Flemish Authority). In 2016 he took the position of Scientific Director at the European Landowners' Organization (ELO), CEO at Landelijk Vlaanderen (Flemish Landowners' Organization) and CEO of the Aanspreekpunt Privaat Beheer Natuur en Bos (an advisory organ for private landowners on the management of nature and forest). He coordinates several EU projects on private land conservation by individual private landowners. On behalf of ELO he chairs the European Commission's Large Carnivore Platform and acts as expert for the EU Biodiversity Platform and the EU Expert Group on Cultural Heritage.

References

- [1] Fetting C. The European Green Deal. Vienna: ESDN Office; 2020. <https://www.esdn.eu/events/conferences/european-green-deal>
- [2] European Commission, Directorate-General for Communication, from farm to fork : the European Green Deal. Publications Office; 2019. <https://doi.org/10.2775/691860>
- [3] European University Institute, Robert Schuman Centre for Advanced Studies, Jones C, Piebalgs A. The Commission's proposal of a 'Fit for 55' legislative package : what impact could it have? European University Institute; 2021. <https://doi.org/10.2870/340821>
- [4] European Commission, Directorate-General for Climate Action, Radley G, Keenleyside C, Freluh-Larsen A, McDonald H, Pyndt Andersen S, Qwist-Hoffmann H, et al. Setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU : technical guidance handbook. Publications Office of the European Union; 2021. <https://doi.org/10.2834/056153>
- [5] European Parliament, Directorate-General for Internal Policies of the Union, Nègre F. The EU 2030 biodiversity strategy. European Parliament; 2020. <https://doi.org/10.2861/545892>
- [6] European Commission, Directorate-General for Environment, Huskens K, Ottburg F, Henkens R, Santini L, Toxopeus B, Van Swaay C, et al. How much biodiversity is in Natura 2000? : the 'umbrella effect' of the European Natura 2000 protected area network : final report. Publications Office; 2016. <https://doi.org/10.2779/950442>

Enfoques de sistemas socioecológicos, esenciales para comprender y responder a los impactos complejos de COVID-19 en las personas y el medio ambiente

Social–ecological systems approaches are essential for understanding and responding to the complex impacts of COVID-19 on people and the environment

Andrew N. Kadykalo[†] , Christine Beaudoin , Diana M. Hackenburg ,
Nathan Young  y Steven J. Cooke 

Acceso Abierto

Correspondencia:

andriy.kadykalo@gmail.com
Departamento de Biología e Instituto de Ciencias Ambientales e Interdisciplinarias, Universidad de Carleton, Ottawa, Ontario, Canadá

Sometido: 13-06-2022
Aceptado para publicación: 19-10-2022
Publicado en línea: 01-12-2022

Palabras clave:

Antropausa; COVID-19; complejidad socioecológica; resiliencia ecológica; sistemas socioecológicos (SSE).

Key words:

Anthropause; COVID-19; ecological resiliency; social-ecological complexity; social-ecological systems (SES).

Citación:

Kadykalo AN, Beaudoin C, Hackenburg DM, Young N, Cooke SJ. Enfoques de sistemas socioecológicos, esenciales para comprender y responder a los impactos complejos de COVID-19 en las personas y el medio ambiente. *Magna Scientia UCEVA* 2022;2:2 218-230. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a7>

Resumen

La pandemia de la enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19) está impactando dramáticamente los sistemas sociales planetarios y humanos que están inseparablemente vinculados. Las enfermedades zoonóticas como la COVID-19 exponen cómo el bienestar humano está inextricablemente interconectado con el medio ambiente y con otras crisis socioecológicas convergentes (impulsadas por los humanos), como las pérdidas dramáticas de biodiversidad, el cambio en el uso de la tierra y el cambio climático. Argumentamos que el COVID-19 es en sí mismo una crisis socioecológica, pero hasta ahora las respuestas no han incluido la resiliencia ecológica, en parte porque la metáfora de la “Antropausa” ha creado una sensación poco realista de comodidad que excusa la inacción. Las narrativas de la antropausa desmienten el hecho de que la extracción de recursos ha continuado durante la pandemia y que los negocios como de costumbre continúan causando una degradación generalizada del ecosistema que requiere atención política inmediata. En algunos casos, las medidas de política de COVID-19 contribuyeron aún más al problema, como la reducción de los impuestos ambientales o la aplicación de las normas. Mientras que algunos sistemas socioecológicos (SSE) están experimentando impactos reducidos, otros están experimentando lo que llamamos un “Antrochoque”, con más visitantes y un uso intensificado. Las diversas causas e impactos de la pandemia se pueden comprender mejor con una lente socioecológica. Los conocimientos socioecológicos son necesarios para planificar y desarrollar la resiliencia necesaria para enfrentar la pandemia y futuras crisis socioecológicas. Si nosotros, como sociedad, nos tomamos en serio la reconstrucción mejor de la pandemia, debemos adoptar un conjunto de respuestas de investigación y políticas informadas por el pensamiento SSE.

Abstract

The Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic is dramatically impacting planetary and human societal systems that are inseparably linked. Zoonotic diseases like COVID-19 expose how human well-being is inextricably interconnected with the environment and to other converging (human driven) social–ecological crises, such as the dramatic losses of biodiversity, land use change, and climate change. We argue that COVID-19 is itself a social–ecological crisis, but responses so far have not been inclusive of ecological resiliency, in part because the “Anthropause” metaphor has created an unrealistic sense of comfort that excuses inaction. Anthropause narratives belie the fact that resource extraction has continued during the pandemic and that business-as-usual continues to cause widespread ecosystem degradation that requires immediate policy attention. In some cases, COVID-19 policy measures further contributed to the problem such as reducing environmental taxes or regulatory enforcement. While some social–ecological systems (SES) are experiencing reduced impacts, others are experiencing what we term an “Anthrocrush,” with more visitors and intensified use. The varied causes and impacts of the pandemic can be better understood with a social–ecological lens. Social–ecological insights are necessary to plan and build the resilience needed to tackle the pandemic and future social–ecological crises. If we as a society are serious about building back better from the pandemic, we must embrace a set of research and policy responses informed by SES thinking.



Introducción

En 2019, una evaluación global histórica realizada por la Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) advirtió que 1 millón de especies estaban en riesgo de extinción [1,2]. En 2020, la comunidad internacional no logró alcanzar un solo objetivo de biodiversidad para detener la destrucción de la naturaleza [3]. Ahora, en 2022, estamos entrando en el tercer año de una pandemia humana global vinculada a esta crisis de biodiversidad, causada por una enfermedad infecciosa que presumiblemente se originó a partir de un evento de contagio de los reservorios de vida silvestre natural a la población humana.

La pandemia de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) (en adelante, "la pandemia") está impactando dramáticamente los sistemas planetarios [4]. La rápida propagación de COVID-19 a casi todos los territorios habitados por humanos en la Tierra tiene impactos masivos (potencialmente permanentes) en la comunidad global, en la vida y la salud de las personas, los medios de vida y los comportamientos, lo que lleva a la mortalidad, la agitación, el sufrimiento, el aislamiento, y vulnerabilidad. Además de causar enfermedad y muerte, la pandemia y las medidas de salud pública asociadas, como el distanciamiento físico y los confinamientos, han afectado la salud mental y el bienestar (p. ej., ansiedad, fatiga, estrés, consumo de sustancias) uso y trauma [5-7]. Otras interrupciones personales incluyen la pérdida de empleos, la inseguridad alimentaria, los retrasos en la atención médica y las perturbaciones en las cadenas de suministro. Estos impactos se han sentido en todas las escalas de sociedad (individuos, familias, comunidades, instituciones y naciones) tanto en áreas urbanas como rurales y en países de ingresos altos y bajos. Más allá de estas consecuencias sobre sociedad humana, también debemos atender a las consecuencias de la pandemia en el entorno biofísico que está indisolublemente ligado al bienestar humano. En el campo de las ciencias ambientales, la pandemia y los bloqueos globales asociados se han enmarcado como un "Experimento de confinamiento humano global" no planificado [8].

Para ayudar a los investigadores a revelar los impactos de la sociedad humana en entornos biofísicos, Rutz et al. [9] denominaron el período de actividad y movilidad humana inusualmente reducida debido a las restricciones de COVID-19 como "Antropausa". Los sistemas

socioecológicos (SSE) conceptualizan cómo los "sistemas humanos" sociales (p. ej., individuos, comunidades e instituciones) y los "sistemas naturales" ecológicos (p. ej., ecosistemas, biodiversidad y clima) están explícita e inherentemente interrelacionados a través de relaciones bidireccionales. Sugerimos que el concepto SSE es esencial para comprender y responder a los impactos complejos de COVID-19. Interpretar el COVID-19 (y otras crisis de la naturaleza humana como la crisis de la biodiversidad [10]) a través del lente SSE es esencial por una variedad de razones prácticas: los estudios integrados de sistemas humanos y naturales acoplados, revelan patrones y procesos nuevos y complejos como la dinámica no lineal, los ciclos de retroalimentación, los puntos de inflexión y los retrasos de tiempo no son evidentes cuando los científicos sociales o naturales los estudian por separado [11,12]. Por ejemplo, los impactos relacionados con la pandemia se pueden sentir de inmediato (inicio de la pandemia) a corto plazo (en el primer año) o a largo plazo.

Estos patrones y procesos vuelven a ser evidentes solo cuando se toma el SSE completo como unidad de análisis y, al hacerlo, se pueden informar respuestas de políticas más holísticas y efectivas. Los SSE pueden apoyar el análisis integrado de la pandemia, reconociendo: *i*) la necesidad de colaboraciones entre antecedentes profesionales, culturales, geográficos y disciplinarios para abordar problemas complejos; *ii*) que los sistemas existen y funcionan en múltiples escalas de tiempo, espacio y organización social; y *iii*) que los efectos socioambientales interactúan y se acumulan en el espacio y el tiempo y no respetan los límites jurisdiccionales o temporales. Los SSE también pueden actuar como un objeto límite que proporciona un lenguaje y una terminología comunes que se pueden adaptar a diferentes contextos disciplinarios o profesionales, lo que permite la colaboración entre las ciencias naturales y sociales al abordar problemas complejos como el COVID-19 [13].

Un aspecto importante del pensamiento SSE es la resiliencia [14] o la capacidad de un SSE para absorber o resistir perturbaciones y otros factores estresantes. La resiliencia generalmente se refiere a la capacidad de las personas, sociedad, o sistemas para adaptarse al cambio y la adversidad. En esencia, la resiliencia es la capacidad de recuperarse y disminuir la vulnerabilidad ante futuras crisis. Si bien hemos enfrentado muchos traumas individuales y colectivos durante la pandemia de COVID-19, prácticas como el autocuidado y permanecer conectados en línea con nuestros seres queridos durante

los confinamientos nos han ayudado a adaptarnos, crecer y ser resilientes ante circunstancias difíciles. La misma idea se aplica a la naturaleza: la resiliencia ecológica es la capacidad de la naturaleza para absorber o resistir las perturbaciones y el estrés mientras mantiene su estructura y funciones. Por ejemplo, en los ecosistemas agrícolas que producen cultivos fructíferos dependientes de polinizadores, aquellos que dependen de un solo polinizador como la abeja tienen más probabilidades de verse afectados por el trastorno del colapso de colonias, un fenómeno que ocurre cuando la mayoría de las abejas obreras en una colonia desaparecen [15]. Por el contrario, es más probable que un agroecosistema sea resistente a las enfermedades cuando admite una gran diversidad de polinizadores [16]. La resiliencia socioecológica encarna la capacidad de los SES vinculados para absorber perturbaciones recurrentes y retener estructuras, procesos y relaciones esenciales [17].

En muchos sentidos, el COVID-19 puede verse como una perturbación que trasciende los supuestos límites de los sistemas humanos y ambientales. Resultados inesperados y retroalimentación continua los bucles de la pandemia requerirán investigaciones y acciones proactivas e integrales para abordar los impactos negativos. Si nosotros, como sociedad, nos tomamos en serio reconstruir mejor a partir de la pandemia, nuestros esfuerzos deberán ser integrales, ambiciosos e inclusivos de la resiliencia socioecológica. A través de este lente, el COVID-19 puede conceptualizarse como un problema de crisis socioecológica. Las interrelaciones entre los sistemas ecológicos y sociales revelan que la creciente magnitud y tasa de impactos negativos en el bienestar humano (como los causados por la pandemia) están inextricablemente asociadas con la rápida pérdida de biodiversidad y la rápida degradación de los ecosistemas que sustentan a las sociedades humanas [18].

Sobre la base de los conceptos de SSE y resiliencia, presentamos varios argumentos centrales que sirven como hoja de ruta para esta revisión:

- El COVID-19 es una crisis socioecológica, pero hasta ahora las respuestas no han incluido la resiliencia ecológica, en parte porque la metáfora de la “Antropausa” ha creado una sensación poco realista de comodidad sobre el estado de la naturaleza que justifica la inacción.
- La pandemia ha tenido impactos negativos tangibles en SSE.
- Las causas y los impactos de la pandemia se pueden

entender mejor con una lente SSE.

- Se necesita resiliencia socioecológica para enfrentar la pandemia y futuras crisis socioecológicas.
- Debemos adoptar un conjunto de respuestas de investigación y políticas informadas por SSE.

El COVID-19 es una crisis socioecológica

Sostenemos que la pandemia es una crisis socioecológica, que destaca nuestro ecosistema de producción global cada vez más conectado, simplificado e intensificado [19] y la perversa humanidad, la relación con el medio ambiente y la biodiversidad [20]. La mayoría de las pandemias de enfermedades zoonóticas (es decir, transmitidas o transmitidas por animales) se desarrollan a partir de la explotación insostenible de la naturaleza [21] y, de hecho, las señales apuntan a que el COVID-19 es un “flagelo causado por nuestra consideración desdeñosa por la naturaleza” [22]. En 2016, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) encontró un aumento global en las epidemias zoonóticas, con los orígenes del 75% de las enfermedades infecciosas emergentes identificadas como estrechamente relacionadas con los cambios ambientales [23]. Las enfermedades zoonóticas como COVID-19 exponen cómo el bienestar humano está inextricablemente interconectado con el medio ambiente y otras crisis socioecológicas convergentes (impulsadas por humanos), como las pérdidas dramáticas de biodiversidad, el cambio en el uso del suelo y el cambio climático (figura 1).

Todas estas son crisis socio-ecológicas que involucran a las personas y al medio ambiente. Por ejemplo, los hallazgos de una evaluación global realizada por IPBES en 2019 pueden interpretarse a través de una lente SSE, ya que encontraron que la pérdida de biodiversidad reduce la capacidad de la naturaleza para regular la función del sistema inmunológico del cuerpo humano y mitigar el brote y la propagación de enfermedades, lo que subraya la importancia central y fundamental papel de la biodiversidad en la regulación de la salud humana y ecológica [1,2]. Cada vez es más evidente que las enfermedades infecciosas zoonóticas emergentes pueden verse exacerbadas por actividades humanas como la limpieza de tierras y la fragmentación del hábitat, lo que demuestra aún más el vínculo entre el bienestar humano y el medio ambiente [1,2,24,25].



Figura 1 Crisis socioecológicas inextricablemente interconectadas. Arriba y abajo (de izquierda a derecha): pérdida de biodiversidad, cambio de uso de la tierra, cambio climático, pandemia de COVID-19. COVID-19, enfermedad por coronavirus 2019. Fuentes de imágenes: zanskar, ollo, izanbar y Gargonia a través de iStock (licencia estándar). <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000006.g001>

Además, se espera que los patógenos transmitidos por vectores que infectan a los humanos, el ganado y la vida silvestre se propaguen más rápido y con mayor frecuencia con el calentamiento inducido por el cambio climático [26] y la degradación ambiental [24]. Tomadas individualmente o en conjunto, estas crisis amenazan la seguridad global al socavar la resiliencia de SSE. “Todas [las principales crisis socioecológicas] están interrelacionadas, con muchas de las mismas causas y soluciones”, como señaló Cristian Samper de la Wildlife Conservation Society en la Cumbre One Planet de líderes mundiales en París en enero de 2021 [22]. Una lente SSE es fundamental para alejarse del tratamiento de la naturaleza como algo que puede ser explotado y degradado, para reconocer la naturaleza como un socio integral de la vida en la tierra.

Las respuestas actuales a la pandemia no tienen en cuenta la complejidad socio-ecológica

A pesar de cierto reconocimiento de la necesidad de abordar el COVID-19 como una crisis socioecológica (p. ej., [27,28]), la mayoría de los esfuerzos de respuesta a la pandemia se han centrado exclusivamente en la resiliencia humana e invertir dinero nuevo en viejas estructuras. Por ejemplo, muchos países de ingresos más altos (por ejemplo, Alemania, Japón, Reino Unido y Estados Unidos de América) implementaron rápidamente políticas para mejorar la resiliencia financiera, económica y/o social, como la compra de bonos del gobierno, los subsidios salariales y de alquiler, los rescates, los préstamos y otros programas de estímulo económico. Vivid Economics [29] expone que el “índice de estímulo verde” evaluó los esfuerzos de estímulo del COVID-19 de los países del G20 y otras economías importantes en relación con la acción climática y los objetivos de la biodiversidad. Encontraron que en julio de 2021, han existido intervenciones financieras gubernamentales sin precedentes en respuesta al COVID-19 con paquetes de estímulo que van desde los 2000 millones de USD (Islandia) hasta los 5.8 billones

de USD (EE. UU.), lo que representa un estímulo total medido de 17.2 billones de dólares. Sin embargo, en su evaluación, Vivid Economics [29] encontró que del total del paquetes de estímulo COVID-19 anunciados, solo US \$1.8 billones han sido "verdes".

Además, resumieron que los paquetes de estímulo “. . . tendrá un impacto ambiental negativo en 15 de los países y economías del G20, y en cinco de los otros diez países analizados” e “incluso entre los países líderes, la naturaleza y la biodiversidad han sido particularmente descuidadas”. Así, los políticos y los gobiernos aún no han comprendido por qué la resiliencia ecológica es igualmente importante como respuesta a la crisis, y mucho menos la importancia de apoyar la resiliencia socioecológica para la recuperación y prevención de futuras crisis. Lo que sugiere el índice Greenness of Stimulus [29] es que muchos países han canalizado recursos limitados hacia necesidades urgentes de atención médica en lugar de esfuerzos de conservación donde las acciones y los resultados son más lentos y más inciertos. Por lo tanto, existe una disyuntiva entre las necesidades inmediatas para mitigar la pandemia y las acciones a más largo plazo para prevenir este tipo de crisis en el futuro. Las respuestas sociales a la pandemia y otras crisis socioecológicas también se ven obstaculizadas por la falta de voluntad para tomar decisiones frente a la incertidumbre y por la "normalidad progresiva" [30] donde los cambios importantes se aceptan como normales cuando en realidad ocurren lentamente a través de cambios menores, a menudo, imperceptibles incrementos.

La Antropausa como base para la in-acción sobre la resiliencia ecológica

El descuido de la naturaleza puede haber sido excusado inadvertidamente por las discusiones académicas y mediáticas sobre una "Antropausa" causada por los bloqueos [9] y las restricciones de viaje [8]. La narrativa de la antropausa era popular y (falsamente) reconfortante, ya que implicaba que la naturaleza se estaba "curando" durante la pandemia debido a la ausencia humana y, por lo tanto, no necesitaba atención política o un impulso de resiliencia, absolviendo así a los humanos de la responsabilidad de promulgar cambios más difíciles a largo plazo [31]. A pesar de los impactos inmediatos aparentemente positivos de la Antropausa en la naturaleza (p. ej., la distribución de especies animales y los cambios en la abundancia atribuidos a la reducción

actividad humana), un meta-análisis reciente reveló que los impactos ecológicos son complejos y mixtos. Por ejemplo, el confinamiento también produjo efectos negativos, como el aumento de la caza ilegal y pesca, minería, comercio de vida silvestre, contaminación ambiental y deforestación [32]. Por lo tanto, las narrativas de la Antropausa desmienten el hecho de que la extracción de recursos ha continuado durante la pandemia y que las cosas como siempre continúan causando una degradación generalizada del ecosistema [33] que requiere atención política inmediata. En algunos casos, las medidas de política del COVID-19 contribuyeron aún más al problema, como la reducción de los impuestos ambientales o la aplicación de las normas [32,33].

Impactos socio-ecológicos de la pandemia COVID-19

La mayor parte de la investigación sobre los efectos de COVID-19 hasta el momento se ha centrado principalmente en los impactos sociales o ecológicos, aunque trasciende los sistemas singulares, este énfasis no es inesperado dado que las primeras investigaciones del COVID-19 han sido en gran medida oportunistas [34]. De hecho, muchas publicaciones sobre los impactos (ecológicos) del COVID-19 se produjeron muy rápidamente al principio de la pandemia [35], pero cuando se sintetizan más tarde, sugieren efectos verdaderamente mixtos [32]. Además, como enfatizamos, las respuestas políticas a la pandemia se han centrado singularmente en la resiliencia humana y han sido relativamente reactivas y no planificadas.

Aquí, demostramos cómo la pandemia ha influido en las interacciones socioecológicas en varios SSE comunitarios, que sirven como casos de ejemplo. Estos casos ejemplifican los impactos socio-ecológicos de la pandemia así como las interacciones socioecológicas complejas y retroalimentaciones que surgen de la causalidad no lineal [36]. Reconocemos que existen muchos otros casos que van más allá del alcance de esta revisión. Argumentamos que una lente SSE ayuda aún más a reconocer que estos impactos son el resultado de las desigualdades sistémicas socioecológicas.

Antropausa y Antrochoque en SSE rurales y urbanos

La pandemia ha tenido efectos contrastantes en los SSE

rurales y urbanos. La narrativa de la Antropausa ofrece solo una imagen parcial del impacto de la pandemia en las interacciones entre humanos y la naturaleza. Mientras que algunos SSE están experimentando menos visitantes e impactos reducidos, otros están experimentando lo que llamamos un "Antrochoque", [37] con más visitantes y un uso intensificado (p. ej., [38]). Las restricciones de viajes internacionales e interregionales, junto con el deseo de los habitantes urbanos de escapar de la ciudad cuando sea posible, han aumentado el uso de áreas "abiertas" adyacentes, un fenómeno al que algunos se refieren como "efectos indirectos" [39]: políticas que benefician a la naturaleza en cierta área que puede impactar negativamente la naturaleza en otro lugar, es decir, en otra jurisdicción.

Es probable que el efecto indirecto del Antrochoque se sienta de manera más aguda en las periferias de los principales centros de población (p. ej., [40]) y tiene consecuencias significativas para ciertos SSE, mientras que otros se ven menos afectados. Por ejemplo, Ontario Parks (un sistema provincial canadiense de parques y áreas protegidas) ha visto un aumento en las reservas para acampar de hasta un 110% desde 2020, que a su vez aumentó un 50% desde 2019, mientras que el uso diurno aumentó hasta un 120% desde 2019 (comunicación personal). Los parques y su personal se han visto sometidos a un enorme estrés ecológico (p. ej., contaminación) y social (p. ej., acoso, abuso, fatiga y emocional) (comunicación personal). Además, "la burbuja atlántica", un área restringida para viajes que comprende cuatro provincias atlánticas en Canadá, probablemente haya reducido la presión sobre SSE en estas provincias que antes eran muy transitadas por vacaciones. En comparación, otras provincias como Columbia Británica, Alberta, Ontario y Quebec probablemente hayan experimentado un Antrochoque porque tienen grandes poblaciones urbanas que estaban restringidas a viajar dentro o entre estas provincias seleccionadas. Los resultados y los comentarios después de la Antropausa también requerirán investigación y atención política, como los cambios en los patrones de viaje que pueden exacerbar la Antropausa. Por ejemplo, los "viajes de venganza", la explosión anticipada en el turismo después de la demanda reprimida de personas que desean recuperar el tiempo perdido, hará que la recuperación del SSE pase rápidamente del aislamiento al uso excesivo [41].

Existen otros impactos socioecológicos rurales-urbanos inconsistentes del COVID-19 incluidos los considerados

a escala local. En la India, por ejemplo, los ríos muy contaminados fluían mucho más claramente, sin embargo, las comunidades locales recurrieron a los peces de agua dulce en peligro de extinción como alimento [42]. Además, en contradicción con la Antropausa, el aumento del desempleo urbano ha provocado que las personas de países de bajos ingresos, regresen a áreas rurales con ecosistemas sensibles, promoviendo la idea de un Antrochoque precipitante [43]. La pandemia también ha tenido efectos profundos e inmediatos en las capacidades de las personas para prevenir daños a los ecosistemas y la biodiversidad; interrumpió muchos esfuerzos de conservación tradicional como el monitoreo en tierra y el cumplimiento de las regulaciones [32,44].

En parte debido a las restricciones del COVID-19 (por ejemplo, cierres), la pesca ilegal, la caza furtiva, la deforestación, la expansión agrícola y la minería han florecido en varias partes del mundo, especialmente en áreas que dependían en gran medida de los ingresos turísticos antes de la pandemia [43–45]. Por ejemplo, la deforestación casi se duplicó entre 2019 y 2020 en los trópicos globales [44], un 51% más que hace un año en la Amazonía brasileña y aumentó hasta un 136% en los trópicos africanos [43,46]. En marzo de 2020, 27 aves rapaces protegidas fueron asesinadas ilegalmente en Europa Central y Oriental [47] y en el Báltico, la falta de turistas llevó a que la presencia de águilas de cola blanca *Haliaeetus albicilla* se multiplicara por 7, causando un 26% menos de productividad reproductiva de araos comunes *Uria aalge* que el promedio a largo plazo [48]. En los países africanos y asiáticos, la caza furtiva, la recolección de carne de animales silvestres y el tráfico han aumentado [49–50], la pesca comercial en aguas protegidas se disparó en Filipinas y Brasil [51–52]. Algunas de estas tendencias negativas (por ejemplo, tasas más altas de cosecha y tráfico de carne de animales silvestres y deforestación) aumentan el riesgo de futuros brotes de enfermedades zoonóticas que demuestren un ciclo de retroalimentación positiva [53–54].

SSE marginados y justicia ambiental

Los impactos de la pandemia también afectan de manera desproporcionada a los SSE marginados, lo que hace que los problemas de (in)justicia ambiental se centren aún más en el centro de atención [55–57]. Las disparidades raciales y de ingresos se manifiestan en una mayor exposición a los contaminantes ambientales y un mayor riesgo de infección y muerte por COVID-19 debido a la

proximidad con la contaminación [58–59]. Además, en todo el espectro urbano-rural, la exposición a niveles mucho más altos de productos químicos industriales, contaminación del aire, metales pesados venenosos y patógenos puede exacerbar las condiciones de salud preexistentes, muchas de las cuales son factores de riesgo de COVID-19 grave [56,60]. Sin lugar a dudas, en algunas de las partes más pobres y también con mayor biodiversidad del planeta, la Antropausa y la perturbación económica más amplia causada por la pandemia han aumentado la pobreza y la inseguridad alimentaria al tiempo que han devastado el ecoturismo y otras fuentes de sustento [43].

Comunidades indígenas y los SSE

La pandemia ha tenido impactos únicos en los pueblos y comunidades indígenas. Una encuesta con encuestados de 40 países ha revelado efectos mixtos para los NSE indígenas [61]. Específicamente, encontró algunos resultados positivos, como la adopción de la medicina tradicional y un aumento de la solidaridad comunitaria, pero también resultados negativos, como la pérdida de empleos o medios de subsistencia. Sin embargo, las comunidades indígenas en regiones remotas enfrentan tremendos desafíos, incluida la falta de atención médica accesible, viviendas superpobladas y la falta de control político sobre los recursos naturales de las zonas adyacentes [61,62]. La resiliencia comunitaria en las comunidades indígenas está vinculada al reconocimiento de los derechos y la capacidad de gobernar y acceder a las propias tierras, recursos y conocimiento. Esta resiliencia amortigua los impactos de la pandemia, aunque también se vio comprometida durante los cierres [61–62]. Por ejemplo, además del COVID-19, las comunidades en Fiji y Benin, enfrentaron crisis adicionales como los ciclones y el cierre de mercados para comprar alimentos, lo que afectó negativamente la resiliencia de la comunidad [61]. Además, la resiliencia disminuye cuando las comunidades dependen en gran medida de las organizaciones no gubernamentales (NAU: tenga en cuenta que las ONG se han definido como organizaciones no gubernamentales en la frase Además; GO) o los gobiernos, ya que se vuelven cada vez más dependientes de la financiación o el conocimiento externos [61]. Los impactos en estos casos de los SSE, así como las posibles políticas para abordarlos, simplemente no son visibles cuando los científicos sociales o naturales los estudian por separado y, por lo tanto, requieren marcos de contexto de SSE [63] para comprender y responder a las crisis que son de

naturaleza socioecológica.

El valor del enfoque de los sistemas socioecológicos

A medida que más investigaciones y acciones se centran en varios aspectos de las causas y los impactos de la pandemia, es necesario pensar de manera más holística y movilizar las herramientas conceptuales existentes, como los SSE. Los impactos socioecológicos de la pandemia no se comprenden bien [64], pero es precisamente esta percepción la que necesitamos para ayudar a las sociedades humanas a adaptar sus respuestas a esta y futuras crisis socioecológicas. Como afirma New Scientist [65] con respecto a nuestra falta de progreso en este espacio, “nuestra comprensión de la red de dependencias que nos vinculan con el mundo natural es quizás 30 o 40 años detrás de la ciencia del cambio climático”. La pandemia ejemplifica por qué también es necesario adoptar soluciones integradoras e innovadoras informadas por los SSE para desarrollar la resiliencia socioecológica. Los marcos contextuales de los SSE pueden analizar holísticamente la pandemia como un tipo de problema perverso, aquellos que son difíciles de resolver debido a soluciones incompletas, inconsistentes y cambiantes que son difíciles de distinguir [66].

La investigación ecológica tradicionalmente ha subestimado los factores sociales, mientras que la investigación de las ciencias sociales sobre las relaciones humano-ambientales presenta una historia de antropocentrismo (p. ej., [67]). Por el contrario, los marcos contextuales SSE (por ejemplo, Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR), los servicios ecosistémicos y Human-Environment Systems (HES)) estudian sistemas complejos y acoplados que consideran la interconexión de la sociedad y el medio ambiente para lograr diversos objetivos. objetivos empíricos, analíticos y/o socio-ecológicos [68]. Las prácticas estratégicas en el campo de investigación de los SSE incluyen la transdisciplinariedad para potenciar diferentes tipos de conocimiento e insumos, el pluralismo metodológico (uso de múltiples métodos) para permitir el diseño de investigación colaborativa y la generación de recomendaciones para los formuladores de políticas con un enfoque en la sostenibilidad de los SSE [69]. Los marcos contextuales SSE ayudan a pensar y planificar a través de escalas mediante la identificación de desajustes socioecológicos entre las escalas de gestión y la(s) escala(s) de los procesos ecológicos que se gestionan

[70,71]. Por ejemplo, los enfoques SSE facilitaron la transdisciplinariedad para generar conocimientos únicos sobre vías fluviales, incluidos los desajustes entre la calidad del agua en secciones de canales, ríos y lagos interconectados y su gestión, lo que ayuda a identificar reducciones en la resiliencia de los SSE [72,73]. Otro ejemplo de investigación en Namibia reveló que la recuperación de los SSE locales derribando las cercas del Parque Nacional, puede beneficiar la conservación a largo plazo de los ecosistemas de sabana y elefantes, mientras que la población local obtendría beneficios del turismo y el pastoreo de ganado [74].

Varios conceptos de salud ambiental consistentes con los marcos contextuales SSE han cobrado impulso y enfatizan el bienestar social y ecológico y reconocen a los humanos y el medio ambiente como correguladores del planeta: One Health [75–76], Planetary Health [77] y Socio-Ecological System Health (SESH) [78]. La implementación práctica efectiva y la evaluación de estos enfoques de salud ambiental, dependen de abordar la resiliencia los SSE específicamente [79]. Los conceptos de salud ambiental informados por los SSE revelan parcialmente las causas, los desafíos y las respuestas inadecuadas al COVID-19 y los cambios socioecológicos que conducen a la propagación de la enfermedad no se alinean con la vigilancia epidemiológica, la gestión de la salud pública ni la gestión de los recursos naturales, evitando la necesaria gobernanza adaptativa de los SSE vinculados [79].

En respuesta al COVID-19, Schneider et al. [80] describen 6 principios socioecológicos específicamente diseñados para dar forma a prácticas futuras de coexistencia de sociedades y naturaleza para prevenir futuras enfermedades infecciosas que incluyen: *i*) cambiar el enfoque en las relaciones entre la sociedad y la naturaleza; *ii*) permitir la coexistencia de diferentes grupos sociales, pero también humanos y no humanos asignaturas; *iii*) definir y reflexionar sobre los límites, en términos de escala espacial, temporal, social y ecológica; *iv*) lidiar con la complejidad del enredo social y natural requiere la aceptación de nuestro grado limitado de control; *v*) fortalecimiento de la resiliencia de los SSE y *vi*) la participación de todos los actores en estos principios metodológicos.

Reconstrucción de un mejor sistema socio-ecológico con un conjunto informado de respuestas de investigación y política

En muchos sentidos, la llegada de la enfermedad infecciosa COVID-19 no debería sorprender dada la evidencia de cómo las actividades humanas contribuyen a cambios planetarios indeseables y desestabilizadores. El concepto de “límites planetarios” [81,82], cuyo objetivo es delinear un espacio operativo seguro para la humanidad, descubrió que ya hemos cruzado 4 de 9 límites (es decir, cambio climático, pérdida de integridad de la biosfera, cambio del sistema terrestre y ciclos biogeoquímicos alterados), lo que socava la integridad, la resiliencia y la capacidad de los ecosistemas para sostener los servicios de los ecosistemas [83]. La pandemia demuestra el peligro de violar estos límites planetarios, en particular la integridad de la biosfera y el cambio del sistema terrestre, que reducen la capacidad de la naturaleza para amortiguar, regular y controlar las enfermedades. Ahora está muy claro que en el Antropoceno, los humanos están impulsando un ciclo de degradación de los ecosistemas en los SSE cada vez más estrechamente conectados que tiende a convertir los servicios de los ecosistemas (por ejemplo, la regulación de la salud) en perjuicios (por ejemplo, enfermedades infecciosas). La pandemia del COVID-19 es una crisis planetaria y una llamada de atención de que el bienestar humano depende del bienestar de los ecosistemas que nos rodean. La transición hacia un futuro global deseable y sostenible requerirá una transformación social que reconcilie a la humanidad con la naturaleza en la que ya no podemos ignorar a la naturaleza en estrategias de resiliencia más amplias [84]. Por lo tanto, se necesitan con urgencia enfoques SES para formular políticas holísticas basadas en evidencia y medidas de gestión que minimicen de manera rentable el riesgo para el bienestar humano y ambiental simultáneamente [85]. Específicamente con respecto a la pandemia del COVID-19, estas transformaciones podrían lograr perspectivas holísticas de los SSE tanto en la ciencia como en la formulación de políticas:

1. Alentar a los legisladores y gobiernos a adoptar la resiliencia social y ecológica simultáneamente (es decir, la resiliencia socioecológica) como una respuesta importante a la crisis en donde: *i*) se desarrollen resúmenes de políticas que se enmarquen dentro del uso de los SSE; *ii*) desarrollar conjuntos de respuestas

políticas y medidas de gestión basadas en los SSE con lecciones aprendidas para futuras pandemias; *iii*) proponer y adoptar esfuerzos de estímulos COVID-19 “verdes” con trayectorias económicas que mejoren la naturaleza y responder al cambio climático sin comprometer la biodiversidad; *iv*) invertir en soluciones basadas en la naturaleza (acciones inspiradas, respaldadas o copiadas de la naturaleza), como la protección forestal, la restauración de ecosistemas y la agricultura regenerativa para ayudar a abordar los riesgos para la salud pública; *v*) adoptar y fortalecer enfoques que evalúen simultáneamente los impactos ecológicos y la salud humana (por ejemplo, One Health, Planetary Health y SESH). El PNUMA podría anclar estos enfoques en una iniciativa más amplia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible [79]; *vi*) recomendar y prescribir iniciativas como “una receta para la naturaleza” (PaRx, <https://www.parkprescriptions.ca>) y “terapia de bosque” (<https://crc.ca/who-weare/educación/forestoterapia>) para mejorar la salud física y mental de los pacientes relacionándolos con la naturaleza.

2. Financiar la investigación sobre COVID-19 y la respuesta a la pandemia que incluya los SSES, centrada en los impactos sociales y ecológicos de la pandemia a saber: *i*) Permitir la investigación interdisciplinaria y transdisciplinaria integrada que involucre a las comunidades indígenas y locales y a los poseedores de conocimientos, que han tenido relaciones de larga data con ecosistemas interconectados y cuyas prácticas y formas de conocimiento podrían ayudar a aliviar los desajustes socioecológicos [86,87]; *ii*) identificar posibles intermediarios del conocimiento que podrían permitir el diálogo transdisciplinario entre los departamentos gubernamentales y los equipos de investigación interdisciplinarios.

Debemos llevar adelante las lecciones de la pandemia, reconociendo que la salud planetaria y quienes la administran, son esenciales frente a todos nuestros perversos desafíos socioecológicos. Si incluimos de manera proactiva y estratégica la resiliencia ecológica en las medidas de respuesta a la pandemia, podemos reducir la probabilidad de futuras crisis socioecológicas y nuestra vulnerabilidad a ellas, al mismo tiempo que la reducción de los costos totales soportados por la sociedad. Por ejemplo, gracias a los esfuerzos concertados al principio de la crisis, Canadá y Dinamarca han reorientado sus economías a través del gasto de estímulo para hacer más contribuciones

positivas que negativas para construir resiliencia a través de la protección del clima y la biodiversidad [29]. La lección más importante puede ser la más simple: “La relación entre las personas y la naturaleza debe ser de interdependencia, de lo contrario corremos el riesgo de pasar por alto algo que los pueblos indígenas han sabido siempre: que somos naturaleza y la naturaleza somos nosotros y fallar en ver esta simple verdad es lo que nos ha metido en este lío en primer lugar”–Tonio Sadik, Director de Medio Ambiente en la Asamblea de las Primeras Naciones, el principal activista de la organización que representa a los Pueblos Indígenas en Canadá [88].

Consentimiento para publicación

los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran no poseer ningún tipo de conflicto de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no de las instituciones a las cuales pertenecen.

Perfil de autoría

Andrew N. Kadykalo

Departamento de Biología e Instituto de Ciencias Ambientales e Interdisciplinarias, Universidad de Carleton Ottawa, Ontario, Canadá. Estancia Post-Doctoral.

<https://andrewkadykalo.com/>

Científico conservacionista interdisciplinario que aplica herramientas de ciencias naturales y sociales, incluidas síntesis de evidencia sistemática relevante para políticas ambientales y mapeo cognitivo con el fin de explorar las relaciones entre las personas y la naturaleza. Sus intereses de investigación se centran en la predicción de la prestación de servicios ecosistémicos reguladores (polinización, regulación de inundaciones) y el uso de pruebas en la gestión de la vida silvestre y la conservación de la biodiversidad.



Christine Beaudoin

Doctoranda en Estudios Sociológicos y Antropológicos, Facultad de Ciencias Sociales

Universidad de Ottawa, Canadá. Sus intereses de investigación se centran en explorar las tensiones ambientales e inclusión de no humanos en la investigación de las ciencias sociales. Ha trabajado con ecologistas, biólogos, biofísicos y artistas. Ha completado una Maestría en Antropología y una

Licenciatura con Honores en Psicología. Está afiliado a HumAnimaLab en la Universidad de Ottawa y también es cofundadora y miembro de la junta de Biotown, un laboratorio de biología comunitaria.



Diana M. Hackenburg

Como estudiante de doctorado en la Escuela Rubenstein, Diana forma parte de un equipo interdisciplinario que examina la relación entre la proliferación de algas nocivas en el lago Champlain y el bienestar humano. Se centrará en cómo y por qué las comunidades toman medidas, específicamente en cómo entienden y utilizan los datos científicos para informar los procesos de toma de decisiones.



Nathan Young

Es un sociólogo ambiental con un gran interés en los recursos naturales, el desarrollo rural y el papel de los diferentes tipos de conocimiento en la gestión ambiental y la toma de decisiones. Su investigación reciente se ha centrado en las representaciones mediáticas del cambio climático, los conflictos sobre la pesca y la acuicultura, y la resiliencia de la comunidad frente a los cambios ambientales.



Colabora regularmente con científicos naturales en la investigación de las dimensiones humanas de los problemas ambientales. Su último libro (2015) se titula *An Environmental Sociology for the Twenty-First Century* (Oxford), y su libro de 2010 *The Aquaculture Controversy in Canada* (en coautoría con Ralph Matthews) ganó el premio K.D. Premio Srivastava a la excelencia académica en publicación: libro del año de UBC Press. Se interesa por la relación entre la naturaleza y las sociedades humanas. Su investigación se centra en las controversias ambientales, la política ambiental y la toma de decisiones, las percepciones del medio ambiente, el papel de la ciencia y el conocimiento local/tradicional en las afirmaciones sobre el medio ambiente, la resiliencia y adaptación de la comunidad y las desigualdades ambientales.

Steven J. Cooke

Profesor tiempo Departamento de Biología, Instituto de Ciencias Ambientales e Interdisciplinarias, Universidad de Carleton, Ottawa, Ontario, Canadá. Tiene diversos intereses en biología integrativa, ciencias de la conservación y manejo de recursos naturales. Su trabajo abarca las ciencias naturales y sociales con un enfoque particular en el desarrollo de soluciones a los problemas que enfrentan los peces y otros organismos acuáticos. Los proyectos específicos de los últimos tiempos se han centrado en cuestiones y temas como la migración de los peces, las interacciones entre los peces y la energía hidroeléctrica, la sostenibilidad de la pesca recreativa, la restauración del hábitat acuático, la ecología del movimiento de los peces, la ecología del estrés en los peces salvajes y la biología invernal. También ha estado profundamente involucrado en la definición de la nueva disciplina de "fisiología de la conservación", un campo dedicado a comprender los mecanismos subyacentes a los problemas de conservación. Tiene mucha experiencia trabajando con profesionales, formuladores de políticas y partes interesadas para co-crear conocimiento utilizable. Cooke fundó el Centro Canadiense para la Conservación Basada en Evidencia y está trabajando con diversos socios para desarrollar la capacidad de síntesis de evidencia en sus diversos roles en la Colaboración para la Evidencia Ambiental. Ha publicado más de 700 artículos revisados por pares sobre temas como la ciencia de la conservación, la movilización del conocimiento y la habilitación de la interdisciplinariedad, pero reconoce que el intercambio de conocimiento bidireccional con usuarios potenciales del conocimiento es aún más gratificante. Cooke es miembro de la Royal Canadian Geographical Society y es secretaria del Colegio de la Royal Society of Canada.



Referencias

- [1] IPBES. Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (S. Díaz, J. Settele, E. Brondízio, & H. T. Ngo, Eds.). IPBES Secretariat; 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831674>
- [2] IPBES. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (S. Díaz, J. Settele, E. Brondízio, & H. T. Ngo, Eds.). IPBES Secretariat; 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>
- [3] Erdelen WR. Shaping the Fate of Life on Earth: The Post-2020 Global Biodiversity Framework. *Glob Policy*. 2020; 11(3):347–359. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12773>
- [4] Chakraborty I, Maity P. COVID-19 outbreak: migration, effects on society, global environment and prevention. *Sci Total Environ*. 2020; 728:138882. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138882>
- [5] Panchal N, Kamal R, Cox C, Garfield R. The implications of COVID-19 for mental health and substance use. Kaiser family foundation; 2021. <https://www.kff.org/coronavirus-covid-19/issuebrief/the-implications-of-covid-19-for-mental-health-and-substance-use/>
- [6] Pfefferbaum B, North CS. Mental Health and the Covid-19 Pandemic. *N Engl J Med*. 2020; 383:510–512. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2008017>
- [7] Vindegaard N, Benros ME. COVID-19 pandemic and mental health consequences: Systematic review of the current evidence. *Brain Behav Immun*. 2020; 89:531–542. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.05.048>
- [8] Bates AE, Primack RB, Moraga P, Duarte CM. COVID-19 pandemic and associated lockdown as a “Global Human Confinement Experiment” to investigate biodiversity conservation. *Biol Conserv*. 2020; 248:108665. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108665>
- [9] Rutz C, Loretto M-C, Bates AE, Davidson SC, Duarte CM, Jetz W, et al. COVID-19 lockdown allows researchers to quantify the effects of human activity on wildlife. *Nat Ecol Evol*. 2020; 4(9):1156–1159. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1237-z>
- [10] Mehring M, Bernard B, Hummel D, Liehr S, Lux A. Halting biodiversity loss: how social-ecological biodiversity research makes a difference. *Int J Biodivers Sci Ecosyst Serv Manag*. 2017; 13(1):172–180. <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1289246>
- [11] Berkes F, Folke C. I. Linking Social and Ecological Systems for Resilience and Sustainability. In: *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge: 1998. pp. 1–26.
- [12] Berkes F, Ibrarra MA, Armitage D, Charles T, Loucks L, Makino M, et al. Guidelines for Analysis of Social-Ecological Systems. Community Conservation Research Network (CCRN). 2014. https://www.communityconservation.net/wp-content/uploads/2016/01/FINAL_CCRN-Guidelinesfor-Analysis-of-Social-Ecological-Systems-September-2014.pdf

- [13] Hertz T, Schluter M. The SES-Framework as Boundary Object to Address Theory Orientation in Social-ecological System Research: *The SES-TheOr Approach*. *Ecol Econ*. 2015; 116:12–24. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.022>.
- [14] Folke C. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Glob Environ*. 2006; 16(3):253–267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- [15] United States Environmental Protection Agency. Colony Collapse Disorder. 2021. <https://www.epa.gov/pollinator-protection/colony-collapse-disorder>
- [16] Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Winfree R, Aizen MA, Bommarco R, Cunningham SA, et al. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*. 2013; 339(6127):1608–11. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
- [17] Fiksel J. Designing resilient, sustainable, systems. *Environ Sci Technol*. 2003; 37(23):5330–5339. <https://doi.org/10.1021/es0344819>
- [18] Brown C, Rounsevell M. How can social-ecological system models simulate the emergence of social ecological crises? *People Nat*. 2020; 3(1):88–103. <https://doi.org/10.1002/pan3.10167>
- [19] Nyström M, Jouffray JB, Norström AV, Crona B, Søgaard Jørgensen P, Carpenter SR, et al. Anatomy and resilience of the global production ecosystem. *Nature*. 2019; 575(7781):98–108. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1712-3>
- [20] Dandy N. 2020. Behaviour, Lockdown and the Natural World. *Environ Values*. 2020; 29(3):253–259. <https://doi.org/10.3197/096327120X15868540131215>
- [21] Patz JA, Daszak P, Tabor GM, Aguirre AA, Pearl M, Epstein J, et al. Unhealthy landscapes: policy recommendations on land use change and infectious disease emergence. *Environ Health Perspect*. 2004; 112(10):1092–1098. <https://doi.org/10.1289/ehp.6877>
- [22] Lawton G. Rescue plan for nature: How to fix the biodiversity crisis. *New Sci*. 17 February 2021. <https://www.newscientist.com/article/mg24933223-300-rescue-plan-for-nature-how-to-fix-the-biodiversity-crisis/>
- [23] UNEP. Emerging zoonotic diseases and links to ecosystem health—UNEP Frontiers 2016 chapter.2016. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36614/FB16ch2.pdf>
- [24] Everard M, Johnston P, Santillo D, Staddon C. The role of ecosystems in mitigation and management of Covid-19 and other zoonoses. *Environ Sci Policy*. 2020; 111:7–17. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.05.017>
- [25] Plowright RK, Reaser JK, Locke H, Woodley SJ, Patz JA, Becker DJ, et al. Land use-induced spillover: a call to action to safeguard environmental, animal, and human health. *Lancet Planet Health*. 2021; 5(4):e237–e245. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00031-0)
- [26] Bartlow AW, Manore C, Xu C, Kaufeld KA, Del Valle S, Ziemann A, et al. Forecasting Zoonotic Infectious Disease Response to Climate Change: Mosquito Vectors and a Changing Environment. *Vet Sci*. 2019; 6(2):40. <https://doi.org/10.3390/vetsci6020040>
- [27] Samuelsson K, Barthel S, Colding J, Macassa G, Giusti M. Urban nature as a source of resilience during social distancing amidst the coronavirus pandemic. *OSF Preprints*. 2020. <https://doi.org/10.31219/osf.io/3wx5a>
- [28] Zabaniotou A. A systemic approach to resilience and ecological sustainability during the COVID-19 pandemic: Human, societal, and ecological health as a system-wide emergent property in the Anthropocene. *Glob Transit*. 2020; 2:116–126. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.06.002>
- [29] Vivid Economics. Greenness of Stimulus Index: An assessment of COVID-19 stimulus by G20 countries and other major economies in relation to climate action and biodiversity goals. July 2021. https://www.vivideconomics.com/wp-content/uploads/2021/07/Green-Stimulus-Index-6th-Edition_final-report.pdf
- [30] Diamond J. *Collapse: How societies choose to fail or succeed*. Penguin; 2011.
- [31] Searle A, Turnbull J. Resurgent natures? More-than-human perspectives on COVID-19. *Dialogues Hum Geogr*. 2020; 10:291–295. <https://doi.org/10.1177/2043820620933859>
- [32] Bates AE, Primack RB, Biggar BS, Bird TJ, Clinton ME, Command RJ, et al. Global COVID-19 lockdown highlights humans as both threats and custodians of the environment. *Biol Conserv*. 2021; 263:109175. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109175>
- [33] McElwee P, Turnout E, Chiroleu-Assouline M, Clapp J, Isenhour C, Jackson T, et al. Ensuring a Post-COVID Economic Agenda Tackles Global Biodiversity Loss. *One Earth*. 2020; 3(4):448–461. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.011>
- [34] Moris D. Research exceptionalism and opportunism during the coronavirus pandemic. *J BUON*. 2020; 25(6):2533–6. PMID: 33455093.
- [35] Kadykalo AN, Haddaway NR, Rytwinski T, Cooke SJ. Ten principles for generating accessible and useable COVID-19 environmental science and a fit-for-purpose evidence base. *Ecol Solutions Evidence*. 2021; 2(1):e12041. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12041>
- [36] Soga M, Evans MJ, Cox DTC, Gaston KJ. Impacts of the COVID-19 pandemic on human–nature interactions: Pathways, evidence and implications. *People Nat*. 2021; 3:518–527. <https://doi.org/10.1002/pan3.10201>
- [37] Young N, Kadykalo AN, Beaudoin C, Hackenburg DM, Cooke SJ. Is the Anthropause a useful symbol and metaphor for raising environmental awareness and promoting reform? *Environ Conserv*. 2021; 48(4):274–277. <https://doi.org/10.1017/S0376892921000254>
- [38] Geng DC, Innes J, Wu W, Wang G. Impacts of COVID-19 pandemic on urban park visitation: a global analysis. *J For Res*. 2021; 32:553–567. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01249-w>
- [39] Andre’s SM, Mir LC, Bergh JC, Ring I, Verburg PH. Ineffective biodiversity policy due to five rebound effects. *Ecosyst Serv*. 2012; 1:101–110. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.003>
- [40] Grima N, Corcoran W, Hill-James C, Langton B, Sommer H, Fisher B. The importance of urban natural areas and urban ecosystem services during the COVID-19 pandemic. *PLoS ONE*. 2020; 15:e0243344. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243344>
- [41] Robbins J. Revenge travel is coming after a year of pent-up demand. *The Globe and Mail*. Published March 12, 2021. <https://www.theglobeandmail.com/life/travel/article-revenge-travel-is-coming-are-you-ready/>
- [42] Pinder AC, Raghavan R, Britton JR, Cooke SJ. COVID-19 and biodiversity: The paradox of cleaner rivers and elevated extinction risk to iconic fish species. *Aquat Conserv*. 2020; 30(6):1061–1062. <https://doi.org/10.1002/aqc.3416>
- [43] Lu D. Covid-19 hit biodiversity across the globe. Here’s how to fix things. *New Sci*. 10 March 2021. <https://www.newscientist.com/article/mg24933252-700-covid-19-hit>

- biodiversityacross-the-globe-heres-how-to-fix-things/#ixzz6sh0b0Sdz. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.08.011>
- [44] Brancalion PHS, Broadbent EN, de-Miguel S, Cardil A, Rosa MR, Almeida CT, et al. Emerging threats linking tropical deforestation and the COVID-19 pandemic. *Perspect Ecol Conserv.* 2020; 18(4):243–246. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.09.006>
- [45] Evans KL, Ewen JG, Guillera-Arroita G, Johnson JA, Penteriani V, Ryan SJ, et al. Conservation in the maelstrom of Covid-19—a call to action to solve the challenges, exploit opportunities and prepare for the next pandemic. *Anim Conserv.* 2020; 23(3):235–238. <https://doi.org/10.1111/acv.12601>
- [46] Spring J. Illegal loggers uncowed by coronavirus as deforestation rises in Brazil. Reuters. 10 April 2020. <https://www.reuters.com/article/us-brazil-environment/illegal-loggers-uncowed-by-coronavirus-as-deforestation-rises-in-brazil-idUKKCN21S111?edition-redirect=uk>.
- [47] Rare Bird Alert. Wildlife criminals taking advantage of COVID-19 crisis. 13 April 2020. https://www.rarebirdalert.co.uk/v2/Content/Criminals_taking_advantage_of_COVID_19_crisis.aspx?s_id=690721291
- [48] Hentati-Sundberg J, Berglund P-A, Hejdström A, Olsson O. COVID-19 lockdown reveals tourists as seabird guardians. *Biol Conserv.* 2021; 254:108950. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.108950>
- [49] Conservation International. Conservation International Reports Increase in Poaching and Tropical Deforestation Due To COVID-19 Restrictions. 21 April 2020. <https://www.conservation.org/press-releases/2020/04/21/conservation-international-reports-increase-in-poaching-and-tropical-deforestation-due-to-covid-19-restrictions>.
- [50] Rondeau D, Perry B, Grimard F. The Consequences of COVID-19 and Other Disasters for Wildlife and Biodiversity. *Environ Resource Econ.* 2020; 76:945–961. <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00480-7>
- [51] Lima EC. In COVID's Shadow, Illegal Fishing Flourishes. *Hakai Magazine.* 8 July 2020. <https://hakaimagazine.com/news/in-covids-shadow-illegal-fishing-flourishes/>
- [52] Mongabay. Lockdown allowed illegal fishing to spike in Philippines, satellite data suggest. 7 June 2020. <https://news.mongabay.com/2020/06/lockdown-allowed-illegal-fishing-to-spike-in-philippines-satellite-data-suggest/>
- [53] Cunningham AA, Daszak P, Wood JLN. (2017). One Health, emerging infectious diseases and wildlife: two decades of progress? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2017; 372:20160167. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0167>
- [54] Faust CL, McCallum HI, Bloomfield LSP, Gottdenker NL, Gillespie TR, Torney CJ, et al. Pathogen spillover during land conversion. *Ecol Lett.* 2018; 21:471–483. <https://doi.org/10.1111/ele.12904>
- [55] Figliozzi M, Unnikrishnan A. Home-deliveries before-during COVID-19 lockdown: Accessibility, environmental justice, equity, and policy implications. *Transp Res D Transp Environ.* 2021; 93:102760. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102760>
- [56] Cole HVS, Anguelovski I, Baró F, García-Lamarca M, Kotsila P, Pérez del Pulgar C, et al. The COVID-19 pandemic: power and privilege, gentrification, and urban environmental justice in the global north. *Cities Health* 2020; <https://doi.org/10.1080/23748834.2020.1785176>
- [57] Washington HA. How environmental racism is fueling the coronavirus pandemic. *Nature.* 2020; 581:241. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01453-y>
- [58] Brandt EB, Beck AF, Mersha TB. Air pollution, racial disparities, and COVID-19 mortality. *J Allergy Clin Immunol.* 2020; 146(1):61–63. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.04.035>
- [59] Terrell KA, James W. Racial Disparities in Air Pollution Burden and COVID-19 Deaths in Louisiana, USA, in the Context of Long-Term Changes in Fine Particulate Pollution. *Environ Justice.* 2020. <https://doi.org/10.1089/env.2020.0018>
- [60] Wu X, Nethery RC, Sabath MB, Braun D, Dominici F. Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis. *Sci Adv.* 2020; 6(45):eabd4049. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4049>
- [61] Walters G, Broome NP, Cracco M, Dash T, Dudley N, Elias S, et al. Covid-19, Indigenous Peoples, Local Communities and Natural Resource Governance. *PARKS.* 2021;27. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.PARKS-27-SIGW.en>
- [62] Menton M, Milanez F, Machado de Andrade Souza J, Cruz FSM. The COVID-19 pandemic intensified resource conflicts and indigenous resistance in Brazil. *World Dev.* 2021; 138:105222. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105222>
- [63] Schoon M, Van der Leeuw S. The Shift toward Social-Ecological Systems Perspectives: Insights into the Human-Nature Relationship. *Nat Sci Soc.* 2015; 23(2):166–174. <https://doi.org/10.1051/nss/2015034>
- [64] Mueller JT, McConnell K, Burow PB, Pofahl K, Merdjanoff AA, Farrell J. Impacts of the COVID-19 pandemic on rural America. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2021; 118(1):2019378118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2019378118>
- [65] New Scientist. Covid-19 is a wake-up call to stop abusing the ecosystems we depend on. *New Sci* 17 February 2021. <https://www.newscientist.com/article/mg24933223-900-covid-19-is-awake-up-call-to-stop-abusing-the-ecosystems-we-depend-on/#ixzz6sL2Tex07>
- [66] Sahin O, Salim H, Suprun E, Richards R, MacAskill S, Heilgeist S, et al. Developing a Preliminary Causal Loop Diagram for Understanding the Wicked Complexity of the COVID-19 Pandemic. *Systems.* 2020; 8(2):20. <https://doi.org/10.3390/systems8020020>
- [67] Kadykalo AN, Kelly LA, Berberi A, Reid JL, Findlay CS. Research effort devoted to regulating and supporting ecosystem services by environmental scientists and economists. *PLoS ONE.* 2021; 16(5):e0252463. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252463>
- [68] Binder CR, Hinkel J, Bots PWG, Pahl-Wostl C. Comparison of frameworks for analyzing social-ecological systems. *Ecol Soc.* 2013; 18(4):26. <https://doi.org/10.5751/ES-05551-180426>
- [69] Rissman AR, Gillon S. Where is Ecology and Biodiversity in Social–Ecological Systems Research? A Review of Research Methods and Applied Recommendations. *Conserv Lett.* 2017; 10(1):86–93. <https://doi.org/10.1111/conl.12250>
- [70] Cumming GS, Cumming DMG, Redman CL. Scale mismatches in social-ecological systems: causes, consequences, and solutions. *Ecol Soc.* 2006; 11(1):14. <https://doi.org/10.5751/ES-01569-110114>
- [71] Cumming GS, Olsson P, Chaplin III, Holling CS. Resilience, experimentation, and scale mismatches in social-ecological landscapes. *Landsc Ecol.* 2013; 28:1139–1150. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9725-4>
- [72] Beaudoin C, Mistry I, Young N. Collaborative knowledge mapping to inform environmental policy-making: The case of Canada's Rideau Canal National Historic Site. *Environ Sci Policy.* 2022; 128:299–309. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.12.001>

- [73] Mistry I, Beaudoin C, Kotecha J, Evans H, Stevens M, Vermaire JC, et al. Action research to improve water quality in Canada's Rideau Canal: how do local groups reshape environmental governance? *Local Environ*. 2021; 26(5):575–594. <https://doi.org/10.1080/13549839.2021.1904857>
- [74] Hoole A, Berkes F. Breaking down fences: Recoupling social-ecological for biodiversity conservation in Namibia. *Geoforum*. 2010; 41(2):304–317. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2009.10.009>
- [75] Zinsstag J, Schelling E, Waltner-Toews D, Tanner M. From “one medicine” to “one health” and systemic approaches to health and well-being. *Prev Vet Med*. 2011; 101(3–4):148–156. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.07.003>
- [76] Gibbs EPJ. The evolution of One Health: a decade of progress and challenges for the future. *Vet Rec*. 2014; 174(4):85–91. <https://doi.org/10.1136/vr.g143>
- [77] Seltenrich N. Down to earth: the emerging field of planetary health. *Environ Health Perspect*. 2018;126:7. <https://doi.org/10.1289/EHP2374>
- [78] de Garine-Wichatitsky M, Binot A, Ward J, Caron A, Perrotton A, Ross H, et al. "Health in" and "Health of" Social-Ecological Systems: A practical framework for the management of healthy and resilient agricultural and natural ecosystems. *Front Public Health*. 2021; 8:982. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.616328>
- [79] de Garine-Wichatitsky M, Binot A, Morand S, Kock R, Roger F, Wilcox BA. Will the COVID-19 crisis trigger a One Health coming-of-age? *Lancet Planet Health*. 2020; 4(3):e377–e378. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30179-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30179-0)
- [80] Schneider F, Matias D, Burkhart S, Drees L, Fickel T, Hummel D, et al. Biodiversity conservation as infectious disease prevention: Why a social-ecological perspective is essential. *Global Sustainability*. 2021; 4:E13. <https://doi.org/10.1017/sus.2021.11>
- [81] Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Stuart Chapin F III, Lambin E, et al. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecol Soc*. 2009; 14(2):32. <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>
- [82] Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson A, Stuart Chapin F III, Lambin EF, et al. A safe operating space for humanity. *Nature*. 2009; 461:472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- [83] Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Fetzer I, Bennett EM, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*. 2015; 347(6223):129855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- [84] Díaz S, Settele J, Brondízio ES, Ngo HT, Agard J, Arneth A, et al. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*. 2019; 366(6471):eaax3100. <https://doi.org/10.1126/science.aax3100>
- [85] Auld G., Bernstein S., Cashore B. et al. Managing pandemics as super wicked problems: lessons from, and for, COVID-19 and the climate crisis. *Policy Sci* 54, 707–728 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11077-021-09442-2>
- [86] Herse MR, Lyver PO' B, Scott N, McIntosh AR, Coats SC, Gormley AM, et al. Engaging Indigenous Peoples and Local Communities in Environmental Management Could Alleviate Scale Mismatches in Social–Ecological Systems. *Bioscience*. 2020; 70(8):699–707. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa066>
- [87] Redvers N, Poelina A, Schultz C, Kobei DM, Githaiga C, Perdrisat M, et al. Indigenous Natural and First Law in Planetary Health. *Challenges*. 2020; 11(2):29. <https://doi.org/10.3390/challe11020029>
- [88] Hess L. “We are nature and nature are us” And more quotes from the 2020 Global Landscapes Forum Biodiversity Digital Conference: One World–One Health. 30 October 2020. <https://news.globallandscapesforum.org/48134/we-are-nature-and-nature-is-us/>.

Diversidad y conocimiento de plantas utilizadas por agricultores en Cacoal (Amazonía Brasileña)

Diversity and knowledge of plants used by farmers in Cacoal (Brazilian Amazon)

Diego Geraldo Caetano Nunes[†] , Edslei Rodrigues de Almeida , José Luís Chávez Servia 
y Joel Tupac Otero Ospina 

Acceso Abierto

Correspondencia:

diegocnunes@yahoo.com.br
Fanorte Instituição de Ensino
Superior de Cacoal, Rondônia, Brasil

Sometido:
10-02-2022
Aceptado para publicación:
20-10-2022
Publicado en línea:
01-12-2022

Palabras clave:

Cacoal; domesticación del paisaje; etnoespecies; valor de uso; uso tradicional de plantas.

Key words:

Cacoal; ethnospecies; landscape domestication; traditional use of plants; Use value.

Citación:

Caetano Nunes DG, Rodrigues de Almeida E, Chávez Servia JL, Otero Ospina JT. Diversidad y conocimiento de plantas utilizadas por agricultores en Cacoal (Amazonía Brasileña). *Magna Scientia UCEVA* 2022; 2:2 231-243. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a8>

Resumen

La interacción de las poblaciones humanas con los ecosistemas que habitan y sus actividades, aún en pequeña escala, impactan su entorno, generando cambios paulatinos que lo modifican. Este estudio, implementado en propiedades rurales, objetivó evaluar la diversidad de plantas utilizadas por 28 agricultores (14 hombres y 14 mujeres) del municipio de Cacoal, en la Amazonía brasileña, la relación entre el conocimiento que poseen de las plantas con su grado de escolaridad, el tiempo en que habitan en la región y el área de bosque que posee su finca. Se encontraron 145 etnoespecies – con uso tradicional, algunas de ellas con más de un tipo de uso. Para plantas medicinales, se registraron 54 especies distribuidas en 29 familias, mientras que para las plantas alimentarias 82 especies, distribuidas en 34 familias. Las plantas usadas para construcción, fueron 34 especies en 19 familias. La especie nativa que más se destacó fue *Bertholletia excelsa* (nuez de Brasil), con usos alimenticio, medicinal y en la construcción, con UVs (valor de uso de la etnoespecie) = 0.75. Entre las introducidas estuvo *Mangifera indica* (mango), con UVs = 0.89.

Abstract

The interaction of human populations with the ecosystems where they inhabit and their activities, even on a small scale, affects their environment, generating gradual changes that modify it. This study, implemented in rural properties, evaluate the diversity of plants used by 28 peasants (14 men, 14 women) in the municipality of Cacoal, Brazilian Amazon, and the relation between their cultural plant knowledge with their degree of schooling, the time they live in the region and the forest area that owns their property. The results showed the traditional use of 145 ethnospecies; some of which, with more than a type of use. For medicinal plants, the use of 54 species distributed in 29 families was registered, while for the food plants, 82 species were recorded, distributed in 34 families. Among the plants used for construction, 34 species were recorded in 19 families. The most prominent native species was *Bertholletia excelsa* (Brazil nut), with food, medicinal and construction uses, with UVs (value of use of ethnospecies) = 0.75. Among the introduced species was *Mangifera indica* (mango), with UVs = 0.89.



Copyright: ©2022 para los autores. Este artículo es distribuido en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia internacional Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Introducción

Las poblaciones humanas en la Amazonía forman parte de los ecosistemas en los que viven. La escala y la intensidad de sus actividades tienen un impacto significativo en otros componentes de estos ecosistemas, con efecto local, nacional y global [1]. Los impactos de las actividades humanas en los ecosistemas terrestres incluyen los efectos de la deforestación, la tala, la quema, el fuego y la pérdida de biodiversidad [2,3]. A partir de la década de 1960, el gobierno de Brasil empezó un programa direccionado por los militares para ocupar áreas deshabitadas de la Amazonía, llamado “Integrar para não entregar”, esta iniciativa tuvo lugar debido a que se pensaba que en la Amazonía Brasileña, se pudiera presentar migración extranjera, por lo que el Estado Federativo de Brasil, promovió la construcción de carreteras para que las personas accedieran con facilidad a esas regiones, por ejemplo, la BR 364 [4].

El principal instrumento gubernamental encargado de los proyectos de colonización, el ‘Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária–INCRA’, desarrolló el Proyecto Integrado de Colonização–PIC, en el cual, se distribuían lotes de 50 a 100 ha. En las décadas de 1970 y 1980, personas de varios Estados migraron hacia el Estado de Rondônia, la mayoría procedentes de Paraná (en los 70’s), Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gerais y Espírito Santo, lo que se tradujo en un alto índice de migración en los 80’s [5]. Con el proceso de colonización de la Amazonía brasileña, la foresta se convirtió en pastura para llevar a cabo una explotación pecuaria extensiva. Aproximadamente 85 millones de hectáreas de selva amazónica se han perdido desde la década de 1970, principalmente en Brasil [6,7]; de los cuales, el 62.2% de la tierra acumulativa deforestada hasta 2007, fue ocupada por pasturas [8].

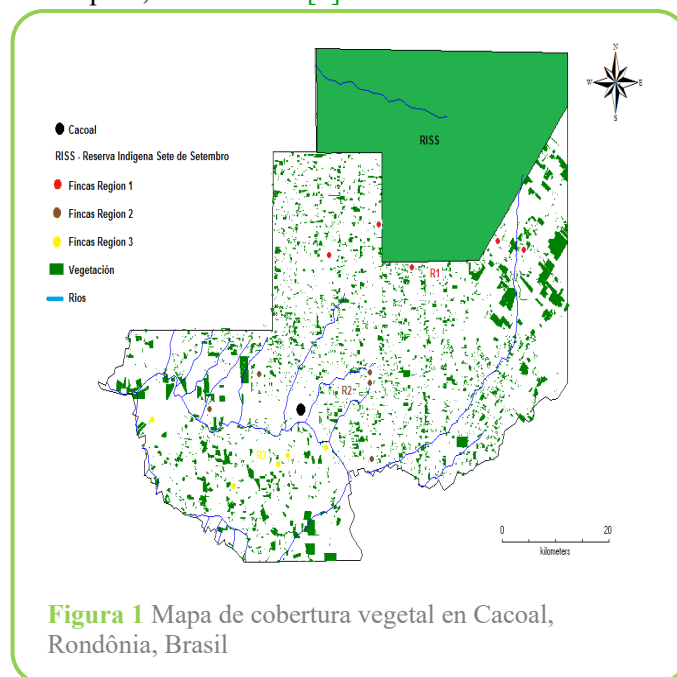
La domesticación del paisaje es un proceso consciente donde la manipulación humana genera cambios en la ecología del paisaje y en la demografía de las poblaciones de plantas y animales, que se convierte en un factor determinante en la conservación de los recursos genéticos [9]. Los hombres utilizan los bosques para diversos usos entre los que se encuentran, usos medicinales, alimenticios, de construcción, de combustible, entre otros [10]. El componente medioambiental más perceptible por las comunidades humanas es la flora, así que a partir de los postulados anteriores se plantea la siguiente pregunta: ¿El tiempo que las personas habitan las áreas y la

dependencia que puedan tener respecto a su ecosistema, podrá ser determinante en el conocimiento que ellos poseen sobre su entorno? El objetivo del presente estudio fue documentar la diversidad de plantas utilizadas por los agricultores que llegaron de diferentes partes de Brasil para vivir en el municipio de Cacoal, en la Amazonía brasileña, y si existe relación entre el conocimiento que poseen de las plantas con su grado de escolaridad, el tiempo de permanencia en ese sitio y el área de bosque (reserva) que poseen en sus predios.

Métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en Brasil, a 11°26'19"S y 61°26'50" W, a una altitud de 200 m.s.n.m., en el municipio de Cacoal (figura 1), que representa el 1.6% del Estado de Rondônia, y se encuentra a 470 kilómetros de la capital, Porto Velho [5].



El municipio de Cacoal tiene un área geográfica de 382.100 ha, un área deforestada de 250310 ha, un área en bosque de 128590 ha [11] y una reserva indígena con 99644 [12]. Según el Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística-IBGE [13], la población estimada de Cacoal es de 86556 habitantes; el clima en Cacoal es tropical, cálido y húmedo, con dos estaciones bien definidas, verano lluvioso (noviembre-mayo) y un invierno seco (junio-octubre). La temperatura promedio es de 25°C. El

río principal es el Río Machado, formado por la unión de los ríos Barão de Melgaço y Pimenta Bueno. El municipio también cuenta con ríos pequeños como el Tamarupá y el Pirarara [5] y un gran número de igarapés. La vegetación natural de Cacoal fue caracterizada por Veloso et al. [14] como Foresta Ombrófila Abierta Bosque Siempre Verde, presentando además los parches de sabana, lo que se conoce comúnmente como “Cerrado”. Sin embargo, gran parte de la vegetación actual es secundaria, los tipos de suelo existentes en Cacoal son divididos en cinco clases: *i*) Argisuelos; *ii*) Latosuelos; *iii*) Neosuelos; *iv*) Podizólicos y *v*) Cambisuelos [15].

Población

El estudio fue implementado en 15 propiedades rurales, distribuidas en tres regiones en el municipio, es decir, cinco propiedades por región. Esas propiedades fueron seleccionadas de forma aleatoria, pero teniendo como requisito básico pertenecer a familias de estudiantes del Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Rondônia, o trabajar en la institución. La selección de esas regiones utilizó como criterio algunas características contrastantes. La región 1, comprende la delimitación de las cercanías del resguardo indígena Paiter-Suruí, donde se estimó que se encontraría mayor diversidad y flujo de especies debido a la influencia de la reserva; la región 2, se extiende hasta el área urbana y está fuertemente influenciada por el hombre. Finalmente, la región 3 se asignó a la parte sur del municipio, a la orilla izquierda del río Machado (sector Prosperidade), que tiene un ancho aproximado de 100 m, pudiendo ser una barrera geográfica para algunas especies, como se observa en la figura 1.

En este estudio se aplicó como herramienta, la realización de encuestas, entrevistas semiestructuradas o cuestionarios en las 15 propiedades rurales bajo la perspectiva del enfoque de género (con 14 hombres y 14 mujeres) totalizando 28 encuestas en total. Las personas participantes de la encuesta fueron los propietarios de las fincas, los cuales estaban en un rango de edad de 30 a 70 años. Las plantas descritas por los agricultores fueron colectadas para obtención de muestras de herbario y para su debida identificación taxonómica. Los especímenes fueron depositados en el herbario de la Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Brasil. Para documentar el conocimiento de la diversidad de plantas que los agricultores han adquirido con el tiempo en ese proceso de colonización de la Amazonía Brasileña, en términos de

conocer si han utilizado la vegetación nativa, y con qué fin, se tomaron como referencia los trabajos realizados por Phillips et al. [16] y Junqueira et al. [17], con algunas modificaciones. Con base en los listados libres, se procedió a calcular el valor de uso (UV) de cada planta citada (etnoespecies, de ahora en adelante) (ecuación 1).

$$UV_{is} = \sum U_{is} \quad (1)$$

Donde:

UV_{is} = UV de la etnoespecies para informante i ; U_{is} = número de usos mencionados por informante i para la etnoespecies durante la entrevista. Por tanto, el UV total para una determinada especie (UVs) se calcula mediante el uso de la ecuación 2.

$$UV_s = \sum U_{is} \frac{UV_{is}}{ns} \quad (2)$$

Donde:

ns = número total de informantes entrevistados.

Análisis estadístico

El análisis estadístico utilizado para esta evaluación fue una prueba de chi-cuadrado, establecida con el objeto de comparar las poblaciones de una forma más precisa, ya que se planteó como hipótesis la no relación entre escolaridad de los propietarios, tiempo de vivienda y el área de finca, con el número de especies encontradas y utilizadas. La evaluación de las áreas de reserva legal en las fincas fue realizada mediante el levantamiento de coordenadas en campo con GPS Garmin™ semi diferencial y analizadas a través del software ArcView®.

Resultados

Los resultados obtenidos de las 28 encuestas realizadas en las 15 fincas mostraron el uso de 145 etnoespecies, siendo que algunas presentan más de un tipo de uso. Plantas con uso medicinal se utilizan 56 etnoespecies, distribuidas en 29 familias botánicas, siendo Lamiaceae la más frecuente, registrada en 11 ocasiones. De esas plantas medicinales se observó que 12 son nativas y 44 introducidas (tabla 1, figura 2).

Basándose en los resultados de valor y uso (tabla 1), la especie nativa que más se destacó fue *Bertholletia excelsa* Humboldt & Bonpl. (nuez de Brasil), con uso alimenticio, medicinal y en la construcción, con UVs (valor de uso de la etnoespecie)= 0.74.

Tabla 1 Especies de plantas utilizadas tradicionalmente (etnoespecies), su origen (I=introducida, N=nativa), sus diferentes usos (M=medicinal, A=alimenticio, C=construcción) y el respectivo valor de uso de la etnoespecie (UVs)

No.	N. común	Etnoespecie			Valor de uso			
		Nombre científico	Familia	Origen	M	A	C	UVs
1	Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	I	X	X	X	0.89
2	Naranja	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck.	Rutaceae	I	X	X		0.85
3	Nuez de Brasil	<i>Bertholetia excelsia</i> Humboldt & Bonpl.	Lecythidaceae	N	X	X	X	0.74
4	Limón	<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck.	Rutaceae	I	X	X	X	0.74
5	Banano	<i>Musa × paradisiaca</i> L.	Musaceae	I	X	X		0.71
6	Coco	<i>Cocos nucifera</i> L.	Arecaceae	I	X	X		0.71
7	Guayaba	<i>Psidium guajaba</i> L.	Myrtaceae	N	X	X		0.67
8	Col	<i>Brassica oleracea</i> L.	Brassicaceae	I	X	X		0.57
9	Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> L.	Asteraceae	I		X		0.53
10	Boldo	<i>Plectranthus</i> sp.	Lamiaceae	I	X			0.5
11	Acerola	<i>Malpighia glabra</i> DC.	Malpighiaceae	I	X	X		0.49
12	Guanábana	<i>Annona muricata</i> L. <i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & L.M.Perry	Annonaceae	I	X	X		0.49
13	Pomarrosa		Myrtaceae	I		X		0.46
14	Yuca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz.	Euphorbiaceae	N		X		0.46
15	Cebolla larga	<i>Allium fistulosum</i> L.	Amaryllidaceae	I	X	X		0.46
16	Copoazú	<i>Theobroma grandiflorum</i> (Willd. ex Spreng.) K.Schum.	Malvaceae	N		X		0.39
17	Menta	<i>Mentha piperita</i> L.	Lamiaceae	I	X			0.39
18	Abotijaba	<i>Mircyaria cauliflora</i> (Mart.) O.Berg.	Myrtaceae	I		X		0.39
19	Achicoria	<i>Cichorium intybus</i> L.	Asteraceae	I		X		0.39
20	Chontaduro	<i>Bactris gassipae</i> Kunth.	Arecaceae	N		X		0.35
21	Toronjil	<i>Melissa officinalis</i> L.	Lamiaceae	I	X			0.35
22	Marañón	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	I		X		0.35
23	Papaya	<i>Carica papaya</i> L.	Caricaceae	I		X		0.35
24	Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i> L.	Apiaceae	I	X	X		0.35
25	Piña	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.	Bromeliaceae	N		X		0.32
26	Quimbombó	<i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench.	Malvaceae	I		X		0.32
27	Ipe amarillo	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G.Nicholson.	Bignoniaceae	N			X	0.32
28	Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Lamiaceae	I	X	X		0.32
29	Limoncillo	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf.	Poaceae	I	X			0.28
30	Perejil	<i>Petroselinum sativum</i>	Apiaceae	I		X		0.28
31	Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Meliaceae	N			X	0.25
32	Pepino	<i>Cucumis sativus</i> L.	Cucurbitaceae	I		X		0.25
33	Rúcula	<i>Eruca sativa</i> Mill.	Brassicaceae	I		X		0.25
34	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Rutaceae	I		X		0.25

Origen: N= nativa, I= introducida; Uso: M= medicinal, A= alimenticio, C= construcción; UVs = Valor de uso de la etnoespecie.

Tabla 1 Continuación

No.	N. común	Etnoespecie		Valor de uso				
		Nombre científico	Familia	Origen	M	A	C	UVs
35	Café	<i>Coffea arabica</i> L.	Rubiaceae	I		X		0.25
36	Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae	N	X	X	X	0.24
37	Guama	<i>Inga edulis</i> Mart.	Fabaceae	N		X		0.21
38	Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.	Lauraceae	I	X	X		0.21
39	Zapallo	<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne.	Cucurbitaceae	I		X		0.21
40	Ají	<i>Capsicum</i> sp. <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	Solanaceae	I	X	X		0.21
41	Eucalipto		Myrtaceae	I	X		X	0.21
42	Sábila	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.	Asphodelaceae	I	X			0.21
43	Llantén	<i>Plantago major</i> L.	Plantaginaceae	I	X			0.21
44	Cebolla cabezona	<i>Allium cepa</i> L.	Amaryllidaceae	I	X	X		0.21
45	Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i> L. <i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	Fabaceae	I	X	X		0.17
46	Cachimbo	<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C.Sm.	Lecythidaceae	N			X	0.17
47	Cerejeira		Fabaceae	N			X	0.17
48	Árbol del pán	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Moraceae	I	X	X		0.17
49	Ciruela	<i>Spondias purpurea</i> L.	Anacardiaceae	N		X		0.17
50	Maracuyá	<i>Passiflora edulis</i> Sims.	Passifloraceae	N		X		0.17
51	Ruda	<i>Ruta graveolens</i> L. <i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg	Rutaceae	I	X			0.17
52	Árbol del pan		Moraceae	I		X		0.17
53	Palmito	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Arecaceae	N		X		0.14
54	Maíz	<i>Zea maíz</i> L.	Poaceae	I		X		0.14
55	Jagua	<i>Genipa americana</i> L.	Rubiaceae	N	X	X		0.14
56	Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Fabaceae	I		X		0.14
57	Granado	<i>Punica granatum</i> L.	Lythraceae	I	X	X		0.14
58	Tambor	<i>Schizolobium amazonicum</i> Ducke	Caesalpinaceae	N	X		X	0.14
59	Menta	<i>Mentha arvensis</i> L.	Lamiaceae	I	X			0.14
60	Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Lamiaceae	I	X			0.14
61	Canjiru	<i>Arrabidaea chica</i> (Bonpl.) Verl.	Bignoniaceae	N	X			0.14
62	Epazote	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	Chenopodiaceae	I	X			0.14
63	Zanahoria	<i>Daucus carota</i> L.	Apiaceae	I		X		0.14
64	Jiló	<i>Solanum gilo</i> Raddi.	Solanaceae	I		X		0.14
65	Grosella	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Myrtaceae	N		X		0.10
66	Cacao	<i>Theobroma cacao</i> L. <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Malvaceae	N		X		0.10
67	Árbol de mora		Moraceae	N			X	0.10
68	Helecho marranero	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke.	Fabaceae	N			X	0.10

Origen: N= nativa, I= introducida; Uso: M= medicinal, A= alimenticio, C= construcción; UVs = Valor de uso de la etnoespecie.

Tabla 1 Continuación

Id.	N. común	Etnoespecie			Valor de uso			
		Nombre científico	Familia	Origen	M	A	C	UVs
69	Ángel amargo	<i>Vatairea sericea</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	N		X	0.10	
70	Palo rosa	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	Apocynaceae	N		X	0.10	
71	Pere	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Caesalpiniaceae	N		X	0.10	
72	Menta poleo	<i>Mentha Pulegium</i> L.	Lamiaceae	I	X		0.10	
73	Rábano	<i>Raphanus sativus</i> L.	Brassicaceae	I		X	0.10	
74	Tomate Cherry	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	Solanaceae	I		X	0.10	
75	Jobo indio	<i>Spondias dulcis</i> Parkinson.	Anacardiaceae	I		X	0.07	
76	Arazá	<i>Eugenia stipitata</i> McVaugh.	Myrtaceae	N		X	0.07	
77	Moriche	<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	Arecaceae	N		X	0.07	
78	Cajá	<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae	N		X	0.07	
79	Mora silvestre	<i>Morus spinosa</i> Gaudich.	Moraceae	I		X	0.07	
80	Arroz	<i>Oriza sativa</i> L.	Poaceae	I		X	0.07	
81	Uva	<i>Vitis</i> sp.	Vitaceae	I		X	0.07	
82	Chirimoya	<i>Annona squamosa</i> L.	Annonaceae	I		X	0.07	
83	Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Lamiaceae	I		X	0.07	
84	Nim	<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	Meliaceae	I	X	X	0.07	
85	Yvirá isí	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand <i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl.	Burseraceae	N		X	0.07	
86	Ipé rosado	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Bignoniaceae	N		X	0.07	
87	Cumaruna	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Fabaceae	N		X	0.07	
88	Copaúva	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Caesalpiniaceae	N		X	0.07	
89	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King <i>Schefflera morototonii</i> (Hochst. ex A.Rich.) Harms	Meliaceae	N		X	0.07	
90	Cacheta	<i>Swietenia macrophylla</i> King <i>Schefflera morototonii</i> (Hochst. ex A.Rich.) Harms	Araliaceae	N		X	0.07	
91	Conabio	<i>Coronopus didymus</i> (L.) Sm.	Brassicaceae	I	X		0.07	
92	Fedegoso	<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link	Fabaceae	I	X		0.07	
93	Carqueja	<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	Asteraceae	I	X		0.07	
94	Chanca piedra	<i>Phyllanthus Niruri</i> L.	Euphorbiaceae	N	X		0.07	
95	Ají malagueta	<i>Capsicum</i> spp.	Solanaceae	I	X	X	0.07	
96	Hortela pimienta	<i>Mentha piperita</i> L.	Lamiaceae	I	X		0.07	
97	Árnica	<i>Arnica montana</i> L.	Asteraceae	I	X		0.07	
98	Acelga	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>Cicla</i> L.	Amaranthaceae	I		X	0.07	
99	Agriao	<i>Nasturtium officinale</i> R.Br.	Brassicaceae	I		X	0.07	
100	Mostaza blanca	<i>Sinapsis alba</i> L.	Brassicaceae	I		X	0.07	
101	Pitomba	<i>Talisia esculenta</i> (A. St.-Hil.) Radlk.	Sapindaceae	N		X	0.07	
102	Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i> P. Mill.	Solanaceae	I		X	0.07	
103	Remolacha	<i>Beta vulgaris</i> L.	Amaranthaceae	I		X	0.07	
104	Guandúl	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	Fabaceae	I		X	0.03	

Origen: N= nativa, I= introducida; Uso: M= medicinal, A= alimenticio, C= construcción; UVs = Valor de uso de la etnoespecie.

Tabla 1 Continuación

Id.	N. común	Etnoespecie			Valor de uso			
		Nombre científico	Familia	Origen	M	A	C	UVs
105	Pequi	<i>Caryocar brasiliense</i> A.St.-Hil.	Caryocaraceae	I		X		0.03
106	Fique	<i>Ficus carica</i> L.	Moraceae	I		X		0.03
107	Batata dulce	<i>Ipomoea batata</i> (L.) Lam.	Solanaceae	I		X		0.03
108	Ñame	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	Araceae	I		X		0.03
109	Ñame alado	<i>Dioscorea alata</i> L.	Dioscoreaceae	I		X		0.03
110	Aguái	<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk.	Sapotaceae	N		X		0.03
111	Caña panelera Pimentero	<i>Saccharum officinarum</i> L.	Poaceae	I		X		0.03
112	Brasileño	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.	Anacardiaceae	I			X	0.03
113	Samauma	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Bombacaceae	N			X	0.03
114	Rocín	<i>Peltogyne recifensis</i> Ducke.	Fabaceae	N			X	0.03
115	Palo de ajo	<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms.	Phytolaccaceae	I			X	0.03
116	Blanqueador	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	Euphorbiaceae	N			X	0.03
117	Sapucaia	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Lecythidaceae	N			X	0.03
118	Palo de tierra	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	N			X	0.03
119	Ipé blanco	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith.	Bignoniaceae	N			X	0.03
120	Guaranta	<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	Rutaceae	N			X	0.03
121	Tembetari	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Rutaceae	N			X	0.03
122	Bambú	<i>Bambusa</i> spp.	Poaceae	I			X	0.03
123	Espiego	<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.	Lamiaceae	I	X			0.03
124	Salvia	<i>Kalanchoe brasiliensis</i> Cambess.	Crassulaceae	I	X			0.03
125	Vernonia	<i>Vernonia polysphaera</i> Baker	Asteraceae	N	X			0.03
126	Caña de mono	<i>Costus spicatus</i> (Jacq.) Sw.	Costaceae	N	X			0.03
127	Confrei	<i>Symphytum officinale</i> L.	Boraginaceae	I	X			0.03
128	Artemisa	<i>Artemisia absinthium</i> L.	Asteraceae	I	X			0.03
129	Picao	<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae	N	X			0.03
130	Cunila	<i>Cunila microcephala</i> Benth.	Lamiaceae	I	X			0.03
131	Cordón de fraile	<i>Leonotis nepetifolia</i> (L.) R.Br.	Lamiaceae	I	X			0.03
132	Citronela	<i>Cymbopogon winterianus</i> Jowitt ex Bor.	Poaceae	I	X			0.03
133	Bardana	<i>Arctium</i> spp.	Asteraceae	I	X			0.03
134	Ortiga	<i>Urtica dioica</i> L.	Urticaceae	I	X			0.03
135	Flor de muerto	<i>Tagetes erecta</i> L.	Asteraceae	I	X			0.03
136	Cayena azul Algodao do campo	<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (Rich.) Vahl.	Verbenaceae	N	X			0.038
137		<i>Cochlospermum regium</i> (Schrank) Pilg.	Bixaceae	N	X			0.03
138	Ajo	<i>Allium sativum</i> L.	Amaryllidaceae	I		X		0.03
139	Chuchu	<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw.	Cucurbitaceae	I		X		0.03

Origen: N= nativa, I= introducida; Uso: M= medicinal, A= alimenticio, C= construcción; UVs = Valor de uso de la etnoespecie.

Tabla 1 Continuación

		Etnoespecie		Valor de uso				
	N. común	Nombre científico	Id.	Origen	M	A	C	UVs
140	Verdolaga	<i>Spinacia oleracea</i> L.	Amaranthaceae	I		X		0.03
141	Berenjena	<i>Solanum melongena</i> L.	Solanaceae	I		X		0.03
142	Melón	<i>Cucumis melo</i> L.	Cucurbitaceae	I		X		0.03
143	Orégano	<i>Origanum vulgare</i> L.	Lamiaceae	I		X		0.03
144	Taioba	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> (L.) Schott.	Araceae	I		X		0.03
145	Repollo	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i> L.	Brassicaceae	I		X		0.03

Origen: N= nativa, I= introducida; Uso: M= medicinal, A= alimenticio, C= construcción; UVs = Valor de uso de la etnoespecie.

Entre las especies introducidas se destacan *Mangifera indica* L. (mango), con UVs = 0.89, también utilizada como alimentaria, medicinal y en la construcción, siendo una especie bastante frecuente en las fincas. En seguida vienen las introducidas *Citrus sinensis* (L.) Obseck (naranja) y *Citrus limon* (L.) Obseck (limón), que presentaron UVs = 0.85 y UVs = 0.74, respectivamente (ver tabla 1). Por otro lado, se evidenció que el valor de uso más conocido por los agricultores para estas etnoespecies es la construcción, de hecho, utilizan especies maderables para la construcción de casas, infraestructuras diversas para fincas, muebles, comercio, entre otros. No obstante, no se logró comprobar seguimiento alguno a la reproducción vegetal de las especies ni reposición in situ. Con base en lo anterior, se puede inferir que el nivel de educación que posee el dueño de la finca no está relacionado con el tamaño del bosque, y por lo tanto, tampoco el área de bosque está relacionado con el tamaño de la finca. Sin embargo, el tiempo de estancia está influenciado por el uso que los encuestados hicieron del área de bosques, principalmente con vocación de construcción, debido entre otros factores, a la forma de colonización que fue implementada y la estimulación acelerada de degradación del medio ambiente en el área de estudio.

De las etnoespecies utilizadas como alimento, se registraron 82 etnoespecies distribuidas en 34 familias, las cuales corresponden a 19 nativas y 63 introducidas. Las de mayor representatividad son Brassicaceae y Solanaceae con seis en cada familia. Respecto a las plantas usadas para la construcción, se registraron 34 etnoespecies en 19 familias; 28 de las etnoespecies son nativas y seis introducidas. Adicionalmente, la familia mejor representada fue Fabaceae, registrada en seis ocasiones en la mayoría de huertos agroecológicos

incluidos en las fincas visitadas y evaluadas (figura 2).

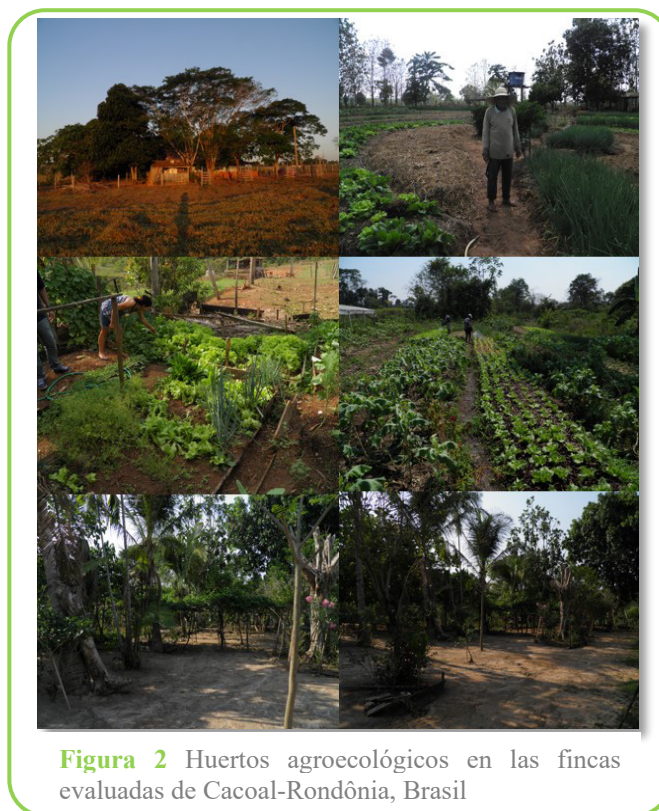


Figura 2 Huertos agroecológicos en las fincas evaluadas de Cacoal-Rondônia, Brasil

Para observar si existía relación entre el área que los agricultores poseen en las fincas, el área de reserva de bosque y el conocimiento sobre la diversidad biológica existente, se determinaron las áreas totales y de reserva legal y se asociaron con el inventario de las etnoespecies de cada finca evaluada vinculando su respectivo valor de uso (tabla 1). Sin embargo, se evidenciaron resultados muy bajos para el área de bosque, en donde el mayor porcentaje se encontró en la finca 9 con 53.03% y un área de 0.34 ha en la finca 14, registrándose un 0% en

dos ocasiones en las fincas 2 y 10 (tabla 2).

Tabla 2 Área de las propiedades rurales (PR ha), área de reserva legal en ha (RL ha) y el porcentaje de la reserva legal (% RL) en el municipio de Cacoal-Rondônia, Brasil

Finca	PR ha	RL ha	% RL
1	20.57	1.744	8.46
2	11.00	0.00	0.00
3	14.52	0.72	4.95
4	89.54	10.68	11.94
5	84.70	3.80	4.48
6	13.31	1.48	11.10
7	247.00	84.26	34.11
8	208.12	22.45	10.79
9	75.02	39.78	53.03
10	4.69	0.00	0.00
11	4.00	0.24	5.98
12	14.52	3.20	22.04
13	493.68	55.22	11.18
14	118.5	0.413	0.34
15	242.00	31.51	13.02

Fuente: Adaptado de [13]

Para evaluar si existía alguna relación entre la escolaridad de los propietarios de las fincas evaluadas y el área de bosque de las mismas, además del tiempo que llevan viviendo los encuestados en las fincas evaluadas y el número de plantas nativas presentes en las fincas, se realizaron análisis de correlación de la relación entre el área de la finca y el número de especies presentes (tabla 3).

A partir de la información suministrada en la tabla 3, se puede deducir que el valor alfa (significancia exacta) del estadístico de Fisher, logra establecer comparación ($p=0.05$) cuando el valor alfa calculado es $p > 0.05$, lo cual explica que no hay razón alguna para rechazar la hipótesis nula. Sin embargo, el estadístico de Fisher arrojó un resultado de $0.921(p > 0.05)$ y esto implica que no se rechazaría H_0 , por lo tanto se concluye que no existe relación entre la escolaridad de los dueños de las fincas y el área de bosque que tienen en sus fincas. Dado un estadístico de Fisher de $0.133 (p > 0.05)$, no existen razones para rechazar la hipótesis nula, con lo cual, se concluye que no existe relación alguna entre el área de la

finca y el número de etnoespecies en ella. De igual manera, con un estadístico de Fisher de $0.09 (p > 0.05)$, no se rechaza H_0 , evidenciando que no existe relación entre el tiempo de permanencia de los encuestados en las fincas evaluadas y el número de etnoespecies en las fincas. Sin embargo, el estadístico está cercano a p , por lo que se podría pensar que esa relación podría llegar a existir en el caso de tener una muestra significativamente mayor.

Discusión

Las plantas usadas como alimento y medicinales, eran localizadas principalmente en huertos caseros. Estos se caracterizan por una complejidad estructural y multifuncionalidad que permite aportar diferentes beneficios a los ecosistemas y las personas [18,19], como se permite observar en la figura 2. Estudios realizados en varios países demuestran que los huertos familiares conservan altos niveles de diversidad genética entre especies especialmente en lo que se refiere a las variedades de cultivos tradicionales y a las variedades autóctonas [9, 20, 21].

Por su parte, Galluzzi et al. [22], argumentan que las plantas usadas como alimento y medicina, eran localizadas principalmente en los huertos caseros [23]. Basado en la comparación de géneros, se encontró que las mujeres citaron en 96 ocasiones las plantas medicinales, los hombres al contrario, lo hicieron en 49 ocasiones. Similar a lo reportado por Costa et al. [24], el aprendizaje sobre las plantas medicinales es transmitido de generación en generación, siempre por las mujeres. En las plantas usadas como alimento, los hombres citan 274 usos, las mujeres, 268 casos. Sin embargo, para el valor de uso de construcción, los hombres mencionaron 74 etnoespecies, mientras que las mujeres, sólo 30. Estos usos están reflejados en los roles y actividades que desempeñan cada uno. En un estudio realizado por Rodrigues et al. [25], se catalogaron 22 etnoespecies de plantas frutales nativas, distribuidas en 13 familias botánicas en la región centro-sur del Estado de Rondônia, Brasil. Entre las familias más destacadas están *Arecaceae* y *Sterculiaceae*, cada una con cinco especies. También se describen algunas especies que no se incluyen en el conocimiento popular para el consumo humano, sin embargo, son consumidas por la fauna silvestre del área de estudio como sigue: *Bellusia grossularioides* L. Triana (Jambo), *Diospyros brasiliensis* Mart. (Caqui del bosque) y *Maclura tinctoria* L. Engl. (Morera).

Tabla 3 Prueba de Chi-cuadrado para las relaciones existentes entre nivel de educación, área de bosque, número de especies en la finca y el tiempo de permanencia de los agricultores en las fincas evaluadas

	Pruebas de Chi-cuadrado			
	Valor	Grados de libertad	Significancia asintótica (bilateral)	Significancia exacta (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	21.41 ^a	24	0.614	0.719
Razón de verosimilitudes	19.37	24	0.732	0.921
Estadístico exacto de Fisher	25.83			0.921
No. de casos válidos	15			
35 casillas (100%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es 0,07.				
	Valor	Grados de libertad	Significancia asintótica (bilateral)	Significancia exacta (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	64.00 ^a	48	0.003	0.77
Razón de verosimilitudes	39.12	48	0.040	1.33
Estadístico exacto de Fisher	61.84			1.33
Nº de casos válidos	16			
63 casillas (100%) tienen una frecuencia esperada inferior a 0.5. La frecuencia mínima esperada es de 0.06				
	Valor	Grados de libertad	Significancia asintótica (bilateral)	Significancia exacta (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	29.63 ^a	12	0.003	0.03
Razón de verosimilitudes	21.76	12	0.040	0.07
Estadístico exacto de Fisher	19.12			0.09
Nº de casos válidos	16			
20 casillas (100%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es de 0.06				

Además están *Alibertia edulis* L.L. Rich (Puruí), *Astrocaryum aculeatum* G.Mey (Cumaré), *Bactris dahlgreniana* Glasman (Española), *Guazuma tomentosa* HBK. (Chico-magro), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Mutamba), *Solanum paniculatum* L. (Jorobaba), *Rollinia mucosa* Jacq. Baill. (biribá) y *Theobroma speciosum* Willd. (Cacauy), respectivamente.

En un estudio realizado en ocho comunidades de la región de Manaos, Brasil fueron visitadas 16 fincas ubicadas en Tierra Preta Amazónica (TPA), reconocidos por ser sitios de alta fertilidad del suelo y que han sido objeto de modificación antropogénica. Ahí existe una alta diversidad de etnoespecies principalmente utilizadas como alimento, construcción y medicina, entre otros usos. Adicionalmente, se observó un total de 79 etnoespecies usadas como alimento y condimento en los huertos agroecológicos familiares, de los cuales 35 son nativas de la Amazonía. Tres de las cuatro especies más frecuentes fueron exóticas [mango (*Mangifera indica* L., la frecuencia $f=15$), coco (*Coco nucifera* L., $f=13$) y

cítricos (*Citrus* spp., $f=13$)]. Las especies nativas más frecuentes fueron el aguacate (*Persea americana* Mill., $f=15$), copoazú (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K.Schum.) $f=12$), guayaba (*Psidium guajava* L., $f=11$), inga (*Inga edulis* Mart., $f=11$) y marañón (*Anacardium occidentale* L., $f=11$). El estudio consideró las etnoespecies aguacate, guayaba y marañón como nativas porque todas llegaron a la Amazonía antes de la colonización europea [26,27].

El uso de etnoespecies por once familias del área rural del municipio de Manacapuru, Amazonía Brasileña, fue registrado bajo un esquema de abordaje participativo. En total, se catalogaron 173 especies, cuya mayoría (101) presentó uso medicinal; 68 especies se usan en la alimentación humana y 22 en la construcción de casas; 97 especies (56.1%) corresponden a pomares caseros, 22 especies (12.7%) existen únicamente en la foresta primaria y 18 especies (10.4%) son provenientes de áreas en regeneración. Algunas especies fueron encontradas en diferentes ambientes [24].

Complementariamente, Willerding et al. [25], en una comunidad en Manaus, Brasil con 18 propiedades rurales, hicieron el reconocimiento mediante encuestas, seguido de un levantamiento de la demanda por especies forestales y fructíferas, adquisición, transporte y distribución de plántulas y semillas. Se logró identificar que la fruticultura es la principal actividad, debido al relativamente rápido retorno financiero, en comparación con especies maderables. Además, el copoazú (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K.Schum.) es el principal cultivo, presente en ocho propiedades participantes con 2950 individuos plantados. Otros cultivos importantes son el mango (*Mangifera indica* L.), chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth.), palma manaca (*Euterpe oleraceae* Mart.) y coco (*Coco nucifera* L.).

En un estudio realizado por Junqueira et al. [17], en el área de estudio de la presente investigación, se revela que las poblaciones tradicionales a lo largo del Río Madeira reconocen los bosques secundarios en suelos antropogénicos (TPA) como una fuente importante de productos forestales no madereros, y que la concentración de especies útiles en estos entornos es una característica notable de la población local. Esas zonas donde el suelo y la vegetación han sido modificadas sustancialmente por la actividad humana precolombina a largo plazo, los bosques secundarios resultantes son más útiles a las poblaciones tradicionales que los bosques secundarios en zonas en las que el proceso de domesticación del paisaje ha sido menos intensa. En la comprensión de la ecología histórica amazónica, la región fue vista durante mucho tiempo como un ambiente prístino, con pocos cambios realizados por la actividad de las pequeñas sociedades que la habitaban [17].

No obstante, Clement [10], describe que es posible que hayan existido 4 o 5 millones de personas en la Amazonía en el momento del contacto con los europeos. Estas personas cultivaron o administraron por lo menos 138 especies de plantas en el año 1492. En consecuencia, existe una relación entre la disminución de las poblaciones amerindias amazónicas y la pérdida de la herencia genética de los cultivos después del contacto. Esta relación fue influenciada por el grado de la cosecha de la domesticación, su historia de vida, el grado de domesticación del paisaje donde se cultiva, el número de sociedades humanas que lo utilizaron, y su importancia para estas sociedades.

Por otro lado, han demostrado que los actuales residentes locales en la Amazonía brasileña que viven en los bosques secundarios en suelos antropogénicos, valoran altamente los recursos después de haber incorporado estos paisajes domesticados en sus conocimientos y prácticas [26, 27]. La vegetación de esta región de la Amazonía brasileña es capaz de proveer diferentes recursos para los agricultores, los cuales procuran alternativas para mejorar su calidad de vida [24, 28].

Conclusión

La interacción entre las comunidades socioculturales y su entorno, es el evento que conlleva a la domesticación del paisaje, siendo determinante para la conservación de los recursos genéticos. Dentro del proceso de domesticación del paisaje, el uso de los recursos fitogenéticos (RFG), se reviste de gran importancia ya que al pasar al estado de etnoespecies, eso implica su incorporación al patrimonio biocultural local. A pesar de que los agricultores de la zona rural de Cacoal-Rondônia, Brasil ya conviven en lo que se denomina ecosistema amazónico desde hace 30 años en promedio, la mayoría de las etnoespecies utilizadas, ostenta un origen introducido. Sin embargo, se ha incorporado un número significativo de etnoespecies nativas, bien sea para uso alimentario, medicinal o en la construcción. La creación de tal conocimiento depende más del tiempo en que habita el territorio que propiamente de otros factores.

Agradecimientos

Al Programa Ciência Sem Fronteiras, CAPES/Ministério da Educação, Brasil, por el soporte financiero brindado para el Doctorado en Agroecología del autor Diego Geraldo Caetano Nunes en la Universidad Nacional de Colombia campus Palmira.

Consentimiento para publicación

los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran no poseer ningún tipo de conflicto de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no de las instituciones a las cuales pertenecen.

Perfil de autoría

Diego Geraldo Caetano Nunes

Biólogo de la Facultad de Ciências Biomédicas de Cacoal (2008), Maestría en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Colombia campus Palmira (2012) y PhD en Agroecología, Universidad Nacional de Colombia campus Palmira (2017). Tiene experiencia en el área de Botánica, con énfasis en Morfología Vegetal, Anatomía Vegetal, Etnobotánica en el área de la Agroecología con énfasis en la Valoración y uso de Recursos Fitogenéticos. Se ha desempeñado principalmente en las siguientes temáticas: Amazonía, Frutos Comestibles, Passifloras, Cultivo de Tejidos Vegetales y Sistemas de Información Geográfica (SIG).



Edslei Rodrigues de Almeida

Doctor en Educación en Ciencias y Matemáticas, por la Red Amazónica en Educación en Ciencias y Matemáticas/REAMEC, por la Universidad Federal de Mato Grosso/UFMT. Maestría en Enseñanza de Ciencias y Matemáticas - Área de Concentración: Enseñanza de Biología, por la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais/PUC-Minas. Especialista en Plantas Medicinales - Uso, Manejo y Manipulación, por la UFPA - Universidad Federal de Lavras, Didáctica de la Enseñanza Superior, por la FACIMED- Facultad de Ciencias Biomédicas de Cacoal. Licenciado en Ciencias Biológicas por la Universidad Estadual de Mato Grosso/UNEMAT. Profesor del Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Rondônia, actualmente responsable del Decanato de Educación.



José Luis Chávez Servia

PhD, Docente Investigador del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca-México. Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Líneas/áreas de investigación: Rescate, Conservación y Aprovechamiento de Recursos Fitogenéticos, Recursos Genéticos Subvalorados y Subutilizados, Sistemas Locales de Semillas, Sistemas Socio-alimentarios, Comunidades Indígenas y Cultura Alimentaria.



Joel Tupac Otero Ospina

Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Departamento de ciencias Básicas. Forma parte del grupo de conservación de orquídeas de la **Comisión para la Supervivencia de las Especies (CSE)**, en la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), por su estudio botánico y ecológico de las orquídeas para fomentar su conservación, y por su liderazgo en investigación. El docente investigador Otero Ospina, es fundador y líder desde hace más de 20 años del Grupo de Investigación en Orquídeas, Ecología y Sistemática Vegetal, de la Unal sede Palmira. El profesor Otero es Biólogo Botánico de la Universidad del Valle, con PhD de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras y PostDoc en CSIRO Plant Industry en Canberra, Australia. Actualmente es reconocido en el país tras haber formado parte del equipo que descubrió la especie *Dichaea andina*, propia de la cordillera de los Andes en Colombia.



Referencias

- [1] Nobre CA, Sampaio G, Borma LS, Castilla-Rubio JC, Silva JS, Cardoso M. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2016;113:10759–68. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>
- [2] World Wildlife Fund-WWF. Deforestation and forest degradation 2021. <https://www.worldwildlife.org/threats/deforestation-and-forest-degradation>
- [3] Fearnside P. Deforestation of the Brazilian Amazon. Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science, Oxford University Press; 2017. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.102>
- [4] Gbedomon RC, Salako VK, Fandohan AB, Idohou AFR, Glèlè Kakaï R, Assogbadjo AE. Functional diversity of home gardens and their agrobiodiversity conservation benefits in Benin, West Africa. *J Ethnobiol Ethnomed* 2017;13:66. <https://doi.org/10.1186/s13002-017-0192-5>
- [5] Ribeiro RM, Amaral S, Monteiro AMV, Dal'Asta AP. “Cities in the forest” and “cities of the forest”: an environmental Kuznets curve (EKC) spatial approach to analyzing the urbanization-deforestation relationship in a Brazilian Amazon state. *Ecology and Society* 2022;27:art1. <https://doi.org/10.5751/ES-13224-270201>
- [6] WinklerPrins AMGA, Sousa PS. House Lot Gardens as Living Space in the Brazilian Amazon. *Focus on Geography* 2010;52:31–8. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8535.2009.tb00252.x>
- [7] WinklerPrins A, Oliveira PS de S. Urban agriculture in Santarém, Pará, Brazil: diversity and circulation of cultivated plants in urban homegardens. *Boletim Do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Humanas* 2010;5:571–85. <https://doi.org/10.1590/S1981-81222010000300002>
- [8] Villa D, García N. Food plants in home gardens of the Middle Magdalena basin of Colombia. *Caldasia* 2017;39:292–309. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n2.63661>
- [9] st. Fleur N. How the Amazon’s Cashews and Cacao Point to Cultivation by the Ancients. *The New York Times* 2017. <https://www.nytimes.com/2017/03/03/science/amazon-rain-forest-plants-domesticate.html>
- [10] Levis C, Flores BM, Moreira PA, Luize BG, Alves RP, Franco-Moraes J, et al. How People Domesticated Amazonian Forests. *Front Ecol Evol* 2018;5. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00171>
- [11] Oliveira EA, Marimon-Junior BH, Marimon BS, Iriarte J, Morandi PS, Maezumi SY, et al. Legacy of Amazonian Dark Earth soils on forest structure and species composition. *Global Ecology and Biogeography* 2020;29:1458–73. <https://doi.org/10.1111/geb.13116>

- [12] Zemp DC, Schleussner C-F, Barbosa HMJ, Hirota M, Montade V, Sampaio G, et al. Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. *Nat Commun* 2017;8:14681. <https://doi.org/10.1038/ncomms14681>
- [13] Fearnside P. Serviços ambientais provenientes de florestas intactas, degradadas e secundárias na Amazônia brasileira. In: Peres C, Gardner T, Barlow J, Vieira I, editors. Conservação da Biodiversidade em Paisagens Antropizadas do Brasil. 1st ed., Paraná, Brasil: Universidade Federal do Paraná. Curitiba-Paraná, Brasil; 2013, p. 29–62.
- [14] Gomes E. História e Geografia de Rondônia. Vilhena, Rondônia-Brasil. 1st ed. Rondônia. Brasil: Gráfica e Editora Express Ltda; 2012.
- [15] Kemper L. Cacoal sua história sua gente . 2nd ed. Grafopel; 2006.
- [16] Porro R, Miller RP, Tito MR, Donovan JA, Vivian JL, Trancoso R, et al. Agroforestry in the Amazon Region: A Pathway for Balancing Conservation and Development, 2012, p. 391–428. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4676-3_20
- [17] Clement CR. 1492 and the loss of amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. *Econ Bot* 1999;53:188–202. <https://doi.org/10.1007/BF02866498>
- [18] Clement CR. 1492 and the loss of amazonian crop genetic resources. ii. crop Biogeography at contact. *Econ Bot* 1999;53:203–16. <https://doi.org/10.1007/BF02866499>
- [19] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. Deflorestamento nos Municípios da Amazonia Legal. Projeto PRODES 2017. <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>
- [20] Instituto Brasileiro de geografia e Estatística-IBGE. Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2015. 2015. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv97746.pdf>
- [21] Veloso H, Rangel F, Alvez L. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, Brasil: 1991. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/classificacaovegetal.pdf>
- [22] Instituto Brasileiro de geografia e Estatística-IBGE. Mapa exploratório de solos, Pedologia. Estado de Rondônia. Rondônia. Brasil: 2006. https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/ro_pedologia.pdf
- [23] Junqueira AB, Shepard GH, Clement CR. Secondary Forests on Anthropogenic Soils of the Middle Madeira River: Valuation, Local Knowledge, and Landscape Domestication in Brazilian Amazonia. *Econ Bot* 2011;65:85–99. <https://doi.org/10.1007/s12231-010-9138-8>
- [24] Galluzzi G, Eyzaguirre P, Negri V. Home gardens: neglected hotspots of agro-biodiversity and cultural diversity. *Biodivers Conserv* 2010;19:3635–54. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9919-5>
- [25] Costa JR, Mitja D. Uso dos recursos vegetais por agricultores familiares de Manacapuru (AM). *Acta Amazon* 2010;40:49–58. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100007>
- [26] Rodrigues S, Caetano Nunes D, Caetano C. Espécies frutíferas do centro-sul do Estado de Rondônia, Amazônia Brasileira. *Acta Agron* 2007;56:69–74. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/641/1162
- [27] Major J, Clement C, DiTommaso A. Influence of market orientation on food plant diversity of farms located on Amazonian dark earth in the region of Manaus, Amazonas, Brazil. *Econ Bot* 2005;59:77–86. [https://doi.org/https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2005\)059\[0077:IOMOOF\]2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1663/0013-0001(2005)059[0077:IOMOOF]2.0.CO;2)
- [28] Willerding AL, Oliveira LA de. Diagnóstico de um projeto de enriquecimento florestal na Comunidade do Brasileirinho, Manaus, Amazonas. *Acta Amazon* 2005;35:421–6. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000400006>

Rondoniense flora species potentially active to control parasites in *Colossoma macropomum* Cuvier

Especies de flora Rondoniense potencialmente activas para el control de parásitos en *Colossoma macropomum* Cuvier

Wanessa Inácio de Oliveira[†] , Edicarlos Oliveira Queiróz , Edequir Cuevas Ferreira , Hayleem A. Oliveira Menezes de Sá , Simone Paiva Medeiros  and Bruna Rafaela Caetano Nunes Pazdiora 

Open Access

Correspondence:

wanessainacio02@gmail.com
Paulista State University (UNESP)
campus Jaboticabal, São Paulo,
Brazil

First draft submitted:

10-03-2022

Accepted for publication:

20-10-2022

Published on line:

01-12-2022

Key words:

Aquaculture; bioprospecting;
botanical families; RFG;
Tambaqui.

Palabras clave:

Acuicultura; bioprospección;
familias botánicas; RFG;
Tambaquí.

Citation:

Inácio de Oliveira W, Oliveira Queiróz E, Cuevas Ferreira E, Oliveira Menezes de Sá HA, Paiva Medeiros S, Caetano Nunes Pazdiora BR. Rondoniense flora species potentially active to control parasites in *Colossoma macropomum* Cuvier. *Magna Scientia UCEVA* 2022;2:2 244-251.
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a9>

Abstract

Considering the economic importance of the fish sector in Rondônia (in the Western Brazilian Amazon), which has been facing losses due to parasites in production systems, the present study aimed to carry out a survey of genetic resources of the flora of Rondônia, with potential properties to control parasites in Tambaqui, the main native species cultivated in the State. Therefore, based on a semi-structured questionnaire, bioprospecting was carried out in 20 municipalities, which are the largest producers at State level. The collected botanical materials were processed according to conventional herborization techniques and taxonomically determined. A total of 54 plants from the flora of Rondônia (38 determined at the species level, 16 at the genus level), distributed in 49 genera and 30 botanical families, have alleged antiparasitic properties for use in fisheries.

Resumen

Considerando la importancia económica del sector pesquero en Rondônia (en la Amazonía occidental brasileña), que viene enfrentando pérdidas por parásitos en los sistemas de producción, el presente estudio tuvo como objetivo realizar un levantamiento de los recursos genéticos de la flora de Rondônia, con potencial propiedades para el control de parásitos en Tambaqui, la principal especie nativa cultivada en el Estado. Por lo tanto, a partir de un cuestionario semiestructurado, se realizó la bioprospección en 20 municipios, que son los mayores productores a nivel estatal. Los materiales botánicos colectados fueron procesados según técnicas convencionales de herborización y determinados taxonómicamente. Un total de 54 plantas de la flora de Rondônia (38 determinadas a nivel de especie, 16 a nivel de género), distribuidas en 49 géneros y 30 familias botánicas, tienen presuntas propiedades antiparasitarias para uso en la pesca.



Introduction

Brazil is one of the tropical countries with the greatest potential for the development of aquaculture, where it has shown remarkable growth due to the great water availability, favorable climatic conditions, enormous diversity of fish species with potential for cultivation, size of the consumer market and technologies available in most places where this activity can be developed.

As the excessive use of chemotherapeutic agents in aquaculture is questioned, it should be better evaluated and regulated [1,2] due to the risks to animal, human and aquatic ecosystem health. Thus, research has been carried out looking for alternative natural products, especially herbal medicines, for the control and prevention of diseases and parasites in fish. Among these, infestations by *Perulaernea gamitanae* and *Neoechinorhynchus buttnerae*, which affect Tambaqui, compromising the sustainability of production.

Considering that there are gaps related to ways of controlling these parasites [3] economically important due to their incidence in fish farming in the Brazilian Amazon [4], as well as the lack of knowledge about products natural plants of plant origin with antiparasitic potential, it is necessary to survey GFR (plant genetic resources), bioprospecting and evidence of associated cytotoxicity and efficacy. Bioprospecting refers to the search for genetic and biochemical resources for commercial purposes, always aiming at conservation, so that the desired resource is not depleted with the following advantages: *i*) providing knowledge of biodiversity; *ii*) supplying important substances to man; *iii*) favor economic growth; *iv*) generate jobs; *v*) create a fund for the area of conservation and the genetic resource in question; *vi*) raise the scientific level and *vii*) improve the level of life in the country with the correct use of natural resources, thus complying with the postulates for sustainable development.

When considering the Amazon mega-diversity as a genetic heritage of inestimable value, with great potential for the development of new products (drugs, cosmetics, food, insecticides, herbicides, dyes, flavorings, among others), it is necessary to propose valuation strategies that result in the its conservation. According to Astolfi et al. [5], there is a consensus that the Brazilian Amazon must be developed from a bioindustrial sector, adding value to biodiversity in a sustainable way, conserving ecosystems

and in a socially fair way, both in terms of urban, traditional riverside and indigenous populations. Current bioprospecting and biotechnology procedures make it possible to efficiently discover new substances and from these, to develop new bioproducts, thus adding value to biodiversity.

In several cases, the activity of bioprospecting plant genetic resources is linked to the knowledge that local populations have about the properties and uses of such resources, which is a topic that ethnobotany deals with it [6,7]. Therefore, the present research was developed through the application of a semi-structured questionnaire, in person or remotely, with fish producers and other people linked to the aquaculture activity, to inventory knowledge about plant products (with an emphasis on natives) used in the control of fish parasites. Additionally, plant species were collected due to their traits and medicinal properties. The products of plant primary metabolism are conservative and universal, essential to all species, being responsible for cell development and maintenance. Those of secondary metabolism, common to taxonomic groups, or exclusive to a given species, offer advantages for plant maintenance and development that synthesize them, including defense processes; correspond, in other words, to medicinal plants.

Several studies have shown the efficacy of phytotherapies to control animal disease, including fish. The aqueous extract of Amendoeira (*Terminalia catappa* L.) at a concentration of 200 ppm, reduced infection caused by fungus in the tilapia of Nilo (*Oreochromis niloticus*) eggs and, at 800 ppm, eliminated Trichodina in juveniles of this species, after two days of treatment [8,9]. The garlic (*Allium sativum* L.), an easily obtained product, has been used in fish treatment against bacteria, fungi, protozoa and viruses. Its properties are due to allicin (also responsible for the characteristic odor of the plant), which should be used preferentially raw, at high denatured temperatures [10].

In this sense, Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.), tested on tilapia, showed immunostimulant and bacteriostatic properties, while Bermuda grass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), used in the treatment of white spot virus in *Penaeus monodon* shrimp, showed virucidal activity [11]. However, Fujimoto et al. [12], used seeds of two very common botanical species (*Cucurbita maxima* Duchesne and *Carica papaya* L., respectively, pumpkin and papaya), with significant results.

Alternative products (herbal medicines, bioproducts) are a viable solution, as their use as an antiparasitic can: *i*) drastically reduce the use of chemotherapeutics and antimicrobials in fish farming, reducing production costs; *ii*) eradicate present parasites; *iii*) prevent the emergence of parasites and bacteria resistant to commonly used products, and also *iv*) minimize negative impacts on the environment [13,14]. Therefore, the present research aimed to carry out a survey of species of the Rondônia flora with potential properties to control parasites in fish, considering that fish farming is one of the most economically and socially important sectors in the State of Rondônia, Western Brazilian Amazon.

Methods

For the survey of flora species in Rondônia with antiparasitic properties, a questionnaire was applied mostly online (via email, WhatsApp), in an interactive process, especially for fish producers and other people linked to aquaculture activity. The Municipalities of the Rondônia State were Ariquemes, Buritis and Porto Velho; Ouro Preto do Oeste, Mirante da Serra, Nova União, Tarilândia and Jaru; Rolim de Moura, Ji Paraná, Presidente Médici, Alvorada d'Oeste, Novo Horizonte do Oeste, Santa Luzia d'Oeste, Primavera de Rondônia, Colorado do Oeste, Teixeiraópolis, Alta Floresta d'Oeste, Cacoal and Urupá.

The questionnaire addressed several aspects of practices or knowledge about plant products (with emphasis on natives) used in the control of fish parasites, thus establishing a bridge between scientific knowledge (academy) and traditional knowledge (community), with the aim of obtaining a list of known or used species for their antiparasitic potential in fish. The scientific name with the respective botanical family of each species was consulted and validated through the Flora do Brasil 2020 platform [15] and with the support of RON specialists, when necessary. Then, the data tabulation from the questionnaires was carried out, identifying the possible plant species for collection. A team was set up for the field trips, obtaining the document that have allowed to obtain the collection of botanical material, granted by ICMBio Collections, which took place from February to June, 2022.

After each collection excursion, the botanical materials were sent to Laboratory on the campus of the Federal University of Rondônia, located at Rua da Paz, 4376, Lino Alves Teixeira neighborhood, in the city of

Presidente Médici. In the laboratory, each specimen was processed following the conventional standards for specimens preparation in accordance with CRI, FLOR and HUNI instructions. Subsequently, the taxonomic determination of each specimen was carried out by specialists from RON, databases, especially from Flora do Brasil/REFLORA and a specialized literature review.

Results

With the survey carried out with representatives linked to the aquaculture activity, from 20 municipalities in Rondônia State that stand out for their fish production, plus field trips, it was possible to list 54 plant genetic resources (38 determined taxonomically at the species level, and 16 of genus), distributed in 49 genera and 30 families of Angiospermae, recognized for their antiparasitic and/or antimicrobial properties, or with potential botanical characteristics. Among these 54 RFG, collection was carried out to obtain extracts and subsequent evaluations – phytochemical and cytotoxicity tests (see table 1).

Among the 30 botanical families, the ones with the highest number of genera/species represented are Asteraceae (five); Euphorbiaceae (four); Amaryllidaceae, Cucurbitaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Solanaceae and Verbenaceae (three); Bignoniaceae, Amaranthaceae, Dilleniaceae and Rubiaceae (two) and, finally, the other families with one each (see table 2). Table 2 shows the absolute and relative frequencies of such families.

Discussion

According to Cunha [16], phytotherapy is a therapeutic modality that uses medicinal plants in the prevention or treatment of fish diseases. In view of this, the phytotherapeutic potential for the treatment of parasites in fish has been a frequent target of research, since the excessive use of chemical products in aquaculture activity may cause considerable damage to the environment and animals. This survey of plant genetic resources potentially active in the control of animal parasites and diseases, is a pioneering investigative work in the state of Rondônia, representing a significant advance in the knowledge of these species and their by-products, with bioprospecting being a strategy to conserve them. This, associated with phytochemical prospecting in search of alternative products that make viable a fish farming in Rondônia State.

Table 1 Plants of the Rondônia State flora (54; 38 determined at the species level, 16 at the genus level), distributed in 49 genera and 30 botanical families, and their possible origin (I=introduced; N=ative), with supposed antiparasitic properties for use in fish

Vernacular/local name	Scientific name	Family	Origin
Abóbora	<i>Cucurbita</i> sp.	Cucurbitaceae	I
Alfazema-cabocla	<i>Aloysia gratissima</i>	Verbenaceae	I
Algodão-do-campo	<i>Cochlospermum regium</i>	Bixaceae	N
Alho	<i>Allium sativum</i>	Amaryllidaceae	I
Bananeira	<i>Musa</i> sp.	Musaceae	I
Beldroega	<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae	I
Calêndula	<i>Calendula officinalis</i>	Asteraceae	I
Camu-camu	<i>Myrciaria dúbia</i>	Myrtaceae	N
Capim-limão	<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae	I
Casca-peruana	<i>Cinchona succirubra</i>	Rubiaceae	N
Cassia	<i>Cassia</i> sp.	Fabaceae	N
Castanhola	<i>Terminalia catappa</i>	Combretaceae	I
Cebola	<i>Allium cepa</i>	Amaryllidaceae	I
Cebolinha	<i>Allium fistulosum</i>	Amaryllidaceae	I
Cipó-alho	<i>Mansoa alliacea</i>	Bignoniaceae	N
Cipó-de-fogo	<i>Davilla</i> sp. 1	Dilleniaceae	N
Cipó-de-fogo	<i>Davilla</i> sp. 2	Dilleniaceae	N
Cipó-de-são-joão	<i>Pirostegia venusta</i>	Bignoniaceae	N
Crajiru	<i>Arrabidaea chica</i>	Bignoniaceae	N
Cravo de urubu	<i>Heliotropum</i> cf. <i>indicum</i>	Boraginaceae	N
Cróton	<i>Croton</i> sp.	Euphorbiaceae	N
Dedo-de-anjo	<i>Euphorbia</i> sp.	Euphorbiaceae	N
Duranta	<i>Duranta</i> sp.	Verbenaceae	N
Erva-de-santa-maria	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Amaranthaceae	I
Girassol mexicano	<i>Thitonia diversifolia</i>	Asteraceae	I
Graviola	<i>Annona muricata</i>	Annonaceae	I
Guanxuma	<i>Sidrastum</i> sp.	Malvaceae	N
Joá	<i>Solanum aculeatissimum</i>	Solanaceae	N
Juá	<i>Ziziphus</i> cf. <i>joazeiro</i>	Rhamnaceae	N
Hortelã-pimenta	<i>Mentha piperita</i>	Lamiaceae	I
Lantana	<i>Lantana</i> sp.	Verbenaceae	N
Lobeira	<i>Solanum lycocarpum</i>	Solanaceae	N
Losna	<i>Artemisia absinthium</i>	Asteraceae	I
Mamão	<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	I
Mamoninha-do-campo	<i>Mabea</i> sp.	Euphorbiaceae	N

Table 1 Continuation

Vernacular/local name	Scientific name	Family	Origin
Mandioca	<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	N
Maraca	<i>Crotalaria cf. micans</i>	Fabaceae	N
Maracujá-do-mato	<i>Passiflora foetida</i>	Passifloraceae	N
Margaridinha	<i>Tridax cf. procumbens</i>	Asteraceae	N
Tingui, timbó	<i>Mascagnia</i> sp.	Malpighiaceae	N
Melão-de-são-caetano	<i>Momordica charantia</i>	Cucurbitaceae	I
Mentrasto	<i>Hyptis</i> sp. 1	Lamiaceae	N
Mentrasto	<i>Hyptis</i> sp. 2	Lamiaceae	N
Mussambé	<i>Cleome</i> sp.	Cleomaceae	N
Neem	<i>Azadirachta cf. indica</i>	Meliaceae	I
Pau-tenente	<i>Quassia amara</i>	Simaroubaceae	N
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	Cucurbitaceae	I
Pimenta	<i>Capsicum chinense</i>	Solanaceae	N
Romã	<i>Punica granatum</i>	Lythraceae	I
Sene	<i>Senna</i> sp.	Fabaceae	I
Tanaceto	<i>Tanacetum vulgare</i>	Asteraceae	N
Terramicina	<i>Alternanthera brasiliana</i>	Amaranthaceae	N
Unha-de-gato	<i>Uncaria tomentosa</i>	Rubiaceae	N
Uxi amarelo	<i>Endopleura uchi</i>	Humiriceae	N

Table 2 Botanical families of the Rondônia State flora of cataloged with the absolute and relative frequencies of their species, with supposed antiparasitic properties for use in fish

Botanical families	Absolute frequency of cataloged species	Relative frequency (%)
Asteraceae	5	9.3
Euphorbiaceae	4	7.4
Amaryllidaceae, Bignoniaceae, Cucurbitaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Solanaceae, Verbenaceae	3 (each) = 21	38.9
Amaranthaceae, Dilleniaceae, Rubiaceae, Annonaceae, Bixaceae, Boraginaceae, Caricaceae, Cleomaceae, Combretaceae, Humiriceae, Lythraceae, Malpighiaceae, Malvaceae, Meliaceae, Myrtaceae, Musaceae, Passifloraceae, Poaceae, Portulacaceae	2 (each) = 6	11.1
Rhamnaceae, Simaroubaceae	1 (cada) = 18	33.3
Total	54	100.0

When considering the cataloged 30 botanical families of the Rondônia State flora with the absolute and relative frequencies of their species, Asteraceae and Euphorbiaceae stand out, with five and four species, respectively. They follow, represented by three species each, Amaryllidaceae, Bignoniaceae, Cucurbitaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Solanaceae, Verbenaceae. It is worth mentioning that families such as Lamiaceae, Verbenaceae and Amaryllidaceae, are recognized for their medicinal properties, with morphophysiological and sensory traits that corroborate such potential. Amaranthaceae, Dilleniaceae and Rubiaceae, each of them, presented two species, while the other families had only one species. Some of these families are mentioned for the first time, with potential effects on the prevention of parasites. Among the 54 species listed in the present study, most are considered native or originating from the “Amazon Forest” or “Amazon biome”; others introduced, although some may occupy the “naturalized” category, such as the herb of Santa Maria (*Chenopodium ambrosioides*), the purslane (*Portulaca oleracea* L.) and the melon of São Caetano (*Momordica charantia* L.), because they are abundant in different Brazilian regions. It should be emphasized that, among native species, the State of Rondônia is considered a center of origin and diversity of species representing the genera Manihot and Capsicum. It is also important to highlight the diversity of species recorded in terms of life form or growth habit, from herbaceous, shrubby, arboreal, to vine or liana (climber).

According to BFG [17], (2015) 17, 11,896 angiosperms were recorded in the Amazon biome, of which 1900 are endemic (16.1%). Of these, in the State of Rondônia, 3290 angiosperms were registered, 41 of which are endemic (1.2%). If we consider that in 2010 the total record for the biome was equal to 11349 and 1918 (17.2%) endemic, and for the State in that same year 2,544 and 47 (1.8%), respectively [17], it is concluded that in just five years, there was a decreased genetic resources and therefore, a reduction in the genetic and sociocultural heritage, which shows the relevance and importance of knowing, valuing and conserving biodiversity as a public good for present and future generations, on which principle is based sustainable development.

Conclusion

Several genetic resources of the Rondônia State flora have the potential to be used in the control of animal

parasites, constituting a viable alternative from an environmental, economic and social point of view. Bioprospecting and sustainable use, constitute a conservation strategy for such genetic resources.

Acknowledgments

For financial support: FAPERO; logistical: Federal University of Rondônia, Presidente Médici campus; and academic: DAAB (Agricultural Development Research Group of the Brazilian Amazon, UNIR Presidente Médici campus) and RON (Herbário Rondoniense, UNIR Porto Velho campus).

Consent for publication

The authors read and approved the final manuscript.

Competing interest

The authors declare no conflict of interest. This document only reflects their point of view and not that of the institution to which they belong.

Author details

Wanessa Inácio de Oliveira

Graduated in Forestry Technician at the Federal Institute of Rondônia (Ji-Paraná). Currently studying fisheries engineering at the Federal University of Rondônia. She works in the DAAB research group (Group for Research in Agricultural Development in the Brazilian Amazon). She worked as a volunteer in research projects in partnership with the company Nutrizon Alimentos/Neovia linked to the Federal University of Rondônia, developing research, CESA (Experimental Center for Animal Health) on the following topics: management, health of aquatic organisms with emphasis on ectoparasites and endoparasites.



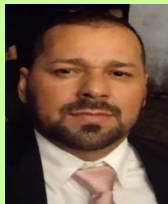
Edicarlo Oliveira Queiróz

Graduated in Animal Science from the Federal University of Mato Grosso Campus in Rondonópolis (2006), Master in Animal Production from the Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). PhD in Animal Science from the State University of Maringá, Brazil. He has experience in the area of Animal Science, with emphasis on Animal Management, working mainly on the following theme: Sheep, Goat, Bioclimatology, Ethology. He is currently an adjunct professor at the Federal University of Rondônia-Presidente Médici Campus. He teaches the disciplines of Bioclimatology, Zootechnical Installations, Ethology, Sheep and Goat farming.



Edequir Cuevas Ferreira

Has secondary-high school education by the Municipal Secretary Of Education And Culture (2001). He has experience in Fisheries Resources and Fisheries Engineering. Graduation in progress in Fishing and Aquaculture Engineering (2018 - Current); his research interest is: Fishing Resources and Fishing Engineering.



Hayleen Aparecida Oliveira Menezes de Sá

Zootecnician from the Federal University of Rondônia Foundation (UNIR) Presidente Médici campus. He is currently a Master's student in Agribusiness at the Federal University of Santa Maria (UFSM) at Palmeira das Missões campus. He has a Technical Course in Finance at the Federal Institute of Education, Science and Technology of the state of Rondônia (IFRO) at Porto Velho Zona Norte campus (2019).



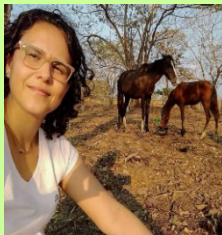
Simone Paiva Medeiros

Graduated in Environmental Management from Universidade Norte do Paraná UNOPAR, Brazil (2013). Graduated in Fisheries Engineering from the Federal University of Rondônia, Brazil (2018). Master in Aquaculture and Sustainable Development from the Federal University of Paraná – UFPR, Brazil. Specialization in MBA Agribusiness (2021), worked as a volunteer in research projects with a partnership company Nutrizon Alimentos / Neovia linked to the Federal University of Rondônia, Brazil developing research, CESA (Experimental Center for Animal Health) on the following topics: management, health of organism's aquatic organisms with an emphasis on ectoparasites and endoparasites. She worked at Piscicultura Nova Esperança as a field supervisor with an emphasis on management and health.



Bruna Rafaela Caetano Nunes Pazdiora

Doctor in Agricultural Sciences with emphasis on Tropical Animal Production, by the Universidad Nacional de Colombia (2014); Doctor in Animal Science, concentration area: Animal Production, by the State University of Maringá, Brazil (revalidation of the diploma obtained abroad) (2014). Specialization in Higher Education Didactics from the Faculty of Biomedical Sciences of Cacoal, Brazil.



Degree in Animal Science from the State University of Maringá, Brazil (2004). She is currently a professor at the Federal University of Rondônia (UNIR), Presidente Médici campus, Brazil. She has experience in Animal Science, working mainly on the following research topics: Welfare and management of monogastric animals, focusing on equideoculture and fish farming.

References

- [1] Heuer OE, Kruse H, Grave K, Collignon P, Karunasagar I, Angulo FJ. Human Health Consequences of Use of Antimicrobial Agents in Aquaculture. *Clinical Infectious Diseases* 2009;49:1248–53. <https://doi.org/10.1086/605667>
- [2] Cabello FC, Godfrey HP, Tomova A, Ivanova L, Dölz H, Millanao A, et al. Antimicrobial use in aquaculture re-examined: its relevance to antimicrobial resistance and to animal and human health. *Environ Microbiol* 2013;15:1917–42. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12134>
- [3] Tavares-Dias M, Lemos J, Martins M, Jerónimo G. Metazoan and protozoan parasites of freshwater fish from Brazil. In: Tavares Dias M, editor. Manejo e sanidade de peixes em cultivo. 1st ed., Macapá, AP: EMBRAPA; 2009, p. 469–94.
- [4] Chagas E, Maciel P, Jerónimo G, Tavares-Dias M, Pereira S, Martins M, et al. Doença negligenciada afeta peixes cultivados na Amazônia brasileira. *Panorama Da Aquicultura* 2016;26:22–9. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1063722/doenca-negligenciada-afeta-peixes-cultivados-na-amazonia-brasileira>
- [5] Beli CM, Mageste JM, Taketani NF. Bioprospecção de enzimas para cosmética: Seu impacto na biotecnologia. *Revista Ensaios Pioneiros* 2020;3:10–24. <https://doi.org/10.24933/rep.v3i2.199>
- [6] Albuquerque UP de, Hanazaki N. As pesquisas etnodirigidas na descoberta de novos fármacos de interesse médico e farmacêutico: fragilidades e perspectivas. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 2006;16:678–89. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2006000500015>
- [7] Albuquerque UP, Medeiros PM de, Ramos MA, Júnior WSF, Nascimento ALB, Avilez WMT, et al. Are ethnopharmacological surveys useful for the discovery and development of drugs from medicinal plants? *Revista Brasileira de Farmacognosia* 2014;24:110–5. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2014.04.003>
- [8] Chitmanat C, Tongdonmuan K, Khanom P, Pachontis P, Nunsong W. antiparasitic, antibacterial, and antifungal activities derived from a terminalia catappa solution against some tilapia (*Oreochromis niloticus*) pathogens. *Acta Horti* 2005:179–82. <https://doi.org/10.17660/ActaHort.2005.678.25>
- [9] Chitmanat C, Tongdonmuan K, Nunsong W. The use of crude extracts from traditional medicinal plants to eliminate *Trichodina* sp. in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 2005;27:359–64. <http://www.sjst.psu.ac.th/journal/aquatic-suppl-pdf/29-parasite-tilapia.pdf>
- [10] Tavechio W, Guidelli G, Portz L. Alternativas para a prevenção e o controle de patógenos em piscicultura. *B Inst Pesca, São Paulo* 2009;35:335–41. https://intranet.institutodepesca.org/35_2_335-341.pdf
- [11] Figueiredo H, Leal C, Costa F. O uso de fitoterápicos na

Aquicultura. *Panorama Da Aquicultura* 2011;124:20–5.
<https://panoramadaaquicultura.com.br/o-uso-de-fitoterapicos-na-aquicultura/>

[12] Fujimoto RY, Costa HC da, Ramos FM. Controle alternativo de helmintos de *Astyanax cf. zonatus* utilizando fitoterapia com sementes de abóbora (*Cucurbita maxima*) e mamão (*Carica papaya*). *Pesquisa Veterinária Brasileira* 2012;32:5–10.
<https://doi.org/10.1590/S0100-736X2012000100002>

[13] Boijink C, Inoue L, Chagas E, Chaves F. Boas práticas de manejo na piscicultura para conservação da qualidade ambiental: Uso de produtos naturais como anti-helmíntico em tambaqui. *Embrapa Amazonia Ocidental* 2011;1:41–5.
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48954/1/Doc-88Cheila-A5.pdf>

[14] Rodrigues BR, Meurer F, Rogério Boscolo W. Aditivos en la nutrición de peces. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA* 2015;7:228. <https://doi.org/10.24188/recia.v7.n2.2015.286>

[15] REFLORA. Brasil de plantas: resgate histórico y herbario virtual para el conocimiento y conservación de la flora y fauna de Brasil. Programa REFLORA Instituto de Investigación Del Jardín Botánico de Río de Janeiro 2022.
<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/PrincipalUC/PrincipalUC.do;jsessionid=B84EC5A8B5E3D3525683903F795B24C4>

[16] Cunha P. Aspectos Históricos Sobre Plantas Medicinais, Seus Constituintes Ativos e Fitoterapia. 2005.
https://www.ppmac.org/sites/default/files/aspectos_historicos.pdf

[17] Zappi DC, Filardi FLR, Leitman P, Souza VC, Walter BMT, Pirani JR, et al. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguésia* 2015;66:1085–113.
<https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>

Manejo tradicional de enfermedades del agroecosistema chayote (*Sechium edule* Jacq. Sw.) de traspatio en Chiapas, México

Traditional management of diseases in the backyard chayote (*Sechium edule* Jacq. Sw.) agroecosystem in Chiapas, Mexico

Luis Alberto Soma Álvarez , Lluvia Esmeralda López Robles  y Francisco Guevara Hernández† 



Acceso Abierto

Correspondencia:

francisco.guevara@unach.mx
Universidad Autónoma de Chiapas:
Villaflores, Chiapas, México.

Sometido:
10-05-2022
Aceptado para publicación:
20-10-2022
Publicado on line:
01-12-2022

Palabras clave:

Agricultura de traspatio;
chayote; conocimientos
locales; etnoagronomía;
manejo tradicional.

Keywords:

Backyard farming; chayote;
ethnoagronomy; local
knowledge; traditional crop
assessment.

Citación:

Soma Álvarez LA, López Robles LLE, Guevara Hernández F. Manejo tradicional de enfermedades del agroecosistema chayote (*Sechium edule* Jacq. Sw.) de traspatio en Chiapas, México. *Magna Scientia UCEVA* 2022; 2:2 252-259. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a10>

Resumen

En el estudio se identificaron y analizaron los criterios socio-agronómicos utilizados por los productores para el manejo y control tradicional de enfermedades en el chayote (*Sechium edule* Jacq. Sw.) de traspatio en zonas rurales de los municipios de Villa Corzo y Villaflores, Chiapas, México. Mediante entrevistas semi-estructuradas realizadas a 30 productores por municipio y de manera aleatoria. El objetivo de esta investigación fue documentar los tipos de fitopatógenos, los daños ocasionados en el cultivo de chayote, su manejo y control, basados en el conocimiento tradicional de los productores de estos municipios. Los resultados reflejan que únicamente el 26.67% de los productores presenta problemas fitosanitarios en el cultivo de chayote de acuerdo con los daños encontrados. Además, se identificaron los géneros de patógenos más importantes en ambos municipios los cuales son *Colletotrichum* (13.33%), el *Phytophthora* (10%) y *Pseudoperonospora* (1.67%). No obstante, para el municipio de Villaflores, también se encontró el género *Fusarium* (1.67%). El control de estos fitopatógenos es muy escaso en ambos municipios, ya que los productores carecen de información para el control de las enfermedades causadas por estos hongos, y solo el 6.67% decide controlarlas. Se confirma la validez de los estudios socio-agronómicos en los agroecosistemas tradicionales, sobre todo para documentar y entender el conocimiento tradicional sobre el manejo de las enfermedades en el cultivo de chayote de traspatio.

Abstract

The study identified and analyzed the socio-agronomic criteria used by producers for the management and traditional control of diseases in backyard chayote (*Sechium edule* Jacq. Sw.) in rural areas of the municipalities of Villa Corzo and Villaflores, Chiapas, Mexico. Through semi-structured interviews carried out with 30 producers per municipality and randomly. The aim of this research was to document the types of phytopathogens, the damage caused in chayote cultivation, its management and control, based on the traditional knowledge of the producers of these municipalities. The results show that only 26.67% of the producers present phytosanitary problems in chayote crop according to the damage found. In addition, the most important genera of pathogens were identified in both municipalities, which are *Colletotrichum* (13.33%), *Phytophthora* (10%) and *Pseudoperonospora* (1.67%). However, for the municipality of Villaflores, the genus *Fusarium* (1.67%) was also found. The control of these phytopathogens is very scarce in both municipalities, since the producers lack information for the diseases control caused by these fungi, and only 6.67% decide to control them. The validity of socio-agronomic studies in traditional agroecosystems is confirmed, especially to document and understand traditional knowledge about disease assessment in backyard chayote cultivation.



Introducción

A nivel mundial México ocupa el primer lugar en producción y exportación de chayote verde liso y representa el 53 % del mercado mundial, seguido de Costa Rica [1]. Mientras que otros países productores de chayote como Guatemala, Brasil, Puerto Rico, Argelia, India, Nueva Zelanda y Australia destinan la mayoría de su producción para el autoconsumo [2,3]. En México, la mayor producción se encuentra en el estado de Veracruz, es el de mayor superficie cultivada y cada año aporta más del 70% de la producción nacional, seguido de los Estados de Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí y el estado de México [4].

En Veracruz, México la rentabilidad del cultivo de chayote ha reconvertido total o parcialmente las áreas de cultivos como, tabaco, maíz, café, mango, papa y cítricos [1]. Para México, los rendimientos por hectárea en cultivos con manejo tradicional oscilan de 54 t. ha⁻¹ hasta 136.3 t.ha⁻¹ [5] y el rendimiento para plantaciones comerciales con densidades de 100 a 128 plantas.ha⁻¹, es de aproximadamente 130 t.ha⁻¹ de fruto. La producción por planta es aproximadamente de 47 a 120 kg en un periodo de seis meses [6]. En este sentido, Oaxaca, Veracruz y Chiapas, presentan una diversidad biológica amplia de especies de *Sechium edule* [5]. Particularmente en Chiapas, el cultivo de chayote se siembra principalmente en zonas de vega y traspatios. Los productores locales de los municipios de Villaflores y Villa Corzo, en el Estado de Chiapas, realizan la selección de sus semillas de chayote basados en sus propios criterios de selección de la semilla y de manejo local, prefieren la especie de chayote con espinas debido a su sabor [7]. Además, el 60% de los productores de las zonas rurales de Chiapas comercializan su producto de manera directa con el consumidor, lo que hace que el chayote sea una fuente importante de ingresos para las familias de estos municipios [8].

Además, este cultivo es importante en la seguridad alimentaria de las familias rurales por su contenido de vitaminas, minerales, fibra, agua y aminoácidos que hacen de este un alimento completo y accesible para los productores [9]; sin embargo, son escasos los estudios científicos sobre su manejo local y las formas de aprovechamiento de esta especie. Esto implica conocimientos prácticos del saber local, importantes para documentar y analizar desde la perspectiva social y agronómica.

En los últimos años se han presentado con mayor frecuencia e intensidad, enfermedades fitosanitarias, lo que limita la producción de chayote. Recientemente en las huertas, se han presentado manchones de plantas con síntomas de marchitez en las hojas debido a la pudrición de la zona de transición entre el tallo y la raíz, lo que afecta la absorción de agua y conduce a la muerte de la planta [6,10,11,17]. Asimismo, se han diseminado plagas y enfermedades tales como virus, hongos y bacterias (*Thimovirus*, *Micovellosiella*, *Geotrichum*, *Erwinia*, *Phytophthora*, *Cladosporium*, *Colletotrichum*) que se transmiten por intercambio de los frutos entre productores-consumidores [13].

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo, identificar los principales patógenos del cultivo de chayote (*Sechium edule* J.) y analizar el manejo empleado como control tradicional por los productores del municipio de Villaflores y Villa Corzo en Chiapas, México.

Métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en los municipios Villaflores y Villa Corzo del estado de Chiapas, México (figura 1), durante los meses de junio a octubre del 2012. En la figura 1, se muestra la ubicación de los municipios de Villaflores y Villa Corzo en la Región Frailesca. Villaflores está ubicado a 6°14'01''N y 93°16'00''O, y a una altitud de 551 m.s.n.m. Villa Corzo se localiza en el sureste del Estado a 16°11'05'' N y 93°16'03''O y a una altitud de 584 m.s.n.m. [14].

Metodología

El enfoque del estudio es del tipo descriptivo-analítico sustentado en la socio-agronomía. Es decir, se empleó una metodología flexible para la colecta de información de campo, a través de preguntas guía, con el fin de recopilar y sistematizar el conocimiento tradicional y los aspectos más importantes sobre el agroecosistema tradicional chayote y entre ellos, el tema de las enfermedades [15,16]. En donde los fitopatógenos se agruparon por género para facilitar su estudio. Para el manejo fitosanitario se consideraron los conocimientos ancestrales de los productores locales en cuanto a daños por enfermedad, plagas o mal manejo.

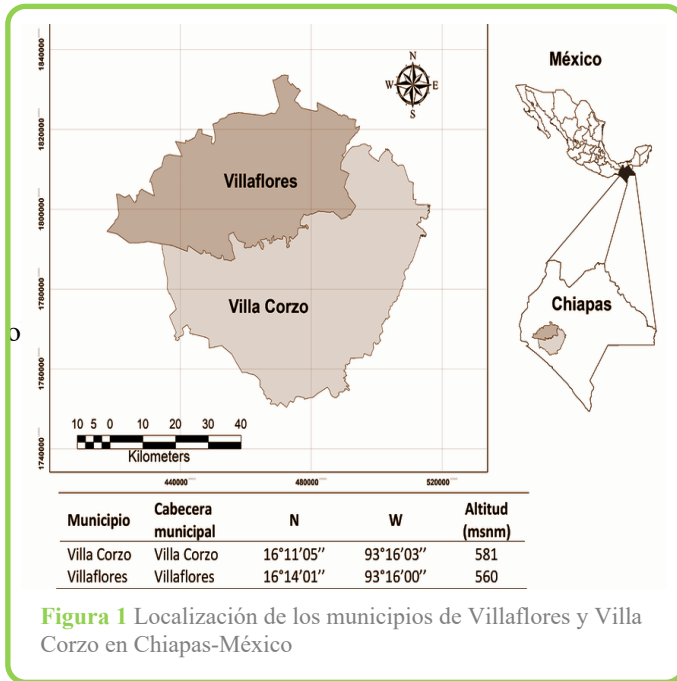


Figura 1 Localización de los municipios de Villaflores y Villa Corzo en Chiapas-México

Se hicieron recorridos de campo tipo exploración etnobotánica a partir de rutas aleatorias, por las comunidades de ambos municipios donde se localizaron 60 productores de traspatio, donde la producción es para autoabastecimiento familiar y comercial [8] a los cuales se les aplicó entrevista semi-estructurada integrada por las preguntas-guía con la intención de documentar el conocimiento de los productores sobre el manejo tradicional de enfermedades en cultivo del chayote. De las preguntas consideradas en la entrevista, se tipificaron siete variables relacionadas con las enfermedades y se tomaron como referencia para el análisis descriptivo (ver tabla 1).

Tabla 1 Variables e indicadores usados para conocer los criterios de los productores sobre el manejo fitosanitario del cultivo de chayote a nivel local

Variables	Indicadores	
	Problemas fitosanitarios en el cultivo	Si
Qué enfermedades se han presentado	Tipo	
Daños ocasionados en la planta y en el fruto	Tipo	
Tipo de productos utilizados para el control	Orgánicos	Químicos
Nombre del producto	Tipo	
Forma de aplicación	Tipo	
Costos	Total	

Análisis de datos

El análisis de los datos obtenidos partió de la agrupación y codificación de respuestas, de acuerdo con Guevara [16] cuya interpretación se basa en los porcentajes calculados para cada indicador documentado. Los resultados se basan en el total de productores que fueron entrevistados en la exploración etno-agronómica por medio de porcentajes representados a través de figuras, los cuales son basados en los criterios de los productores de los municipios de Villaflores y Villa Corzo y relativo al total de ambos municipios evaluados.

Resultados

De acuerdo con el análisis general, para ambos municipios el 26.67 % del total de los productores mencionó tener problemas fitosanitarios en su cultivo de chayote, siendo esta tendencia mayor en el municipio de Villa Corzo con el 30% y el municipio de Villaflores con el 23.33%. Sin embargo, el 73.33% de los productores de ambos municipios, mencionó no tener problemas fitosanitarios de ningún tipo en su cultivo de chayote. En la figura 2, el 11.67% de los productores de ambos municipios, presentaron problemas con el amarillamiento de la planta, también se observó que el 6.67% del total de los productores, mencionaron la no fructificación de la planta. Por otro lado, cabe mencionar que el 5% de los productores locales en ambos municipios, reportaron la pudrición de la raíz que consecuentemente provoca la muerte total de la planta y finalmente, el 1.67% del total de productores, reconocieron daños por hojas marchitas y hojas quemadas (ver figura 2).

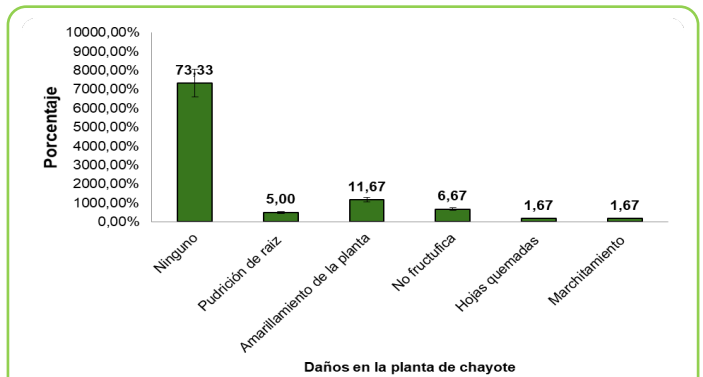


Figura 2 Daños encontrados en el cultivo de chayote en los municipios de Villaflores y Villa Corzo, Chiapas-México

En la figura 3, se presentaron los géneros de patógenos causantes de los daños en el cultivo de chayote, de acuerdo con las características que mencionaron los productores y las coincidencias en la bibliografía para una correcta identificación. El género *Colletotrichum* fue identificado como el principal causante de enfermedades en este cultivo, en la región de Villaflores y Villa Corzo (ver figura 3); mientras que el 10% del total de los productores de ambos municipios, a partir de su empírea, reconoce el género *Phytophthora*, como el causante de daños en el cultivo de chayote como la pudrición de la raíz y quemadura en la hoja; y finalmente, el 1.67% de los productores, identificaron los géneros *Pseudoperonospora* y *Fusarium* en el municipio de Villaflores (figura 3).

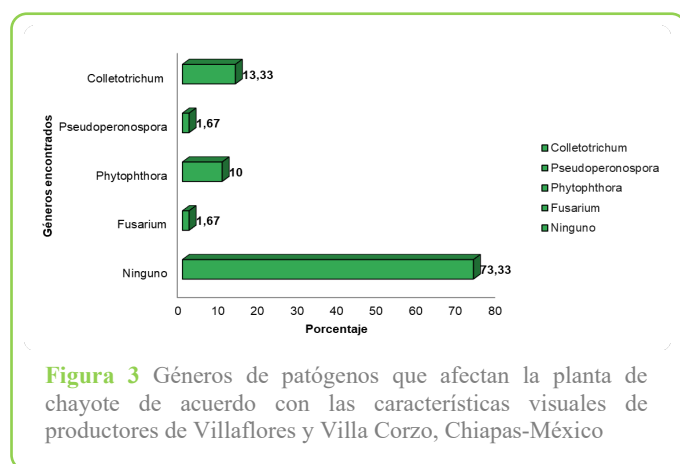


Figura 3 Géneros de patógenos que afectan la planta de chayote de acuerdo con las características visuales de productores de Villaflores y Villa Corzo, Chiapas-México

En la figura 4, se presentó la forma de control fitosanitario de los productores de ambos municipios, basados en su conocimiento tradicional. Es importante señalar que los métodos de control fitosanitarios difieren en gran medida entre los productores que sí realizan algún tipo de control, basado en sus criterios, es decir de manera general, sólo el 6.67% del total de los productores de ambos municipios trataron de realizar un control, mientras que el 93.33% del total de productores no controlan. El 1.67% de los productores que controlan las enfermedades, del municipio de Villa Corzo, lo realizan con fertilizante foliar de origen sintético y de nombre comercial “Humi-Green”. Otros productores del municipio de Villa Corzo utilizan biopreparados para el control fitosanitario. Así también, el 1.67% de los productores del municipio de Villa Corzo, realizaron el riego dosificado de las plantas como “método de control”. En el caso del municipio de Villaflores, la situación es crítica, ya que solo un productor de los 30 entrevistados, realiza el control con fungicidas químicos.

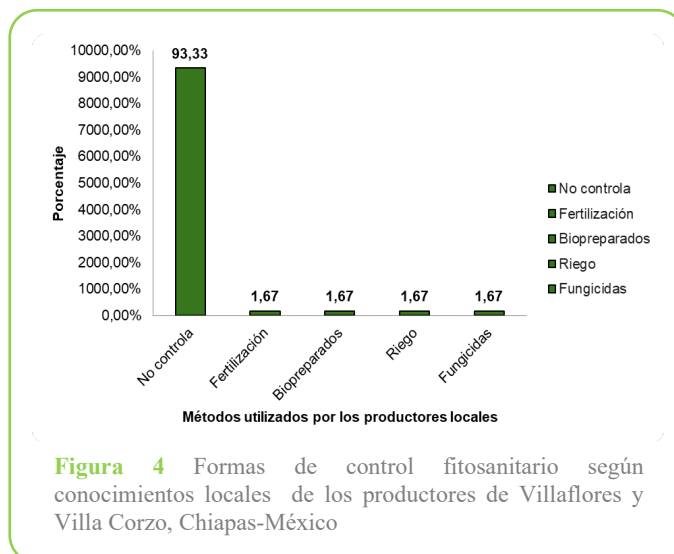


Figura 4 Formas de control fitosanitario según conocimientos locales de los productores de Villaflores y Villa Corzo, Chiapas-México

No fue necesario realizar una figura o tabla para el criterio de los nombres de los productos empleados en el control de enfermedades (fungicidas). El indicador de esta variable se basa en la economía del productor, es decir, que solo aplica fungicidas económicos que encuentra en el mercado basándose en su propia economía.

Discusión

De acuerdo con la información colectada en la entrevista y basados en los conocimientos locales de los productores, se presentan los siguientes resultados sobre los daños fitosanitarios en el cultivo de chayote. El amarillamiento de la planta es muy posible que se relacione con un mal manejo del cultivo, relacionado con el riego, fertilización, podas y/o plagas. Sin embargo, los productores de ambos municipios negaron que se tratara de un mal manejo del cultivo y/o que las plagas fueran las causantes de este daño, lo que conlleva a tratarse de un problema fitosanitario.

Así como la no fructificación de la planta, es decir, durante la fase de producción no se logra el “amarre de fruto” o son abortados sin completar la etapa del desarrollo. Aunque los productores los consideran consecuencias de alguna enfermedad, desconocen el agente causal, así como las causas de la pudrición de la raíz y los daños por hojas marchitas y quemadas. En este último caso, Olguín et al. [12] mencionan que los síntomas de marchitez por pudrición de raíces en el cultivo de chayote, se incrementan durante la temporada de mayor precipitación y que los productores de la región central de Veracruz, lo asocian con el género *Phytophthora* sp.

En cuanto a los géneros encontrados, se evidencia la presencia de enfermedades fungosas como agentes causantes de tales daños. Sin embargo, la identificación de hongos es prácticamente imposible para los productores pues para ello se requiere una caracterización morfológica y molecular. González et al. [17] refiere incluso la importancia de desarrollar métodos con el empleo de técnicas moleculares en estos procesos.

Los síntomas del género en el cultivo de chayote, se localizan en la parte aérea de las plantas, específicamente sobre las hojas en estados avanzados, con manchas bien definidas de color pardo oscuro. Estas manchas se pueden convertir en lesiones cóncavas delimitadas por un borde de color rojizo y en cuyo interior pueden aparecer masas de conidias (estructuras reproductivas), con el tiempo, estas lesiones se cubren de un moho de color gris y aspecto aterciopelado [18]. Este patógeno reside en desechos de plantas infectadas y semillas de frutos infectados; las conidias son esparcidas por viento, lluvia, implementos de campo y agricultores; en época lluviosa su desarrollo es veloz [19].

Generalmente en un sistema de producción tradicional, no se toman las medidas fitosanitarias adecuadas, para evitar la contaminación fitosanitaria en las plantas de chayote y ponen en riesgo a las plantaciones y su producción, incluso después de esta. GISeM [5] en su investigación, identificó a cinco principales fitopatógenos poscosecha entre los que destacan: i) la ampolla causada por *Colletotrichum gloeosporioides*; ii) la antracnosis causada por *C. orbiculare*; iii) el moho púrpura-rojizo causado por *Fusarium oxysporum*; iv) el moho blanco provocado por *Phytophthora capsici* y v) la pudrición ácida provocada por *Geotrichum* sp. Por otro lado, Olguín et al. [5] en su investigación, identificaron al género *Phytophthora* como uno de los principales y más comunes agentes causales de pudrición de raíz en el cultivo de chayote y menciona que es muy común en zonas de alta humedad. En ese sentido, Silva et al. [5] indican que el factor ambiental es crucial para la diseminación de *Phytophthora capsici*.

Este último es importante para los productores de ambos municipios, ya que inicia con una necrosis temprana, a los 3 días se observa un 50% de marchitez en la planta y 2.3 a 3 cm de necrosis en la zona de transiciones del tallo y las raíces, lo que impide el paso del agua y nutrientes hacia el resto de la planta [21]. Estos fitopatógenos se encuentran en suelos húmedos, por lo que las

condiciones climáticas de altas temperaturas y humedad relativa de estos municipios, favorecen su aparición y desarrollo. Aunado a esto, el requerimiento de humedad para el desarrollo de la planta, hace que los productores ubiquen sus plantaciones de chayote en zonas donde existe un exceso de humedad en el suelo y esto conlleva a este tipo de problemas fitosanitarios. El género *Pseudoperonospora* son hongos que infectan solamente a miembros de la familia *Cucurbitaceae* [22]. El chayote no es considerado un hospedero importante de *Pseudoperonospora* como otras de su misma familia, como el pepino, melón y calabaza [23]. Es por ello que los productores locales del municipio de Villaflores mencionaron que las hojas de las plantas de chayote se tornaban muy amarillas, además de que podían ver una especie de polvo sobre el haz de las hojas, lo que llamó su atención. Sin embargo, desconocen totalmente el tipo de enfermedad que provoca estos daños en sus plantaciones. Agrios [24] identificó manchas amarillas irregulares sobre el haz de la hoja, la “corona” y las guías productivas que se deshidratan, causan amarillamiento (quemadura de sol), reducen la producción y ocasionalmente, la muerte de la planta; lo cual confirma Olguín et al. [25] quienes además alegan que se presentan en ambientes con alta humedad relativa.

Por otro lado, *Fusarium oxysporum* se reconoce cuando la planta muestra marchitamiento prolongado durante el patrón diurno de transpiración y las hojas muestran coloración verde muy oscuro (más intenso de lo normal). Esto se atribuye probablemente a una menor tasa de conducción de agua de la raíz-vástago de la planta que afecta severamente la turgencia y provoca aborto de flor y frutos sin alcanzar su desarrollo [26]. En cuanto a los métodos de control fitosanitario empleados por los productores, el uso de fertilizantes sintéticos en las plantas es necesaria para ayudar a mitigar los daños causados por las enfermedades, según criterios de los productores, los problemas fitosanitarios requieren de nutrientes, sin embargo, en estos tipos de sistemas tradicionales se da mayor énfasis a la fertilización orgánica [27].

Otros productores, optan por elaborar su propio biofungicida para el manejo fitosanitario debido a que no genera costos de producción y evitan el uso de fungicidas sintéticos que dañan la salud de los humanos y de los recursos naturales. Al respecto, Glissman [28] refiere que en el cultivo de traspatio, se realiza un manejo más tradicional con el empleo de abonos naturales, trampas y repelentes.

El uso del riego en las plantas, es otra opción por parte de los productores; esto para mantener a la planta más hidratada y evitar los daños causados por los agentes bióticos de acuerdo a su conocimiento tradicional. No obstante, esta práctica en ocasiones empeora el escenario, puesto que favorece las condiciones para el desarrollo de hongos, hasta causar la muerte de la planta. Para el caso del municipio de Villaflores, el productor recurre al uso de fungicidas sintéticos; sin embargo, este método también se ve afectado por la elección del producto, ya que el productor se basa en el costo de este, es decir, solo aplica fungicidas sintéticos económicos que ofrece el mercado. La lógica económica seguida, le impide analizar la pertinencia del producto para controlar el fitopatógeno presente en el cultivo de chayote; esto convierte el sistema de control en poco eficiente.

Los problemas fitosanitarios en chayote, son una fuerte limitante para la producción de este cultivo, es necesario que mediante metodologías participativas con organismos públicos y privados se aborden estos tipos de temas con los productores, con el fin de obtener manuales técnicos que faciliten la identificación y el control de manera asertiva. Se reducen así los riesgos de contaminación ambiental, del productor y consumidor de esta hortaliza, por aplicaciones equivocadas o desmedidas [1]. Los productores locales tienen un amplio conocimiento ancestral que les permite realizar correctamente la mayor parte del manejo de las plantaciones de chayote. Sin embargo, para el manejo fitosanitario aún es necesario que se brinde mayor información de las enfermedades del chayote y así, los productores tengan mejores conocimientos para obtener una mejor producción en sus plantaciones de chayote; aun cuando estos conocimientos de enfermedades sea una labor sumamente compleja para los especialistas en estas áreas.

Conclusión

En esta investigación, el manejo fitosanitario representa una limitante para la producción de chayote en Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, México; debido a que los productores no cuentan con los conocimientos técnicos necesarios para un manejo y control adecuado de las enfermedades que se presentan en el cultivo; pero sobre todo, porque se basan únicamente en conocimientos tradicionales, que no siempre son los agrónomicamente adecuados, especialmente con temas de microorganismos. Los agentes patógenos

predominantes en el cultivo del chayote fueron únicamente hongos, los cuales representan una complejidad para su fácil identificación en campo, lo que no permite a los productores de ambos municipios, realizar un control efectivo en este cultivo. Por ello, se hace imperiosamente necesaria la capacitación y divulgación de los conocimientos técnicos científicos acorde a las necesidades y características de los productores. Los productores de chayote de los municipios de Villaflores y Villa Corzo del Estado de Chiapas, México, tienden a utilizar métodos de control basados en sus propios criterios; sin embargo, estos llegan a ser poco eficaces debido a dos razones principales. La primera de ellas es el desconocimiento del problema y la segunda, la economía del productor, ambas razones contrarrestan el buen manejo sanitario del cultivo del chayote.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del estado de Chiapas (ICTI) por el apoyo brindado a la investigación que dio origen al presente artículo; así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por la beca otorgada a los primeros dos autores para la realización de estudios de posgrado en la Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical de la UNACH.

Consentimiento para publicación

Los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran no poseer ningún tipo de conflicto de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no de las instituciones a las cuales pertenecen.

Perfil de autoría

Luis Alberto Soma Álvarez

Ingeniero agrónomo de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), México. Actualmente cursa la Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical de la UNACH, en donde realiza una investigación socio-agronómica del agroecosistema café.



Lluvia Esmeralda López Robles

Ingeniera Agrónoma de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), México. Actualmente cursa la Maestría en Ciencias con énfasis en la Producción Agropecuaria Tropical de la UNACH, su investigación está enfocada en el estudio socio-agronómico del agroecosistema Milpa.



Francisco Guevara Hernández

Profesor titular de tiempo completo, en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) e integrante del Cuerpo Académico Consolidado en Agroforestería Pecuaria (CAAP). Es especialista en Agroecología, Recursos naturales y Extensionismo. Desarrolla las líneas de investigación-acción: Capacitación en áreas naturales protegidas, Agroecosistemas tradicionales y Monitoreo y evaluación de Procesos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores-CONACYT desde 2010, actualmente Nivel II. Ha publicado más de 125 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales. Actualmente, es miembro de varias redes y sociedades científicas, líder de 2 grupos de investigación interdisciplinarios y árbitro de 12 revistas nacionales e internacionales. Ha coordinado varios proyectos de investigación con financiamiento nacional e internacional, con un componente fuerte de extensión mediante el trabajo colaborativo y la investigación-acción. Es integrante de los Núcleos Académicos del Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad (DOCAS) y la Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical (MCPAT) y docente de las licenciaturas en Desarrollo Agroambiental y Ganadería Ambiental. Ha recibido varios galardones académicos tanto en México como en el extranjero. Es asesor y consultor para varias agencias de desarrollo nacionales e internacionales.



Referencias

- [1] Cadena Iñiguez JMA, Arévalo Galarza M. Rescatando y aprovechando los recursos filogenéticos de Mesoamérica, Chayote. Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México, A.C. y Colegio de Postgraduados. 2010. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/231857/El_chayote_volumen_1.pdf
- [2] Cadena-Iñiguez JL, Ruiz-Posadas M, Trejo-López C, Sánchez-García P, Aguirre-Medina JF. Intercambio de gases y relaciones hídricas del chayote (*Sechium edule* Sw.). *Rev Chapingo Ser Hortic*. 2001. 7 (1): 21-35. <https://doi.org/105154/r.rchsh.200.11.079>
- [3] Brenes-Hine, A. Proyecto: Conservación de germoplasma de chayote [*Sechium edule*] y tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey] como una base de apoyo para el mejoramiento genético y la producción de semillas. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica (Eds.). 2002.
- [4] Cadena Iñiguez J, Avendaño Arrazate CH, Cisneros Solano VM, Arévalo Galarza ML, Aguirre Medina C. Modelo de mejoramiento genético participativo en chayote (*Sechium* spp). 1th Ed. México, Colegio de Postgraduados. 2013.
- [5] Avendaño-Arrazate CH, Cadena-Iñiguez J, Arévalo Galarza MLC, Campos Rojas E, Cisneros Solano VM, Aguirre Medina JF. Las variedades del chayote mexicano, recurso ancestral con potencial de comercialización. GISEM A.C. 2010. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/231856/Las_variedades_del_chayote_mexicano.pdf.
- [6] Cadena-Iñiguez J, Arévalo-Galarza L. GISEM: Rescatando los Recursos Filogenéticos Mesoamericanos. *Revista GISEM*. 2008, 1, 5-6.
- [7] Guevara-Hernández F, Rodríguez-Larramendi L, Rosales-Esquinca MA, Ortiz-Pérez R, Gómez-Castro H, Aguilar-Jiménez CE, Pinto Ruiz R. Criterios de manejo local del cultivo de chayote (*Sechium edule* Jacq. Sw.) en zonas rurales de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 2014, 35 (2), 5-13. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n2/ctr01214.pdf>.
- [8] Guevara Hernández F, Coutino R, Ramiro EN, Ruiz MA, Gutiérrez A, Martínez F, Galdamez GJ, Gutiérrez PR, Mendoza S, Aguilar CE, Rodríguez LA. Local Knowledge on the chayote (*Sechium edule* Jacq. Swartz) marketing in rural communities of Chiapas, México. *Res J Biol Sci* 2013. 8 (6). 221-226. <https://doi.org/10.36478/rjbsci.2013.221.226>
- [9] Riviello Flores M, Arévalo Galarza M, Cadena Iñiguez J, Soto-Hernández, Ruiz Posadas L, Gómez Merino, F. Nutraceutic Characteristics of the Extracts and Juice of Chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) Fruits. *Beverages*. 2018. 4(2), 37. <https://doi.org/10.3390/beverages4020037>
- [10] Cadena-Iñiguez J, Ruiz PLM, Avendaño ACH, Cisneros VM, Soto HMR y Aguirre MJF. Origen y Biodiversidad de *Sechium edule* en el Estado de Veracruz México. CRUO, 2006.
- [11] Cadena-Iñiguez J, Soto HMR, Arévalo GML, Avendaño ACH, Aguirre MJF y Ruiz PLM. Caracterización bioquímica de variedades domesticadas de chayote *Sechium edule* (Jacq.) Sw. comparadas con parientes silvestres. *Rev Chapingo Ser Hortic*. 2011, XVII, 2: 45-55. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.17.044>
- [12] Olguín Hernández G, Valdovinos Ponce G, Cadena Iñiguez J, Arévalo Galarza ML. Etiología de la Marchitez de Plantas de Chayote (*Sechium edule*) en el Estado de Veracruz. *Rev Mex Fitopatol*. 2013 31 (2): 161-169. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v31n2/v31n2a7.pdf>.
- [13] Juárez-Merlín K, Acosta-Ramos M, Cadena-Iñiguez J, Avendaño-Arrazate C.H, Arévalo-Galarza M.L, Vázquez-Hernández M. Identification of postharvest Chayote (*sechium edule*) diseases in México. *Proc Interamer Soc Trop Hort*. 2007. 51:217-224. <http://www.ipt.us.com/wp-content/uploads/2013/10/Chayote-postharvest-diseases.pdf>.
- [14] Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica. CEIEG Chiapas. <https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles/Inicio>
- [15] Alemán ST, López MJ, Martínez VA, Hernández LL. La percepción de las enfermedades de los ovinos por las mujeres Tzotziles de la región de Los Altos de Chiapas. 2001. *Etnoecología*, 5(7):60-74. http://etnoecologia.uv.mx/Etnoecologica/Etnoecologica_vol5_n7/A

rticulo%20Trinidad%20Aleman.pdf.

[16] Guevara-Hernández F. ¿Y después qué? action-research and ethnography on governance, actors and development in Southern Mexico. Department of Social Sciences. Wageningen University and Research Centre (Eds.) Wageningen, Holland, 2007.

[17] González Morejón N, Martínez Coca B, Infante Martínez D. Mildiu polvoriento en las cucurbitáceas. *Rev Protección Veg* 2010. 25 (1) 44-50. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v25n1/rpv09110.pdf>

[18] Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Manejo fitosanitario del cultivo de hortalizas: medidas para la temporada invernal, 1th Produmedios, 2012.

[19] García, G. La antracnosis de las cucurbitáceas. Bogotá: UNIAGRARIA. Universidad Nacional Agraria de Colombia, 2013.

[20] Silva-Rojas HV, Fernández Pavía SP, Góngora Canul C, Macías-López BC, Ávila-Quezada GD. Distribución espacio temporal de la marchitez del chile (*Capsicum annuum* L.) en Chihuahua e identificación del agente causal *Phytophthora capsici* Leo. *Rev Mex Fitopatol.* 2009. 27(2) 134:147. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v27n2/v27n2a6.pdf>.

[21] Andrade-Luna MI, Espinosa-Victoria D, Gómez Rodríguez O, Cadena-Iñiguez J, Arévalo-Galarza ML, Trejo-Téllez LI, Delgadillo-Martínez J. Severity of a *Phytophthora capsici* isolate in chayote *Sechium edule* plants at growth chamber level. *Rev Mex Fitopatol.* 2017. 35 (1): 40-57. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1607-3>

[22] Palti J, Cohen Y. Downy mildew of Cucurbits (*Pseudoperonospora cubensis*): the Fungus and its hosts, distribution, epidemiology and control. *Phytoparasitica.* 1980 8, 109-147. <https://doi.org/10.1007/BF02994506>

[23] CAB International. Crop Protection Compendium [internet], 2007, UK:CAB International. 2007. www.cabicompendium.org

[24] Agrios G.N. Plant Pathology [Internet]. New York. Academic Press, Inc. 2005. https://scholar.google.com.mx/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=plant+pathology+agriros&oq=Plant+Pathology

[25] Olguín Hernández G, Cisneros Solano VM, Acosta Ramos M. Hongos asociados a síntomas de enfermedades en chayote (*Sechium edule* (Jacq) SW.) y estrategias de manejo. *Agro Productividad.* 2011. 4 (3); 16-32. https://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2011/AGROPR ODUCTIVIDAD_III_2011.pdf.

[26] Olguín-Hernández G. Identificación y caracterización morfológica, cultural y molecular de hongos asociados a *Sechium edule* (Jacq.) Sw. en México. Universidad Autónoma Chapingo (Eds.), 2010.

[27] Pacheco Salazar R, Soto Bonilla CA, Valverde Gómez E. Respuesta del chayote (*Sechium edule* Sw.) a dosis crecientes de nitrógeno en el Valle de Ujarrás. *Turrialba.* 1990. 40 (3), 304-310.

[28] Glissman Stephen R. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Ed. Sleeping Berar Press. Turrialba, Costa Rica. CATIE, 2002.

Aplicación de internet de las cosas (IoT) para entornos de invernadero optimizados

Application of internet of things (IoT) for optimized greenhouse environments

Chrysanthos Maraveas  y Thomas Bartzanas† 



Acceso Abierto

Correspondencia:

t.bartzanas@aua.gr
Laboratorio de Estructuras Agrícolas,
Departamento de Recursos Naturales
e Ingeniería Agrícola, Universidad
Agrícola de Atenas, 11855 Atenas,
Grecia.

Sometido:
09-01-2022
Aceptado para publicación:
17-10-2022
Publicado on line:
01-12-2022

Palabras clave:

Agricultura; agricultura
inteligente; Internet de las
Cosas; invernaderos;
tecnología.

Keywords:

Agriculture; greenhouses;
intelligent farming; Internet of
Things; technology.

Citación:

Maraveas C, Bartzanas T. Aplicación de internet de las cosas (IoT) para entornos de invernadero optimizados. *Magna Scientia UCEVA* 2022; 2:2 260-275. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a11>

Resumen

Esta revisión presenta la investigación más avanzada sobre sistemas IoT para entornos de invernadero optimizados. Los datos fueron analizados usando métodos descriptivos y estadísticos para inferir relaciones entre Internet de las cosas (IoT), tecnologías emergentes, agricultura de precisión, agricultura 4.0 y mejoras en la agricultura comercial. La discusión se sitúa en el contexto más amplio de IoT en la mitigación de los efectos adversos del cambio climático y el calentamiento global en la agricultura a través de la optimización de parámetros críticos como la temperatura y la humedad, la adquisición inteligente de datos, el control basado en reglas y la resolución de las barreras para la adopción comercial de sistemas IoT en la agricultura. Los recientes eventos meteorológicos severos e inesperados han contribuido a los bajos rendimientos y pérdidas agrícolas; este es un desafío que se puede resolver a través de la agricultura de precisión mediada por tecnología. Los avances tecnológicos han contribuido con el tiempo al desarrollo de sensores para la prevención de heladas, el control remoto de cultivos, la prevención de riesgos de incendio, el control preciso de nutrientes en cultivos de invernadero sin suelo, la autonomía energética mediante el uso de energía solar y la alimentación, el sombreado y la iluminación inteligentes. control para mejorar los rendimientos y reducir los costos operativos. Sin embargo, abundan los desafíos particulares, incluida la adopción limitada de tecnologías inteligentes en la agricultura comercial, el precio y la precisión de los sensores. Las barreras y los desafíos deberían ayudar a guiar futuros proyectos de investigación y desarrollo y aplicaciones comerciales.

Abstract

This review presents the state-of-the-art research on IoT systems for optimized greenhouse environments. The data were analyzed using descriptive and statistical methods to infer relationships between the Internet of Things (IoT), emerging technologies, precision agriculture, agriculture 4.0, and improvements in commercial farming. The discussion is situated in the broader context of IoT in mitigating the adverse effects of climate change and global warming in agriculture through the optimization of critical parameters such as temperature and humidity, intelligent data acquisition, rule-based control, and resolving the barriers to the commercial adoption of IoT systems in agriculture. The recent unexpected and severe weather events have contributed to low agricultural yields and losses; this is a challenge that can be resolved through technology-mediated precision agriculture. Advances in technology have over time contributed to the development of sensors for frost prevention, remote crop monitoring, fire hazard prevention, precise control of nutrients in soilless greenhouse cultivation, power autonomy through the use of solar energy, and intelligent feeding, shading, and lighting control to improve yields and reduce operational costs. However, particular challenges abound, including the limited uptake of smart technologies in commercial agriculture, price, and accuracy of the sensors. The barriers and challenges should help guide future Research & Development projects and commercial applications.



Introducción

Este artículo de revisión sintetiza la investigación académica actual sobre la aplicación de IoT para entornos de invernadero optimizados con énfasis en microclimas optimizados y mediados por IoT para la producción de cultivos. El enfoque en IoT se basa en la inmensa contribución de la tecnología a las civilizaciones modernas después de las computadoras e Internet [1].

La inmensa contribución de IoT en la agricultura y los invernaderos comerciales podría vincularse a la integración de máquinas inteligentes, actuadores, sensores, sistemas aéreos no tripulados, dispositivos de identificación por radiofrecuencia (RFID), análisis de big data, inteligencia artificial y satélites [2], y esto ha facilitado su aplicación generalizada en diversas agriculturas y aplicaciones no agrícolas, incluida la agricultura inteligente y la prevención de heladas en invernaderos [3], control inteligente de estructuras de invernaderos [4], prevención de riesgos de incendio [5], transición a la agricultura 4.0 [6], control preciso de nutrientes en invernaderos sin suelo cultivo [7], ciudades inteligentes [8,9], monitoreo de emisiones [10], almacenamiento de energía distribuido/descentralizado, sensores alimentados por energía solar [11], alimentación inteligente, control de iluminación y sombreado, y seguridad [12-14]. La adopción generalizada de IoT en invernaderos inteligentes y agricultura de precisión se ha visto incrementada en parte por el desarrollo de protocolos de comunicación altamente eficientes como el Protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), que ha eliminado gradualmente HTTP (Protocolo de transferencia de hipertexto) [15]. MQTT es capaz de ejecutarse en un ancho de banda más bajo, lo que se traduce en protocolos de sobrecarga más bajos.

A pesar de la adopción generalizada de los sistemas IoT en los invernaderos inteligentes, no se ha entendido bien cómo la tecnología puede optimizar los entornos de los invernaderos, especialmente en las regiones tropicales que experimentan fluctuaciones severas de temperatura. La mayor parte de la investigación y el desarrollo se ha localizado en países desarrollados, con acceso directo a sistemas y recursos de IoT. Además de las lagunas en la comprensión, la contribución de los sistemas IoT en invernaderos inteligentes en regiones tropicales es inadecuada.

Tecnologías inteligentes emergentes y sus efectos dominó en la agricultura de precisión

Existen múltiples tecnologías emergentes que se prevé tendrán un impacto significativo en el futuro de la agricultura de precisión. Las tecnologías que tendrían el impacto más notable incluyen computación en la nube, computación de borde, computación de nube, software integrado, sistemas integrados, sistemas ciberfísicos (CPS), redes de sensores inalámbricos (WSN), puerta de enlace de Big Data, máquina a máquina (M2M), humano a máquina (H2M), protocolo LoRa (LoRaWAN), identificación por radiofrecuencia ZigBee/Z-Wave (RFID), servicio general de radio por paquetes de puerta de enlace (GPRS), interfaz de programación de aplicaciones (API), estándar de cifrado avanzado (AES) y Gemelos digitales. La intersección de las diferentes TIC, computación en la nube, WSN, geolocalización, satélites e interfaces de computadora a humano que se ilustra en la figura 1. El papel potencial de estas tecnologías en la conservación del agua y la energía y los beneficios a largo plazo. en los invernaderos se consideran brevemente.

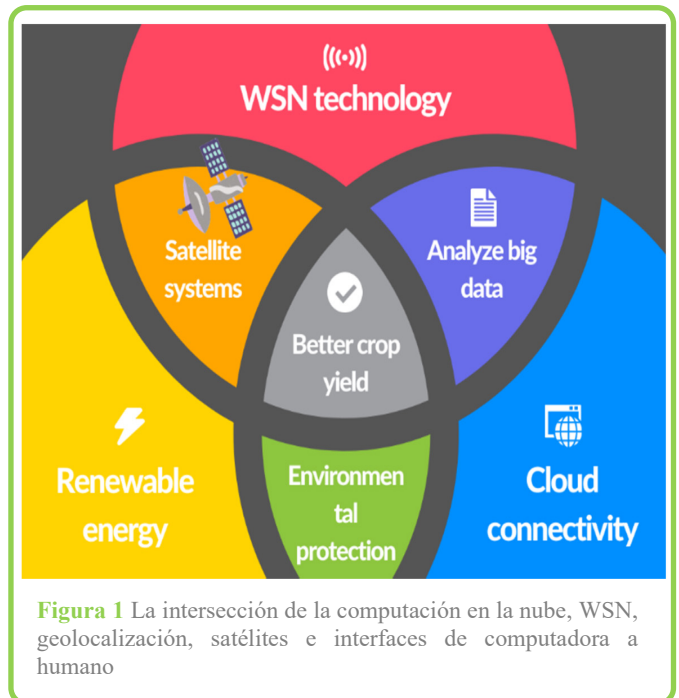


Figura 1 La intersección de la computación en la nube, WSN, geolocalización, satélites e interfaces de computadora a humano

Se ha demostrado que la computación en la nube es útil en invernaderos inteligentes y agricultura de precisión [16-19]. El almacenamiento de datos de sensores en la nube y la integración con tecnologías inteligentes para el monitoreo remoto de los niveles de agua de las plantas, el

contenido nutricional, el pH del suelo, la humedad y la temperatura se ha traducido en importantes ahorros de costos y mejoras en los rendimientos [18]. Los caminos hacia una mayor eficiencia son multidimensionales. Por ejemplo, los agricultores pueden acceder a datos históricos de análisis predictivo de instituciones [20] y utilizar los datos para establecer tendencias de oferta y demanda en diferentes mercados de productos. Los datos predictivos también brindan a los agricultores información en tiempo real sobre las condiciones climáticas, mitigando así los efectos adversos del cambio climático y el calentamiento global. Sin embargo, existen inconvenientes críticos asociados con el uso extendido de la computación en la nube en áreas con cobertura de red insuficiente y bajas velocidades de Internet.

La carga y descarga frecuente de datos da como resultado una transmisión lenta de los datos. El desafío puede compensarse en parte mediante la incorporación de la computación perimetral. Zhang et al. [21] confirmaron que la computación perimetral podría compensar la tensión en la infraestructura de la red al compartir la carga del servidor en la nube; esto, a su vez, se tradujo en una menor demora. La eliminación de las limitaciones tecnológicas aumenta las áreas potenciales de aplicación de IoT, especialmente en la gestión inteligente de cultivos y maquinaria agrícola, la seguridad en la trazabilidad de los productos agrícolas e identificación de plagas. La evaluación positiva del papel de la computación perimetral por parte de Zhang et al. [21] es consistente con Akhtar et al. [22] y O'Grady et al. [23]. Ambos estudios coincidieron en que la informática perimetral tendría un impacto positivo en la industria agrícola. A diferencia de la computación en la nube en la agricultura, que está bien fundamentada, la computación perimetral es una aplicación emergente; la computación de borde es un campo naciente. En 2021, los primeros prototipos de computación de borde aún estaban en desarrollo. Además, no existía una validación confiable y generalizada de los servicios basados de computación de borde en las granjas. Incluso si las tecnologías estuvieran disponibles, surgirían nuevos desafíos especialmente en la estandarización de las plataformas IoT [23]. La novedad de la computación perimetral junto con los inconvenientes de la computación en la nube ilustra claramente que el futuro de la IoT en la agricultura depende de los avances tecnológicos globales y las inversiones en investigación y desarrollo.

IoT y la mitigación de los efectos adversos del cambio climático en la agricultura

La agricultura tradicional se caracteriza por una interacción humana innecesaria que resulta en costos laborales más altos y susceptibilidad a eventos climáticos severos debido a la integración limitada de los sistemas de soporte de decisiones basados en datos. IoT ofrece un respiro a través de medidas de ahorro de agua y energía basadas en la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, las operaciones agrícolas automatizadas y mecanización para resolver los desafíos de monitoreo de los cultivos [24,25]. El papel de la tecnología en el futuro de la agricultura no puede negarse a la luz de los efectos adversos del calentamiento global y el cambio climático en la producción mundial de alimentos y la seguridad alimentaria. Eventos climáticos inusuales como las temperaturas extremas y las precipitaciones, se han asociado con una reducción significativa en la producción agrícola de los EE.UU. y otras naciones.

En 2012, los agricultores de cerezas en el Estado de Michigan-EE.UU., perdieron aproximadamente 220 millones de dólares estadounidenses debido a cambios climáticos severos [26]. Se anticipa que las pérdidas agrícolas relacionadas con el clima persistirán a largo plazo, considerando que las plagas, los hongos y las bacterias prosperan mejor en condiciones de clima cálido. Estimaciones conservadoras indican que los agricultores gastarían 11000 millones de dólares más cada año para combatir plagas y enfermedades debido al cambio climático [26]. Cualquier aumento en el costo de producción, tendría un mayor efecto adverso en las comunidades agrarias de los países en desarrollo [27]. El impacto de los factores relacionados con el clima en la agricultura no se limitaría a los agricultores, dado que los costos adicionales se trasladarían a los consumidores. El problema no era exclusivo de Estados Unidos o de las economías avanzadas del hemisferio occidental. Kava et al. observó desafíos similares observados en Grecia, donde la superficie de tierra cultivable ha disminuido [28]. La alteración de los patrones meteorológicos relacionada con el cambio climático, junto con factores sociodemográficos, ha contribuido a una grave escasez de alimentos y desnutrición [27]. La diversidad de los desafíos en las naciones desarrolladas y emergentes subraya la necesidad de soluciones innovadoras y tecnológicas para mitigar las perturbaciones en la agricultura inducidas por el cambio climático.

Se han explorado múltiples opciones en el pasado reciente, incluida la agricultura basada en invernaderos. A partir de 2021, existen 60000 acres de invernaderos en Grecia, y la distribución se concentró en áreas que se vieron significativamente afectadas por el cambio climático y el calentamiento global, como Messara, Ierapetra y Creta [28,29]. Las naciones del Golfo con tierras cultivables limitadas adoptaron modelos similares. A partir de 2016, 3019 ha estaban bajo invernaderos en Arabia Saudita, produciendo alrededor de 252 824 toneladas de hortalizas y frutales [7]. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC), pronostica que los precios de la producción agrícola aumentarán entre un 1% y un 29% para el año 2050 [30].

Los desafíos asociados con el cambio climático en la agricultura podrían compensarse en parte con la optimización de los entornos de invernaderos que utilizan IoT; esto significa que las tecnologías avanzadas serían indispensables para las cadenas mundiales de suministro de alimentos [28].

Las posibles soluciones basadas en IoT para los desafíos agrícolas modernos se centrarían en las cuatro áreas críticas de la aplicación de sistemas IoT en agricultura e invernaderos inteligentes, a saber, el mantenimiento de un microclima ideal para el crecimiento ideal de las plantas, mejores prácticas de riego y fertilización, control de infecciones y mayor seguridad [31]. La seguridad en la producción agrícola podría lograrse utilizando cámaras infrarrojas, vehículos/sistemas aéreos no tripulados para monitoreo remoto [2], monitores ópticos, infrarrojos y sensores térmicos colocados estratégicamente en grandes fincas para mitigar las pérdidas de cultivos debido a la invasión de vida silvestre (como aves, cabras y búfalos) [32,33]. El uso de la seguridad inteligente como una herramienta de solución informática, está en aumento debido a consideraciones de costos: los sensores para el monitoreo remoto junto con la robótica y los grandes datos son asequibles y eficientes en comparación con el trabajo humano [34]. Los sensores disponibles comercialmente han demostrado que era factible reducir costos y mejorar la eficiencia a través de la tecnología.

Un objetivo clave para avanzar sería minimizar las intervenciones manuales, mejorar los rendimientos y optimizar el uso de recursos y agroquímicos [35,36]. Sin embargo, la actualización de los beneficios potenciales asociados a los sensores, dependería de la optimización de parámetros específicos y la integración de sensores precisos para monitorear el contenido de agua y humedad

así como la fisiología de la planta [35]. Los hallazgos preliminares muestran que los sistemas IoT ofrecen una gran promesa en la agricultura de precisión. Por ejemplo, los sistemas de apoyo a la toma de decisiones basados en datos meteorológicos alertaron a los agricultores cuándo era más apropiado aplicar fungicidas [37]. La aplicación oportuna de fungicidas ayudó a mitigar el riesgo de tizón, y esto se tradujo en un ahorro significativo de costos directos alrededor de 500 USD/acre [37]. Se documentaron beneficios similares con la adopción de sistemas de apoyo a la toma de decisiones basados en datos meteorológicos junto con sensores de capacitancia eléctrica para el balance suelo-agua y contenido suelo-agua. El diseño se tradujo en un ahorro del 25% en los costos de riego para los productores de trigo. La tecnología también resultó útil en la aplicación de fertilizantes utilizando sensores ópticos que analizaban el contenido de clorofila de la planta (un predictor de los niveles de nitrógeno de la planta). Las plantas con mayor deficiencia significativa de nitrógeno, recibía mayores cantidades de fertilizante rico en nitrógeno [37]; esto resultó en la utilización óptima de fertilizantes y mayores rendimientos.

Khudoyberdiev et al. y la evaluación de Miller y Cappuccio [35-38] de la relación costo-beneficio de los sensores en invernaderos está en línea con lo reportado por Agrawal y Kate [39], quienes afirmaron el vínculo entre los sensores y el rendimiento del producto. En promedio, la producción agrícola basada en invernaderos, mejora los rendimientos entre un 10 y un 12% [5]; esto está respaldado por la evidencia empírica: los invernaderos en Arabia Saudita produjeron 252824 toneladas de hortalizas y frutas en 2016 [7]. Las formas actuales de sistemas IoT para la agricultura de precisión estaban menos adaptadas a las regiones semiáridas [40]; esto significa que la funcionalidad de los sensores en las zonas desérticas sigue siendo motivo de preocupación. En el lado negativo, existe poca evidencia de adopción de tecnología y agricultura de precisión en los países en desarrollo [41]. La mala adopción de las innovaciones emergentes en los países en desarrollo ayuda a explicar los bajos rendimientos constantes, lo que contribuye a las brechas en la seguridad alimentaria entre las naciones desarrolladas y emergentes. El encomiable progreso documentado en Grecia, Arabia Saudita [7] y otros países, a pesar de las limitaciones tecnológicas relacionadas con el clima y el clima, valida la necesidad de una agricultura inteligente e inteligente para mejorar el rendimiento de los cultivos en países emergentes y países desarrollados con variaciones extremas de temperatura.

El caso de soluciones e intervenciones personalizadas se vio reforzado por las posibles mejoras en los rendimientos. Las mejoras estándar en los rendimientos oscilan entre el 10 y el 12% [5], pero se puede lograr un mejor rendimiento mediante la optimización de los factores de crecimiento de las plantas, los avances tecnológicos en la confiabilidad de los sensores y el control de costos. Por ejemplo, las explotaciones con invernaderos dispersos podrían verse obligadas a adoptar un sistema disperso en lugar de que el despliegue intenso de sensores debido a consideraciones de costos [42]. Las preocupaciones sobre el costo de IoT en la agricultura estaban en línea con la investigación llevada a cabo por Zamora-Izquierdo et al. [40] sobre el vínculo entre la agricultura de precisión y el costo. En la mayoría de los casos, IoT en la agricultura era costoso y estaba fuera del alcance de los pequeños agricultores, quienes son la columna vertebral del sistema agrícola mundial [43].

La incapacidad de los pequeños agricultores para invertir en tecnologías IoT podría atribuirse a la incertidumbre reinante sobre los precios de venta de los productos agrícolas debido a las variaciones en los precios del mercado, la falta de parámetros definidos sobre las asignaciones y uso de agua y energía [24]. Los márgenes de producción ajustados brindan un incentivo mínimo para que los pequeños agricultores inviertan en nuevas tecnologías como IoT; esto contrasta con grandes productores comerciales que pueden adquirir fácilmente sistemas IoT. El análisis comparativo de los dos indica claramente que el costo fue un impedimento crítico para el uso generalizado de la infraestructura de IoT [24]. Los desafíos identificados por Villa-Henriksen et al. [24] fueron corroborados por Madushanki et al. [25]. En el último caso, se postuló que los beneficios superaban los riesgos dado el potencial de la infraestructura IoT para catalizar la agricultura inteligente y la ecologización urbana. Bajo un intenso despliegue de sensores, un invernadero/granja está equipado con múltiples nodos de sensores interconectados en diferentes puntos, lo que facilita el monitoreo en tiempo real de las áreas de interés utilizando WSN [42]. Por el contrario, una configuración dispersa, se caracteriza por la distribución menos intensa de sensores para ahorrar costos. Sin embargo, los ahorros de costos implican una compensación con la precisión y la respuesta autónoma del sistema IoT; esto significa que es posible que no se capturen los datos clave. La perspectiva de Sharma et al. [42] con respecto a la precisión y la respuesta autónoma del sistema IoT, personifica las preocupaciones planteadas por diferentes partes interesadas sobre agricultura de precisión. Los

intentos de abordar estos problemas incluyeron modelos de promedio móvil integrado autorregresivo (ARIMA) para predecir y pronosticar anomalías relacionadas con la falla del sensor [44]. Alternativamente, los sensores obsoletos o defectuosos podrían repararse de forma semiautomática utilizando la innovación SensorTalk que integra la interfaz gráfica de usuario (GUI) AgriTalk y los dispositivos cibernéticos de calibración de temperatura [44]. La reparación autónoma y remota de sensores es una solución viable para los pequeños agricultores y las grandes explotaciones comerciales.

Investigación actual sobre IoT en invernaderos

Optimización de Sistemas IoT para Invernaderos Inteligentes y Agricultura Inteligente

Existe un amplio consenso entre los académicos de que la optimización de los sistemas IoT para invernaderos requiere una cuidadosa selección de sensores, adquisición de datos, optimización, determinación de la configuración deseada y control basado en reglas (ver figura 2) [35,36,45]. Teniendo en cuenta que las condiciones deben optimizarse para diferentes cultivos hortícolas, existe la necesidad de técnicas avanzadas para la adquisición de datos utilizando la predicción del filtro de Kalman y técnicas relacionadas; técnicas que pueden pronosticar condiciones ambientales futuras utilizando datos históricos. En realidad, la regulación de cada parámetro (temperatura, humedad, pH, pesticidas, humedad, radiación UV, lluvia, CO₂ y presión) en invernaderos inteligentes es un desafío [38, 46], especialmente en los casos en que no existen datos históricos adecuados.

Sensores basados en IoT para invernaderos inteligentes

En la actualidad, existen una amplia gama de sensores basados en IoT para invernaderos inteligentes, incluidos los sensores de crecimiento de plantas, sensores de temperatura y humedad, sensores de detección de insectos, sensores de temperatura del suelo, pH y humedad, y radiación solar, presión atmosférica, velocidad del viento y Sensores de CO₂ (y otros gases), que se basan en tecnologías Bragg, piezoeléctricas, electroquímicas, electromagnéticas [31] y de fibra óptica para una evaluación precisa de los parámetros deseados [47] (ver tabla 1).

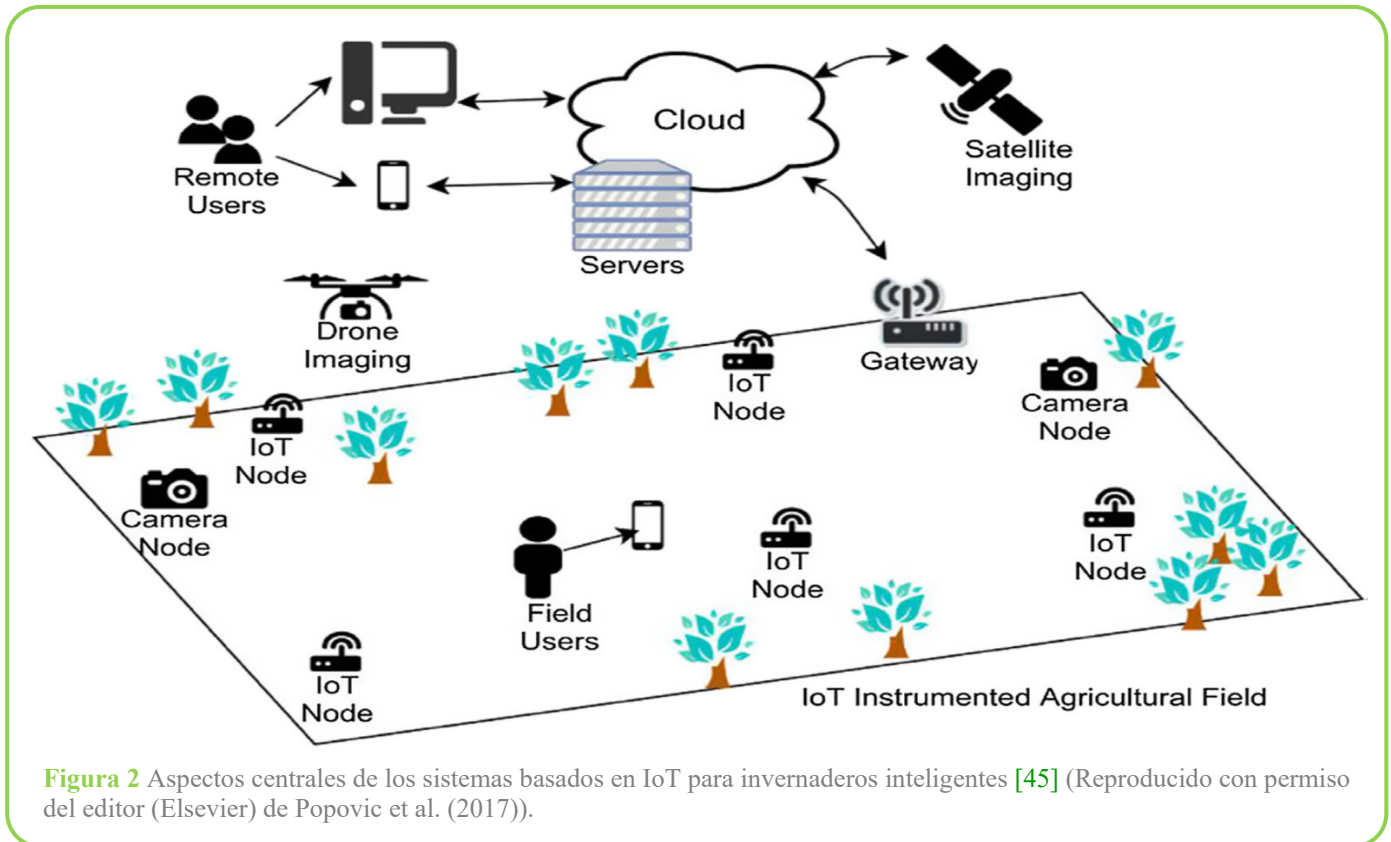


Figura 2 Aspectos centrales de los sistemas basados en IoT para invernaderos inteligentes [45] (Reproducido con permiso del editor (Elsevier) de Popovic et al. (2017)).

Tabla 1 Tipos comunes de sensores utilizados en invernaderos inteligentes [30]

	Aplicación de sensores	Modelos de sensores y fabricantes
Monitoreo del cultivo	Crecimiento vegetal	Cyber-shot DSC-QX100 (Sony Electronics Inc., Tokyo, Japan), Parrot Sequoia (MicaSense Inc., Seattle, WA, USA)
	Detección de insectos y enfermedades	FLIR Blackfly 23S6C (FLIR Systems, Wilsonville, OR, USA)
	Sensor del canopy activo	ACS-430, ACS-470 (Holland Scientific, Inc., Lincoln, NE, USA)
Monitoreo del sustrato	Temperatura del suelo; humedad del suelo	DS18B20 (Maxim Integrated, San Jose, CA, USA), VH400 (Vegetronix, Salt Lake City, UT, USA), HL-69, ECH2O-10HS (METER Group, Pullman, WA, USA)
	pH	E-201 (Shanghai REX Sensor Technology Co, Shanghai, China)
	Elementos químicos (nitrato, nitrógeno, etc.)	SEN0244 (DFROBOTS, Shanghai, China)
Monitoreo del ambiente	Temperatura del aire; humedad del aire; radiación solar	DHT11, DHT22 (AM2302, Aosong Electronics Co., Ltd., Guangzhou, China) SQ-110 (Apogee Instruments, Inc., Logan, UT, USA)
	Lluvia	YF-S402 (Graylogix, Bangalore, Karnataka, India), YL-83 (Vaisala Corp., Helsinki, Finland) SE-WS700D (Lufft Inc., Berlin, Germany)
	Luminosidad	BH1750 (Rohm Semiconductor, Kyoto, Japan), TSL2561 (Adafruit Industries, New York City, NY, USA)
	Presión atmosférica	MPL3115A2 (NXP Semiconductors, Eindhoven, The Netherlands)
	Dirección y velocidad del viento	WS-3000 (Ambient Weather, Chandler, AZ, USA), (SparkFun Electronics, Niwot, CO, USA)
	Concentración de CO ₂	MG-811 (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd., Zhengzhou, China), MQ135 (Waveshare Electronics, Shenzhen, China)
	Otro	Rastreo
	Localización	UM220-III (Unicore Communication Inc., Beijing, China)

Los parámetros de interés incluyen diferentes longitudes de onda de luz, fotocorriente, intensidad de fluorescencia, señal fluorescente emitida por la clorofila vegetal, densidad óptica y señal electroquímica generada por la reacción redox catalizada por enzimas (principio SHA) [1]. Los avances en la investigación y el diseño han dado como resultado el desarrollo de sensores electromagnéticos para analizar valores de clorofila y concentración de nitrógeno en plantas; este enfoque se basa en la reflectancia de la luz y los diodos láser pulsantes [31]. La técnica también demostró ser útil para medir la fisiología de la planta en tiempo real, incluido el índice vegetativo de la planta, los requisitos nutricionales, la conductividad eléctrica y la susceptibilidad y conductividad magnéticas (fase cuádruple) [31].

La regulación y el control de las condiciones ambientales en un invernadero son fundamentales teniendo en cuenta que el exceso de calor o humedad se traduce en daños a las plantas a gran escala. La temperatura ambiente ideal de la planta y la humedad relativa para el crecimiento óptimo de la planta fueron 35°C y 95%, respectivamente [39]. El exceso de temperatura y humedad son perjudiciales para el crecimiento óptimo de las plantas, ya que perjudican la polinización, la fotosíntesis, el crecimiento de las hojas y el rendimiento [41]. La optimización de estos parámetros en los invernaderos inteligentes se ve afectada en parte por la precisión limitada de los sensores disponibles. La precisión de los sensores seleccionados está limitada al 2-25% [48]. Estos bajos niveles de precisión podrían tener consecuencias desastrosas en la regulación de microclimas de invernadero, especialmente la mitigación de heladas [3, 49]. En otros casos, la precisión de los sensores IoT es del 99% [4]. Se lograron altos niveles de precisión con sensores inteligentes de barra que brindan información de monitoreo en vivo sobre la humedad y la temperatura del suelo. La información extraída de los sensores de los palos inteligentes se sincroniza con dispositivos inteligentes para obtener transmisiones en vivo sobre las variaciones en los parámetros físicos. Las observaciones realizadas por Rayhana et al. [4] sobre la alta precisión de los sensores inteligentes para invernaderos, estuvieron alineados con lo expuesto por Castañeda-Miranda et al. [49]. En este último caso, la precisión de los sensores para la supresión de heladas estuvo relacionada con la confiabilidad de la memoria asociativa difusa (FAM) y las redes neuronales artificiales (ANN) [49].

La temperatura interna en un invernadero se midió usando ANN, mientras que las temperaturas del suelo del cultivo, se analizaron usando fuzzy control, y esto resultó en la activación de la bomba de agua. Los datos experimentales confirmaron que el sistema IoT para la mitigación de heladas basado en ANN y FAM tenía una precisión superior al 90% en relación con el análisis estadístico de Fourier de los datos horarios [49]. La confiabilidad de los datos fue corroborada por medidas estadísticas inferenciales.

Una nueva investigación ha demostrado que era práctico mantener los altos niveles de precisión informados por Rayhana et al. [4] a través de la optimización de la resolución del sensor (cambios minúsculos en la señal de entrada que se pueden detectar) y la precisión (reproducibilidad de la misma salida con una entrada similar) utilizando técnicas de calibración automatizadas como la detección, identificación y acomodación de fallas del sensor (FDIA) en la tecnología SensorTalk [32]. Teniendo en cuenta que Rayhana et al. [4] y Castañeda-Miranda et al. [49] observaron que los sensores IoT lograron un rendimiento superior en la optimización del microclima del invernadero; la baja precisión reportada por Ryder et al. [48] podría atribuirse a las propiedades del sensor o al control deficiente de las variables externas. Estos inconvenientes se pueden compensar con el mantenimiento y la calibración del sistema con espectrofotómetros [1] y la personalización del sistema para adaptarse a las condiciones ambientales locales. Alternativamente, el despliegue continuo de la red 5G catalizaría la expansión de la infraestructura IoT y el despliegue de sensores avanzados con mayor precisión [37]. Desde otra perspectiva, la evidencia contradictoria sobre la precisión de los sensores documentada por Ryder et al. [48] y Wang et al. [1] plantean preguntas fundamentales sobre la confiabilidad de los sensores para aplicaciones agrícolas, lo que podría, a su vez, afectar la aceptación comercial de los sensores. El papel central de los datos de sensores precisos en la integración de datos de la plataforma IoT, la visualización en tiempo real y la creación de prototipos de aplicaciones, se ilustra en la figura 3.

Tras la crítica de varios argumentos relacionados con la confiabilidad de los sensores [50-53], el investigador señala que la precisión de los sensores de IoT en entornos agrícolas, estuvo influenciada por factores específicos de la aplicación y el contexto.

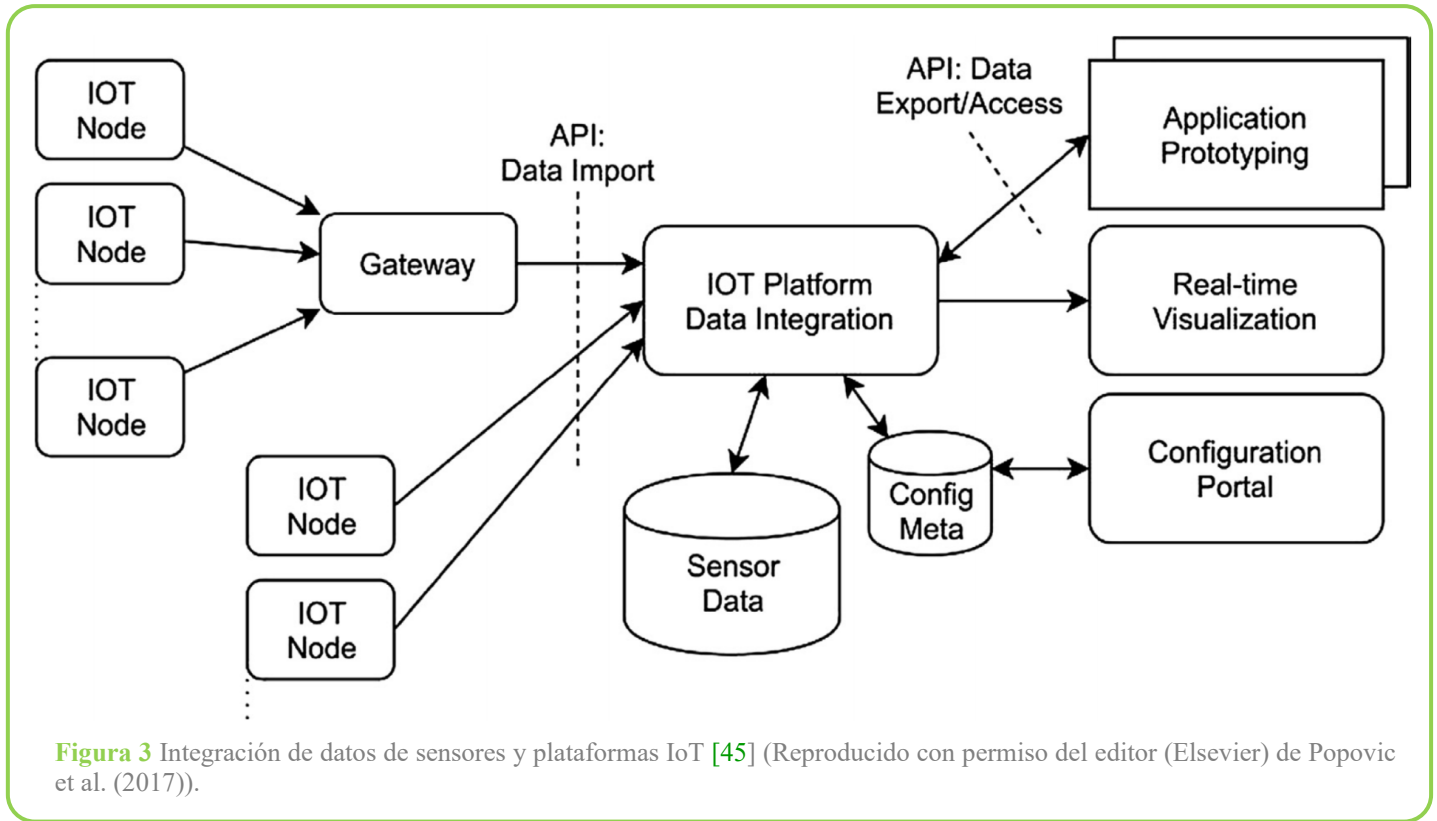


Figura 3 Integración de datos de sensores y plataformas IoT [45] (Reproducido con permiso del editor (Elsevier) de Popovic et al. (2017)).

La cosmovisión es corroborada por Wang et al. [1], quienes reportaron alta precisión en sensores diseñados para medir parámetros biológicos en granjas de microalgas. La alta precisión de los sensores se vinculó con una óptima configuración de diseño [1]. Por ejemplo, el posible efecto adverso asociado con la temperatura exterior y otras variables, se compensó con la integración de dispositivos de control de temperatura, incluido un diodo-fotodiodo láser de longitud de onda múltiple para la estimación de la concentración celular [1]. Esta última evidencia subraya la necesidad de elegir los tipos correctos de sensores y optimizar el rendimiento a través de la integración de láser de múltiples longitudes de onda, fotodiodos de diodo, biosensores de ARNr, chips microfluídicos con fotoelectroquímica mejorada con nanocavidades (nanopartículas de Cu y el electrodo de Cu) y chips multisonda [1].

La necesidad de optimizar el rendimiento de los sensores se valida por las implicaciones de costos asociados con los errores. Por ejemplo, los errores del sensor podrían resultar en un mayor uso de energía en la regulación del microclima del invernadero [54]. En casos aislados, los errores del sensor pueden tener un impacto beneficioso en el cultivo; una evaluación deficiente del contenido

nutricional de los cultivos podría traducirse en una aplicación excesiva de fertilizantes y micronutrientes, y esto se traduciría automáticamente en mejores rendimientos de los cultivos. Los beneficios inesperados asociados con los errores de los sensores se demostraron en un estudio de sensores agrícolas en invernaderos holandeses [54]. En realidad, es imperativo apreciar el hecho de que dichos beneficios suelen estar aislados. A pesar de la disponibilidad comercial de múltiples sensores, el proceso de selección está guiado por ciertas consideraciones como el costo, la precisión, los requisitos de energía, las propiedades del material, la funcionalidad en condiciones extremas (exceso de humedad y precipitación), la integración con diferentes componentes y tecnologías como redes neuronales y aprendizaje automático [31,55-67]. El rendimiento de diferentes clases de sensores en condiciones extremas se ha mejorado mediante el desarrollo de membranas de polímero para proteger los componentes del sensor de partículas contaminantes, polvo y agua, que pueden comprometer la precisión y el tiempo de respuesta [48]. Se han demostrado diseños de prueba de concepto para sensores alimentados por energía solar para invernaderos inteligentes. Saharaei et al [35] señaló que tales sensores eran adecuados para áreas remotas sin conexión a la red.

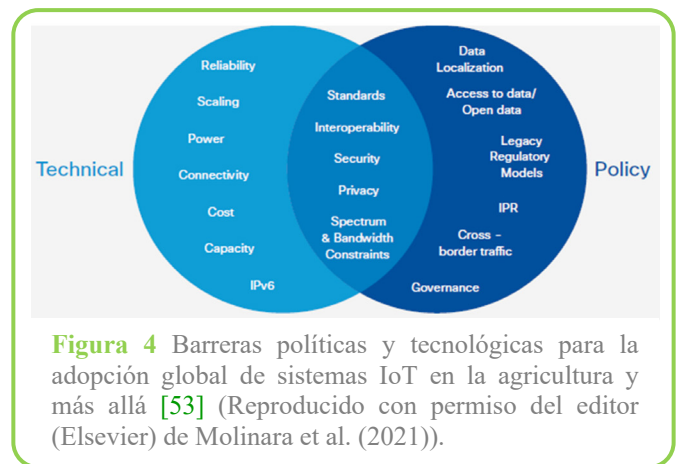
Más allá de la satisfacción de los requisitos energéticos inherentes, los sensores alimentados por energía fotovoltaica contribuyen a la autonomía energética y la miniaturización de los dispositivos inteligentes para invernaderos, lo que a su vez se traduce en un mejor ahorro de costes. Aunque las necesidades de energía se han resuelto mediante la adopción de sensores fotovoltaicos autónomos, como señalaron Sahraei et al. [35], abundan otros desafíos.

Los materiales emergentes como el grafeno han demostrado ser materiales ideales para sensores para aplicaciones agrícolas debido a su alta resistencia a la tracción, peso ligero, flexibilidad y respeto al medio ambiente [58]. Sin embargo, el uso generalizado se ve inhibido por la ausencia de métodos escalables para la síntesis comercial de los materiales [58,59]. Las reservas hacia los materiales novedosos se ven reforzadas por hechos empíricos y datos de mercado. A pesar del encomiable progreso realizado por las empresas emergentes en I+D de grafeno, se han presentado inconsistencias significativas en las propiedades de los materiales de grafeno producido a escala industrial frente al grafeno a escala de laboratorio [60]. La incapacidad de replicar y reproducir materiales de calidad sigue siendo un impedimento crítico más allá de los límites de los materiales y tecnologías emergentes. Existen varios inconvenientes que limitan la ubicación óptima de las notas de los sensores para una mejor cobertura y comunicación entre los sensores [42]. Los desafíos enumerados presentan consecuencias prácticas en los sensores de invernadero para el análisis del suelo y el agua. Aunque el progreso tecnológico ofrece soluciones prometedoras, la precisión de los sensores sigue siendo un desafío, ya que la precisión de los sensores se ve afectada por señales parásitas asociadas con la presión, la luz y la humedad [48]. Aunque la optimización de capas ofrece una solución práctica, no se ha explorado en detalle.

Barreras a la Comercialización de Tecnologías IoT para Invernaderos: Conectividad a Internet, Costo y Limitaciones Tecnológicas

El desarrollo de diferentes clases de sensores por parte de Unicore Communication, Ambient Weather, Chandler, NXP Semiconductors y Apogee Instruments, entre otros fabricantes [38], abre un camino hacia la comercialización de sistemas IoT para invernaderos. Sin embargo, se deben resolver las barreras clave para la aceptación de la tecnología. El informe de CISCO y la

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) clasificó las barreras en dominios políticos y técnicos (consulte la figura 4) [61]. La intersección de los dos dominios introdujo una tercera dimensión específica para las restricciones de espectro y ancho de banda, privacidad, seguridad, interoperabilidad y estándares. Por ejemplo, la tecnología de Internet 3G y 4G se rige por los estándares UMTS y CDMA 2000. Por el contrario, IEEE 802.11 e IEEE 802.15.4, regulan la operacionalización de las redes WiFi y LR-WPAN, respectivamente. Teniendo en cuenta que estas redes tienen diferentes frecuencias, velocidades de datos y requisitos de potencia [24], se convierte en un desafío para estandarizar la infraestructura de IoT en el sector agrícola.



Como señalaron CISCO y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) [61], la confiabilidad de los sistemas IoT fue un factor crítico. En la agricultura de invernadero, la fiabilidad se predijo mediante la precisión y fiabilidad de los sensores para evaluar el contenido de clorofila de la planta y la regulación rentable de las propiedades del suelo y la mejora del potencial de rendimiento [1,40,44]. En la actualidad, los sistemas de IoT para la agricultura se basan en tecnologías disponibles en otras industrias, como el posicionamiento GPS para la navegación de sistemas aéreos no tripulados, la espectroscopia de reflectancia y la detección de microondas para sensores agrícolas, pero las infraestructuras de IoT están distribuidas de manera desigual en países desarrollados y emergentes [62]; esto introduce nuevas restricciones en términos de espectro, ancho de banda, interoperabilidad y estándares [61]. Dado que las economías avanzadas tenían mejores mecanismos para superar las barreras a la aceptación de la tecnología, la comercialización de sistemas IoT en invernaderos era factible. En el lado negativo, la

implementación de IoT en países en desarrollo y áreas rurales, sigue siendo un desafío debido a los costos-beneficios asociados con la comercialización de infraestructuras de IoT, como lo señalaron Ruan et al. [65]. Las últimas observaciones fueron respaldadas por datos de la industria y la penetración de Internet [64]. Desde el comienzo de la revolución de Internet en la década de 1990 y principios de la de 2000, la comunidad mundial ha necesitado un período prolongado para construir infraestructuras de Internet estables. Sin embargo, para el cuarto trimestre de 2021, solo el 56% de la población mundial tenía acceso a Internet [63]; esto significa que la mitad de la población mundial no pudo desbloquear los beneficios de IoT en la agricultura de precisión. El desafío podría resolverse a largo plazo utilizando una constelación de órbita terrestre baja (LEO), que proporciona el potencial para la conectividad global a Internet con una latencia reducida [64]. Las empresas OneWeb y Starlink están en camino de brindar Internet de banda ancha de baja latencia y alta velocidad con una latencia baja que es ideal para áreas rurales y remotas [65,66]. Sin embargo, la implementación de LEO se ha retrasado y existen diversas preocupaciones sobre la adopción global.

Los desafíos tecnológicos tuvieron un impacto más profundo en los pequeños agricultores y las grandes corporaciones agrícolas en áreas rurales y naciones con bajas tasas (<25%) de conectividad a Internet, como Afganistán, Nepal, Pakistán, República Centroafricana y Turkmenistán [63]. El escaso desarrollo de la infraestructura de redes clave en estas regiones tiene consecuencias prácticas en el futuro de la producción agrícola en el país, dado que la agricultura tradicional ha seguido siendo el pilar de la República Centroafricana y otras naciones pobres. La agricultura representa casi la mitad (49%) del PIB de la República Centroafricana [67]. Ruán et al. [62] sugirieron que la expansión de la infraestructura IoT existente para aplicaciones agrícolas sería necesaria dado que las cargas y conexiones existentes no pueden ser suficientes. Sin embargo, La construcción de infraestructura IoT para agricultura de precisión en campo abierto sigue siendo un desafío debido al bajo retorno de inversión para entidades privadas y el gobierno. Ante la ausencia de suficientes incentivos económicos, no queda claro si los inversores estarían dispuestos a comprometer recursos significativos para el despliegue de infraestructuras IoT [63]. Los desafíos relacionados con la infraestructura se ven agravados por la necesidad de sensores precisos con capacidades avanzadas y la urgencia de resolver las

desventajas asociadas con varios protocolos de IoT, como Zigbee, Bluetooth Low Energy (BLE) y la red de área amplia de baja potencia (LPWAN) de Sigfox, entre otras redes. Las preocupaciones planteadas por Ruan et al. [62] y otros académicos sobre el costo y la distribución desigual de la infraestructura de IoT en todo el mundo pueden contrarrestarse con beneficios emergentes. Antonio et al. [37] afirmaron que existían beneficios directos asociados con el despliegue de infraestructuras IoT en granjas.

Desde la visión del mundo del investigador, garantizar que las redes IoT existentes sean compatibles con otros protocolos, abordar la interferencia de señales, la incompatibilidad con dispositivos de alta potencia y la falta de infraestructura de soporte en ciertos países requeriría importantes recursos financieros [37]. Se podría incentivar a las partes interesadas clave para que apoyen la expansión de la infraestructura a través de los beneficios demostrados. Estudios previos habían demostrado que la infraestructura IoT podría generar ahorros de costos de hasta 500 USD/acre por ciclo de cultivo con los sistemas de soporte de decisiones basados en datos meteorológicos y sensores de capacitancia eléctrica para predecir el momento óptimo para la aplicación de fungicidas, análisis del equilibrio suelo-agua y suelo-contenido de agua, riego de cultivos inteligente e impulsado por la demanda, y aplicación de fertilizantes en función de las necesidades de nitrógeno de la planta [37]. Este último ahorro de costos podría ayudar a compensar las barreras tecnológicas para el uso de IoT en invernaderos. La configuración y los sistemas centrales integrados en los dispositivos IoT para invernaderos muestran que la transición de sistemas manuales a autónomos requiere muchos recursos [35]; este hace que sea un desafío para las granjas comerciales iniciar la transición sin una prueba de concepto demostrada. El caso del uso intensivo de recursos de IoT y otros sistemas en agricultura comercial contrasta con Lara et al., quienes señalaron que era práctico desarrollar materiales inteligentes asequibles/de bajo costo para estructuras de invernadero; esto se logró en parte mediante la integración de sistemas avanzados como Wireless Sensor Red (WSN) integrada con tecnología 5G, WAN o WiFi, para una recopilación y transmisión de datos sin inconvenientes. Acumulativamente, se desarrolló con éxito un prototipo de IoT a un costo de 16 USD [29]; esto es loable considerando que el costo es un factor crítico en la producción agrícola.

Las observaciones realizadas por Lara et al [29] sobre la

disponibilidad de sensores de bajo costo para invernaderos fue corroborada por Placidi et al. [41], quienes señalaron que los recientes esfuerzos de investigación y desarrollo habían facilitado el desarrollo de dispositivos sensores de bajo costo capaces de transducir los parámetros físicos y el posprocesamiento de datos sin procesar para obtener información confiable y cumplir con las regulaciones existentes; “Se ha reducido el tamaño y el coste de los sensores, haciendo WSN, el principal impulsor de la agricultura de precisión”. No obstante, la supuesta reducción en el costo de la tecnología fue específica de la aplicación. Los recientes avances en I+D no se habían traducido hacia el desarrollo de sensores de bajo costo para monitorear el contenido de agua del suelo. Los sensores precisos del contenido de agua del suelo varían entre 150 USD y 5000 USD, según Placidi et al. [41]; esto excede el costo promedio estimado de un invernadero en países en desarrollo [27], y no es económico invertir en costosos sensores de contenido de agua en el suelo.

La última evidencia demuestra que la reducción de costos percibida fue específica del sensor; este desafío podría compensarse en parte mediante la investigación y la comercialización de las innovaciones existentes. Se demostraron los beneficios de costos específicos de la aplicación de la tecnología de sensores en un informe conjunto preparado por CISCO y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) sobre el aprovechamiento de IoT para el desarrollo sostenible global [61]. Los datos de comparación de costos se exponen en la tabla 2, donde queda en evidencia que los sensores con características técnicas avanzadas, como conectividad WiFi, eran costosos (>150 USD/sensor).

Otros temas fundamentales de interés incluyen la necesidad de alinear las prácticas agrícolas corporativas con los patrones globales para mejorar la relevancia comercial. Las principales partes interesadas de la industria, incluido Mordor Intelligence (2021), postularon que el crecimiento del mercado de invernaderos inteligentes se segmentaría en diferentes categorías (como sistemas de riego inteligentes, válvulas y bombas de agua, sensores y cámaras, sistemas de control, HVAC, luces LED y tecnologías hidropónicas/no hidropónicas) y geografías (la mayor parte del crecimiento se registraría en economías avanzadas como EE. UU., Canadá, Reino Unido, Francia, Alemania, India, China y Japón).

A pesar de que la segmentación de los invernaderos ha sido poco investigada en la investigación académica, proporciona bases convincentes para futuras investigaciones y el desarrollo de tecnologías inteligentes para invernaderos. En otros casos, el costo es una barrera menor para la adopción de IoT en invernaderos inteligentes en relación con las preocupaciones sobre la utilidad de la tecnología. Las reservas expresadas por los usuarios de nuevas tecnologías muestran que los sistemas basados en IoT deben superar las actitudes sociales hacia las tecnologías avanzadas en la agricultura. Las preocupaciones relacionadas con la tecnología entre los usuarios finales de las tecnologías podrían estar vinculadas a beneficios menos demostrados.

Agrovoltaica y Blockchain

La agrovoltaica es también una revolución tecnológica emergente relacionada con IoT que tiene aplicaciones promotoras en la producción sostenible de alimentos y energía. Los desarrollos emergentes incluyen la transmisión de luz y la vida útil prolongada mediante módulos fotovoltaicos plegables y paneles solares [16] y sistemas integrados de generación de energía eléctrica y térmica [68-70]. Un inconveniente clave es el nacimiento de los sistemas agrovoltaicos [71-73]. A partir de 2020, el único sistema agrovoltaico funcional estaba en Bélgica [73]. La novedad de la agrovoltaica es un factor limitante dadas las barreras para la adopción de nuevas tecnologías. Las últimas ideas extraídas de esta revisión tienen un significado práctico en la agricultura comercial. Además, se ha avanzado más en la comercialización de módulos fotovoltaicos y tejas solares en All-Russian Research Institute of Electrification of Agriculture [69].

Más allá de Rusia y Bélgica, se prevé que la demanda de agrovoltaicos crezca exponencialmente en línea con la transición a energías renovables en la agricultura. Más allá de la agrovoltaica, la integración de blockchain en sistemas basados en IoT para la agricultura es un área emergente que merece mayor atención en I+D [74,75]. El Blockchain ayudaría a mejorar la seguridad en los sistemas agrícolas y descentralizaría la generación y el uso de energía solar.

Tabla 2. Comparación de costos de diferentes tipos de sensores [49] (Reproducido con permiso del editor (Elsevier) de Castañeda-Miranda et al (2020))

Tipo de sensor	Costo aproximado en USD
Sensor WiFi de alta temperatura integrado	24
Sensor WiFi de humedad integrado	180
Sensor de fuerza de doble rango	110
Telémetro ultrasónico; sensor de CO ₂	100
Sensor de presión de gas	83
Detector de movimiento Vernier	75
Sensor de oxígeno	60
Sensor de velocidad del viento	45
Sensor de temperatura y humedad	42
Sensor de gas multicanal; sensor de nivel de líquido; humedad y temperatura del suelo; sensor de nivel de líquido; Sensor de ruptura de GPS; Módulo GPS portátil	40
Sensor G5de flujo de agua; Lector RFID; módulo sensor RFID; Telémetro ultrasónico Lite; Placa sensora de temperatura y humedad	30
Sensor de corriente CA de alto amperaje	12
Detector de sonido	11
Sensor táctil capacitivo; Sensor de carga (hasta 50 kg); sensor de calidad del aire; Receptor FM; Sonda de temperatura y humedad; Sensor barométrico y de temperatura; sensor de altitud; Índice UV digital/IR/Visible	10
Sensor de luz; sensor de luz de proximidad; medidor de flujo de líquido; Sensor de corriente del sensor de movimiento PIR; Sensor de movimiento PIR; sensor de colisión; Sensor HP de temperatura y humedad	9
Sensor de luz RGP; sensor de alcoholemia; Sensor de color RGB y filtro IR	8
Sensor de disparo infrarrojo; sensor de corriente CA; sensor de luz digital HDR; Amplificador de micrófono	7
Sensor de luminosidad; Sensor de volumen	6
Sensor reflectante de infrarrojos; Cápsula RFID; Sensor de luz ambiental; Sensor de humedad; sensor de sonido	5
Sensor de vibración; sensor de agua	3

Conclusiones

El cuerpo de conocimiento afirmó los beneficios prácticos y los límites de diferentes sensores IoT para la optimización del microclima del invernadero. El progreso actual en la investigación ha demostrado que era factible monitorear de forma remota el contenido nutricional del suelo, agua/humedad y temperatura, y fisiología vegetal en tiempo real (índice vegetativo, requisitos nutricionales, conductividad eléctrica y la

susceptibilidad magnética) utilizando sensores avanzados que cuentan con tecnologías Bragg, piezoeléctricas, electroquímicas, electromagnéticas y de fibra óptica. Los recientes avances tecnológicos han contribuido al desarrollo de sensores avanzados hechos de materiales de grafeno, diodos-fotodiodos láser de múltiples longitudes de onda, biosensores de ARNr, chips multisonda y chips de microfluidos con fotoelectroquímica mejorada con nanocavidades (nanopartículas de Cu y electrodos de Cu). Por el lado negativo, abundan ciertos desafíos que incluyen la precisión variable. Por un lado, había sensores de invernaderos altamente confiables para aplicaciones comerciales. Dichos sensores se habían traducido en mejoras significativas en el rendimiento de los cultivos y ahorros de costos a través de los sistemas de soporte de decisiones basados en datos que brindaban alertas sobre cuándo era más apropiado aplicar fertilizantes, fungicidas y pesticidas e irrigar cultivos que requerían menos agua para un crecimiento óptimo.

Los datos preliminares extraídos de estudios publicados sugieren que fue posible lograr ahorros de hasta 500 USD por acre cultivado. Teniendo en cuenta que los costos se basaron en un caso de estudio aislado, los ahorros acumulados podrían ser mayores o menores según los cultivos, el tipo de sensores y el nivel de inversión en sistemas de apoyo a la toma de decisiones basados en datos. Por otro lado, había una clase de sensores con baja precisión de 2 al 25%, que era inadecuada. La baja precisión de los sensores fue una barrera crítica para la comercialización de sensores IoT, y el problema se amplificó por el progreso limitado realizado en el desarrollo de sensores ultrasensibles y la disponibilidad desigual de infraestructura IoT en países emergentes y desarrollados, y la falta de incentivos suficientes para facilitar las inversiones en tecnología en áreas rurales. Por ejemplo, la conexión a Internet en los países pobres/de ingresos medios-bajos de Asia y África estaba por debajo del 25 %, por lo que no era práctico para los inversores privados instalar sistemas IoT en invernaderos inteligentes. Los desafíos relacionados con la innovación podrían resolverse a través de I+D. Sin embargo, no hubo una solución inmediata a los desafíos de infraestructura de TIC en las naciones emergentes. A la luz de la brecha digital, la aplicación de Internet de las cosas para entornos de invernadero optimizados seguiría siendo un coto exclusivo de las naciones desarrolladas con recursos avanzados; esto es evidente a partir de la inversión en tecnologías de invernadero en Grecia, Arabia Saudita, Europa y América del Norte. Las

inversiones desiguales en invernaderos inteligentes tendrían implicaciones a largo plazo en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola en estas regiones, considerando que el calentamiento global y el cambio climático, se traducen en una inflación en el costo de los productos agrícolas. La inflación se atribuyó a la inflación en el costo de los productos agrícolas y eventos climáticos severos inesperados.

Limitaciones

Los sistemas IoT para la optimización de los microclimas de los invernaderos son diversos. Por ejemplo, los sensores basados en tecnologías de fibra óptica o diodo-fotodiodo láser de múltiples longitudes de onda, biosensores de ARN, chips microfluídicos con fotoelectroquímica mejorada con nanocavidad (nanopartículas de Cu y el electrodo de Cu) o sensores basados en grafeno ofrecen ventajas e inconvenientes distintos en comparación con Bragg, los sensores piezoeléctricos, electroquímicos y electromagnéticos dependiendo de los parámetros a medir, la influencia de variables externas y los cultivos bajo cultivo. El discurso actual no revisó exhaustivamente cada clase de sensor, dado que el enfoque principal estaba en la aplicación de IoT para entornos de invernadero optimizados y microclimas para la producción de cultivos. El alcance de la discusión se limitó a los temas dominantes en la literatura. El discurso actual sobre la agricultura de precisión se centra en la computación en la nube, IoT y otras tecnologías para la agricultura de precisión [40] y las aplicaciones comercialmente viables son nuevas, caras o mal adaptadas a las condiciones semiáridas. El alto costo de la aplicación de IoT en la optimización del microclima del invernadero impidió la comercialización de la tecnología por parte de los pequeños agricultores.

Perspectivas a futuro

Aunque se presentaron diversos desafíos y barreras para el despliegue de sensores y sistemas IoT e invernaderos inteligentes, el progreso en I+D se traduciría en la disponibilidad generalizada de sensores precisos y de bajo costo para el monitoreo del agua, la nutrición del suelo, la temperatura y la humedad. La perspectiva positiva está respaldada por el desarrollo del grafeno (un material con alta resistencia a la tracción, peso ligero, flexibilidad y compatibilidad ecológica), biosensores de ARNr de alta precisión y chips de microfluidos con fotoelectroquímica mejorada con nanocavidades. Sin

embargo, no está claro si las tecnologías futuras ayudarían a reducir el costo de los sensores con mayor funcionalidad (como la interoperabilidad de soluciones, implementación a escala industrial, implementación a largo plazo y mediciones exactas y precisas). En la actualidad, la inclusión de tales capacidades en los sensores cuesta 1000 USD o más en un sensor [61]. Las tecnologías emergentes, como la constelación LEO, ayudarían a proporcionar cobertura global de Internet de banda ancha en errores remotos, eliminando así las barreras de capital e infraestructura para la adopción masiva de IoT en la agricultura comercial.

Consentimiento para publicación

los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran no poseer ningún tipo de conflicto de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no de las instituciones a las cuales pertenecen.

Perfil de autoría

Chrysanthos Maraveas

El Dr. Maraveas obtuvo su PhD en Ingeniería Civil de la Universidad de Manchester, Reino Unido, en 2015; MSc. en Ingeniería del Imperial College de Londres, Reino Unido, de la Universidad de Swansea, Reino Unido, y de la Universidad Demócrito de Tracia, Grecia. Fue investigador posdoctoral en la Universidad de Lieja y la Universidad de Patras. Cuenta con una experiencia de más de 20 años como consultor de ingeniería estructural y director técnico de infraestructuras. Es miembro de la Institución de Ingenieros Civiles del Reino Unido e ingeniero del colegiado en Grecia y el Reino Unido. Es profesor asistente en el Departamento de Recursos Naturales e Ingeniería Agrícola de la Universidad Agrícola de Atenas.



Thomas Bartzanas

Profesor Asociado y Director del Laboratorio de Estructuras Agrícolas en la Universidad Agrícola de Atenas (AUA) en Grecia e Investigador colaborador en el Instituto de Bioeconomía y Agrotecnología (IBO) del Centro de Investigación y Tecnología-Hellas (CERTH). Su área de investigación se centra en sistemas agrícolas de ambiente controlado (cultivos y ganadería), análisis y modelado de sistemas en agricultura y evaluación de impacto ambiental de sistemas agrícolas utilizando el enfoque del ciclo de vida. Actúa actualmente como presidente en la acción COST de LivAge que se ocupa de las emisiones para edificios de ganado y vicepresidente y representante de organizaciones académicas/de investigación en la plataforma tecnológica Food for Life en Grecia coordinada por la Federación de industrias alimentarias griegas (SEVT).



Referencias

- [1] Wang, K.; Shiong Khoo, K.; Leong, H.Y.; Nagarajan, D.; Chew, K.W.; Ting, H.Y.; Selvarajoo, A.; Chang, J.-S.; Show, P.L. How does the Internet of Things (IoT) help in microalgae biorefinery? *Biotechnol. Adv.* 2021, 107819. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107819>
- [2] Lova Raju, K.; Vijayaraghavan, V. IoT Technologies in Agricultural Environment: A Survey. *Wirel. Pers. Commun.* 2020, 113, 2415–2446. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07334-x>
- [3] Castañeda-Miranda, A.; Castaño-Meneses, V.M. Internet of things for smart farming and frost intelligent control in greenhouses. *Comput. Electron. Agric.* 2020, 176, 105614. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105614>
- [4] Rayhana, R.; Xiao, G.; Liu, Z. Internet of Things Empowered Smart Greenhouse Farming. *IEEE J. Radio Freq. Identif.* 2020, 4, 195–211. <https://doi.org/10.1109/JRFID.2020.2984391>
- [5] Zhang, Y.; Geng, P.; Sivaparthipan, C.B.; Muthu, B.A. Big data and artificial intelligence based early risk warning system of fire hazard for smart cities. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 2021, 45, 100986. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100986>
- [6] Raj, M.; Gupta, S.; Chamola, V.; Elhence, A.; Garg, T.; Atiqzaman, M.; Niyato, D. A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0. *J. Netw. Comput. Appl.* 2021, 187, 103107. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103107>
- [7] Sagheer, A.; Mohammed, M.; Riad, K.; Alhajhoj, M. A Cloud-Based IoT Platform for Precision Control of Soilless Greenhouse Cultivation. *Sensors* 2020, 21, 223. <https://doi.org/10.3390/s21010223>
- [8] Allam, Z.; Dhunny, Z.A. On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities* 2019, 89, 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.032>
- [9] Ullah, Z.; Al-Turjman, F.; Mostarda, L.; Gagliardi, R. Applications of Artificial Intelligence and Machine learning in smart cities. *Comput. Commun.* 2020, 154, 313–323. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.069>
- [10] Gai, H.; Beath, J.; Fang, J.; Lou, H.H. Alternative emission monitoring technologies and industrial internet of things-based process monitoring technologies for achieving operational excellence. *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* 2020, 23, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.04.009>
- [11] Sahraei, N.; Watson, S.; Sofia, S.; Pennes, A.; Buonassisi, T.; Peters, I.M. Persistent and adaptive power system for solar powered sensors of Internet of Things (IoT). *Energy Procedia* 2017, 143, 739–741. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.755>
- [12] Agrawal, H.; Prieto, J.; Ramos, C.; Corchado, J.M. Smart feeding in farming through IoT in silos. *Adv. Intell. Syst. Comput.* 2016, 530, 355–366. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47952-1_28
- [13] Singh, R.K.; Berkvens, R.; Weyn, M. Energy Efficient Wireless Communication for IoT Enabled Greenhouses. In Proceedings of the 2020 International Conference on COMMunication Systems & NETWORKS (COMSNETS), Bengaluru, India, 7–11 January 2020; 2020, pp. 885–887.
- [14] Chiesa, G.; Di Vita, D.; Ghadirzadeh, A.; Muñoz Herrera, A.H.; Leon Rodriguez, J.C. A fuzzy-logic IoT lighting and shading control system for smart buildings. *Autom. Constr.* 2020, 120, 103397. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103397>
- [15] Syafarinda, Y.; Akhadin, F.; Fitri, Z.E.; Yogiswara Widiawan, B.; Rosdiana, E. The Precision Agriculture Based on Wireless Sensor Network with MQTT Protocol. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2018, 207, 012059. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/207/1/012059>
- [16] Bo, Y.; Wang, H. The application of cloud computing and the internet of things in agriculture and forestry. In Proceedings of the 2011 International Joint Conference on Service Sciences, Taipei, Taiwan, 25–27 May 2011; Volume 2011, pp. 168–172.
- [17] Patil, V.C.; Al-Gaadi, K.A.; Biradar, D.P.; Rangaswamy, M. Internet of Things (IoT) and Cloud Computing for Agriculture: An Overview. In Proceedings of the Agro-Informatics and Precision Agriculture (AIPA 2012), Raichur, India; 2012; pp. 292–296.
- [18] Rojas, A. Smart Agriculture IoT with Cloud Computing. *Rev. Hist. América* 2015, 29, 37–66.
- [19] Choudhary, S.; Jadoun, R.; Mandoriya, H. Role of Cloud Computing Technology in Agriculture Fields. *Computing* 2016, 7, 1–7.
- [20] Ferkoun, M. Cloud computing helps agriculture industry grow, IBM. 2015. <https://www.ibm.com/blogs/cloud-computing/2015/01/23/cloud-computing-helps-agriculture-industry-grow/>
- [21] Zhang, X.; Cao, Z.; Dong, W. Overview of Edge Computing in the Agricultural Internet of Things: Key Technologies, Applications, Challenges. *IEEE Access* 2020, 8, 141748–141761. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3013005>
- [22] Akhtar, M.N.; Shaikh, A.J.; Khan, A.; Awais, H.; Bakar, E.A.; Othman, A.R. Smart sensing with edge computing in precision agriculture for soil assessment and heavy metal monitoring: A review. *Agriculture* 2021, 11, 475. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060475>
- [23] O’Grady, M.J.; Langton, D.; O’Hare, G.M.P. Edge computing: A tractable model for smart agriculture? *Artif. Intell. Agric.* 2019, 3, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.iiia.2019.12.001>
- [24] Villa-Henriksen, A.; Edwards, G.T.C.; Pesonen, L.A.; Green, O.; Sørensen, C.A.G. Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential. *Biosyst. Eng.* 2020, 191, 60–84. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.013>
- [25] Madushanki, A.A.R.; Halgamuge, M.N.; Wirasagoda, W.A.H.S.; Syed, A. Adoption of the Internet of Things (IoT) in agriculture and smart farming towards urban greening: A review. *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.* 2019, 10, 11–28. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100402>
- [26] US Environmental Protection Agency, Climate Impacts on Agriculture and Food Supply. 2020. https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-agriculture-and-food-supply_.html
- [27] Pack, M.; Mehta, K. Design of affordable greenhouses for East Africa. In Proceedings of the 2012 IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Seattle, WA, USA, 21–24 October 2012; Volume 2012, pp. 104–110.
- [28] Kavga, A.; Thomopoulos, V.; Barouchas, P.; Stefanakis, N.; Liopa-Tsakalidi, A. Research on innovative training on smart greenhouse technologies for economic and environmental sustainability. *Sustainability* 2021, 13, 10536. <https://doi.org/10.3390/su131910536>
- [29] Lara, J.C.D.; Francisco, G.; Rodríguez, S. Low Cost Greenhouse Monitoring System Based on Internet of Things. In Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV), Boca del

Rio, Mexico, 14–17 October 2019; pp. 1–10.

- [30] Intergovernmental Panel on Climate Change, Food Security. 2020. <https://www.ipcc.ch/srcl/chapter/chapter-5/>.
- [31] Ratnaparkhi, S.; Khan, S.; Arya, C.; Khapre, S.; Singh, P. Smart agriculture sensors in IOT: A review. *Mater. Today Proc.* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.138>
- [32] Gross, E.M.; Lahkar, B.P.; Subedi, N.; Nyirenda, V.R.; Lichtenfeld, L.L.; Jakoby, O. Seasonality, crop type and crop phenology influence crop damage by wildlife herbivores in Africa and Asia. *Biodivers. Conserv.* 2018, 27, 2029–2050. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1523-0>
- [33] Conover, M.R.; Butikofer, E.; Decker, D.J. “Wildlife damage to crops: Perceptions of agricultural and wildlife leaders in 1957, 1987, and 2017. *Wildl. Soc. Bull.* 2018, 42, 551–558. <https://doi.org/10.1002/wsb.930>
- [34] Saiz-rubio, V. From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy* 2020, 10, 207. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- [35] Khudoyberdiyev, A.; Ullah, I.; Kim, D. Optimization-assisted water supplement mechanism with energy efficiency in IoT based greenhouse. *J. Intell. Fuzzy Syst.* 2021, 40, 10163–10182. <https://doi.org/10.3233/JIFS-200618>
- [36] Ullah, I.; Fayaz, M.; Aman, M.; Kim, D.H. An optimization scheme for IoT based smart greenhouse climate control with efficient energy consumption. *Computing* 2021, 1–25. <https://doi.org/10.1007/s00607-021-00963-5>
- [37] Antony, A.P.; Leith, K.; Jolley, C.; Lu, J.; Sweeney, D.J. A review of practice and implementation of the internet of things (IoT) for smallholder agriculture. *Sustainability* 2020, 12, 3750. <https://doi.org/10.3390/su12093750>
- [38] Miller, M.A.; Cappuccio, F.P. “A systematic review of COVID-19 and obstructive sleep apnoea. *Sleep Med. Rev.* 2021, 55, 101382. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2020.101382>
- [39] Agrawal, N.; Katna, R. Applications of Computing, Automation and Wireless Systems in Electrical Engineering; Springer: Singapore, 2019; Volume 553.
- [40] Zamora-Izquierdo, M.A.; Marti, J.A.; Skarmeta, A.F. Intelligent Systems for Environmental Applications Smart farming IoT platform based on edge and cloud computing. *Biosyst. Eng.* 2018, 177, 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.014>
- [41] Placidi, P.; Morbidelli, R.; Fortunati, D.; Papini, N.; Gobbi, F.; Scorzoni, A. Monitoring soil and ambient parameters in the IoT precision agriculture scenario: An original modeling approach dedicated to low-cost soil water content sensors. *Sensors* 2021, 21, 5110. <https://doi.org/10.3390/s21155110>
- [42] Sharma, A.; Singh, P.K.; Kumar, Y. An integrated fire detection system using IoT and image processing technique for smart cities. *Sustain. Cities Soc.* 2020, 61, 102332. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102332>
- [43] Terlau, W.; Hirsch, D.; Blanke, M. Smallholder farmers as a backbone for the implementation of the Sustainable Development Goals. *Sustain. Dev.* 2019, 27, 523–529. <https://doi.org/10.1002/sd.1907>
- [44] Lin, Y.; Lin, Y.; Lin, J.; Hung, H. SensorTalk: An IoT device failure detection and calibration mechanism for smart farming. *Sensors* 2019, 19, 4788. <https://doi.org/10.3390/s19214788>
- [45] Popović, T.; Latinović, N.; Pešić, A.; Zečević, Ž.; Krstajić, B.; Djukanović, S. Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study. *Comput. Electron. Agric.* 2017, 140, 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.008>
- [46] Navarro, E.; Costa, N.; Pereira, A. A systematic review of IoT solutions for smart farming. *Sensors* 2020, 15, 4231. <https://doi.org/10.3390/s20154231>
- [47] Maraveas, C.; Bartzanas, T. Sensors for structural health monitoring of agricultural structures. *Sensors* 2021, 21, 314. <https://doi.org/10.3390/s21010314>
- [48] Ryder, N.L.; Geiman, J.A.; Weckman, E.J. Hierarchical Temporal Memory Continuous Learning Algorithms for Fire State Determination. *Fire Technol.* 2021, 57, 2905–2928. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01055-0>
- [49] Castañeda-Miranda, A.; Castaño-Meneses, V.M. Smart frost measurement for anti-disaster intelligent control in greenhouses via embedding IoT and hybrid AI methods. *Measurement* 2020, 164, 108043. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108043>
- [50] Teymori-omran, M.; Motevali, A.; Reza, S.; Seyedi, M.; Montazeri, M. Numerical simulation and experimental validation of a photovoltaic thermal system: Performance comparison inside and outside greenhouse. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 2021, 46, 101271. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101271>
- [51] Ruan, J.; Hu, X.; Huo, X.; Shi, Y.; Chan, F.T.S.; Wang, X.; Mastorakis, G.; Mavromoustakis, C.X.; Zhao, X. “An IoT-based E-business model of intelligent vegetable greenhouses and its key operations management issues. *Neural Comput. Appl.* 2020, 32, 15341–15356. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04123-x>
- [52] Dahlgvist, M.; Nilsson-Hedman, T. Self-Aligning Solar Panel: Construction of a self-aligning platform for solar panels. 2015. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:916222/FULLTEXT01.pdf>.
- [53] Molinara, M.; Bria, A.; De Vito, S.; Marrocco, C. Artificial intelligence for distributed smart systems. *Pattern Recognit. Lett.* 2021, 142, 48–50. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.12.006>
- [54] Bontsema, J.; Van Henten, E.J.; Gieling, T.H.; Swinkels, G.L.A.M. The effect of sensor errors on production and energy consumption in greenhouse horticulture. *Comput. Electron. Agric.* 2011, 79, 63–66. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.08.008>
- [55] Mtz-Enriqueza, A.I.; Padmasreea, K.P.; Olivab, A.I.; Gomez-Solisc, C.; Coutino-Gonzalezd, E.; Garciae, C.R.; Esparzaf, D.; Olivag, J. Tailoring the detection sensitivity of graphene based flexible smoke sensors by decorating with ceramic microparticles. *Sens. Actuators B Chem.* 2020, 305, 127466. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127466>
- [56] Wan, X.; Zhang, F.; Liu, Y.; Leng, J. CNT-based electro-responsive shape memory functionalized 3D printed nanocomposites for liquid sensors. *Carbon* 2019, 155, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.08.047>
- [57] Shamshiri, R.R.; Hameed, I.A.; Thorp, K.R.; Balasundram, S.K.; Shafian, S.; Fatemeh, M.; Sultan, M.; Mahns, B.; Samiei, S. Greenhouse Automation Using Wireless Sensors and IoT Instruments Integrated with Artificial Intelligence. In Next-Generation Greenhouses for Food Security; Intechopen: London, UK, 2020; pp. 1–20.
- [58] Ren, W.; Cheng, H.-M. The global growth of graphene. *Nat. Nanotechnol.* 2014, 9, 726–730. <https://doi.org/10.1038/nnano.2014.229>
- [59] Zhong, Y.L.; Tian, Z.; Simon, G.P.; Li, D. Scalable production of graphene via wet chemistry: Progress and challenges. *Mater. Today* 2015, 18, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.matod.2014.08.019>

- [60] Deng, B.; Liu, Z.; Peng, H. Toward Mass Production of CVD Graphene Films. *Adv. Mater.* 2019, 31, 1800996. <https://doi.org/10.1002/adma.201800996>
- [61] Cisco and the International Telecommunication Union (ITU), Harnessing the Internet of Things for Global Development. 2015. [Internet]. <https://www.itu.int/en/action/broadband/Documents/Harnessing-IoT-Global-Development.pdf>
- [62] Ruan, J.; Jiang, H.; Zhu, C.; Hu, X.; Shi, Y.; Liu, T.; Rao, W.; Chan, F.T.S. Agriculture IoT: Emerging Trends, Cooperation Networks, and Outlook. *IEEE Wirel. Commun.* 2019, 26, 56–63. <https://doi.org/10.1109/MWC.001.1900096>
- [63] World Bank. Individuals Using the internet (% of population); World Bank: Washington, DC, USA, 2020. [Internet]. <https://data.worldbank.org/indicator/IT.NET.USER.ZS>. <https://doi.org/10.1051/nss/2015034>
- [64] Goedde, L.; Katz, J.; Ménard, A.; Revellat, J. “Agriculture’s Connected Future: How Technology can Yield New Growth,” McKinsey and Company. 2020. [Internet]. <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agriculturesconnected-future-how-technology-can-yield-new-growth>
- [65] OneWeb. Connect with Confidence. 2021. [Internet]. <https://oneweb.net/our-markets>
- [66] Starlink. High-Speed, Low Latency Broadband Internet. 2020. [Internet]. <https://www.starlink.com/>
- [67] Sinha, A.; Shrivastava, G.; Kumar, P. Architecting user-centric internet of things for smart agriculture. *Sustain. Comput. Inform. Syst.* 2019, 23, 88–102. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2019.07.001>
- [68] Mordor Intelligence. Smart Greenhouse Market—Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021—2026). 2021. [Internet]. <https://www.researchandmarkets.com/reports/4472754/global-smart-homes-market-growth-trends-covid>
- [69] Panchenko, V.; Izmailov, A.; Kharchenko, V.; Lobachevskiy, Y. Photovoltaic Solar Modules of Different Types and Designs for Energy Supply. *Int. J. Energy Optim. Eng.* 2020, 9, 74–94. <https://doi.org/10.4018/IJEOE.2020040106>
- [70] Kharchenko, V.; Panchenko, V.; Tikhonov, P.V.; Vasant, P. Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply. In Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2018.
- [71] Jain, P.; Raina, G.; Sinha, S.; Malik, P.; Mathur, S. Agrovoltatics: Step towards sustainable energy-food combination. *Bioresour Technol. Rep.* 2021, 15, 100766. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100766>
- [72] Schindele, S.; Trommsdorff, M.; Schlaak, A.; Obergfell, T.; Bopp, G.; Reise, C.; Braun, C.; Weselek, A.; Bauerle, A.; Högy, P.; et al. Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Appl. Energy* 2020, 265, 114737. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737>
- [73] Willockx, B. Combining photovoltaic modules and food crops: First agrovoltatic prototype in Belgium. *Eur Assoc Dev Renew Energies Environ Power Qual* 2020, 18. <https://doi.org/10.24084/repqj18.291>
- [74] Caro, M.P.; Ali, M.S.; Vecchio, M.; Giaffreda, R. Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. In Proceedings of the 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture—Tuscany (IOT Tuscany), Tuscany, Italy, 8–9 May 2018; pp. 1–4.
- [75] Ferrag, M.A.; Shu, L.; Yang, X.; Derhab, A.; Maglaras, L. Security and Privacy for Green IoT-Based Agriculture: Review, Blockchain Solutions, and Challenges. *IEEE Access* 2020, 8, 32031–32053. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2973178>

Phytochemical prospecting and cytotoxicity assays of potential bioproducts to control parasites in *Colossoma macropomum* Cuvier

Prospección fitoquímica y ensayos de citotoxicidad de bioproductos potenciales para el control de parásitos en *Colossoma macropomum* Cuvier

Érica Eloy Silva , Rodrigo Vieira Alves Amaral† , Weder Carlos de Souza Tomicha ,
Ricardo Henrique Bastos de Souza , Raul Dirceu Pazdiora  and Creuci Maria Caetano 

Open Access

Correspondence:

rodrigo.amaral@unir.br
Department of Fishing and
Aquaculture Engineering (DEPA),
Federal University of Rondônia,
Presidente Médici campus (UNIR-
PM), Brazil.

First draft submitted:
13-12-2021
Accepted for publication:
07-09-2022
Published on line:
01-12-2022

Key words:

Amazonian fish; *Artemia salina*; herbal medicines; nauplii; Tambaqui.

Palabras clave:

Artemia salina; hierbas medicinales; nauplios; peces amazónicos; Tambaqui.

Citation:

Silva EE, Amaral RVA, Tomicha WC, Bastos RH, Pazdiora RD, Caetano CM. Phytochemical prospecting and cytotoxicity assays of potential bioproducts to control parasites in *Colossoma macropomum* Cuvier. *Magna Scientia UCEVA* 2022;2:2 276-284. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a12>

Abstract

With the aim of determining economic and environmental alternatives that support fish farming in the State of Rondônia, a phytochemical prospection of genetic resources of the Rondônia flora was carried out. Subsequently, cytotoxicity assays against *Artemia salina* L. nauplii, thus observing those herbal medicines supposedly with greater potential to control parasites in fish, with emphasis on Tambaqui (*C. macropomum*). With regard to cytotoxicity assays, at least four herbal medicines showed a high potential, reaching values of 100% mortality of microcrustaceans, for the tested concentrations. They were extracted from *Chenopodium ambrosioides* (herb of Santa Maria or mastruz), *Crotalaria* cf. *micans* (maraca), *Davilla* sp. (fire vine, sp. 1) and *Duranta* sp. (during). The bioprospecting of RFG is also positioned as a conservation strategy.

Resumen

Con el objetivo de determinar alternativas económicas y ambientales que apoyen la piscicultura en el Estado de Rondônia, se realizó una prospección fitoquímica de los recursos genéticos de la flora de Rondônia. Posteriormente, se realizaron ensayos de citotoxicidad contra *Artemia salina* L. nauplii, observándose así aquellas medicinas herbolarias supuestamente con mayor potencial para el control de parásitos en peces, con énfasis en Tambaqui (*C. macropomum*). En cuanto a los ensayos de citotoxicidad, al menos cuatro fitoterápicos mostraron un alto potencial, alcanzando valores del 100% de mortalidad de microcrustáceos, para las concentraciones ensayadas. Se extrajeron de *Chenopodium ambrosioides* (hierba de Santa María o Mastruz), *Crotalaria* cf. *micans* (maraca), *Davilla* sp. (vid de fuego, sp. 1) y *Duranta* sp. (durante). La bioprospección de RFG también se posiciona como una estrategia de conservación.



Introduction

Fishing is of great importance for the planet's food security, but it has been insufficient to meet world demand. Some fish stocks are at risk of depletion, particularly those of species of great economic value [1,2]. Thus, cultivation appears as an opportunity to meet these needs, becoming an important source of quality animal protein for human consumption.

However, any animal production enterprise is susceptible, regardless of the cultivation conditions, to the occurrence of problems related to health. Specifically, for the case of fish, there are many risks of infections, since pathogens are characterized by their opportunism, constituting a gateway to secondary infections with high mortalities and loss of the entire squad [3]. This picture is also present in the state of Rondônia, where despite leading the ranking in the production of Amazonian fish (especially Tambaqui) and the third place when analyzing the production of farmed fish, according to the Anuário PEIXE BR 2021, studies related to health in fish farming are incipient, mainly diseases and parasites [4], both on causal agents, predisposing agents and pathological aspects, as well as the development of protocols that establish the experimental infestation of the main parasites that affect fish species.

Considering that there are gaps related to ways of controlling infestations caused by *Perulaernea gamitanae* and *Neoechinorhynchus buttnerae* [5], economically important due to their impact on fish farming in Rondônia, especially Tambaqui [6,7], as well as the lack of knowledge about natural products of plant origin with antiparasitic potential, it is necessary to survey RFG (phytogenetic resources), phytochemical prospecting and evidence of associated cytotoxicity and efficacy.

Alternative products (herbal medicines, bioproducts) are a viable solution, as their use as an antiparasitic can: i) drastically reduce the use of chemotherapeutics and antimicrobials in fish farming, reducing production costs; ii) eradicate present parasites; iii) prevent the emergence of parasites and bacteria resistant to commonly used products, and also iv) minimize negative impacts on the environment [8,9].

Therefore, the aim of this research was to obtain extracts of species from the Rondônia flora with antiparasitic potential mainly for fish, which, once used, could

reposition the state of Rondônia as a major producer of native fish at the national level, in the near future.

Methods

After each collection excursion (2021,2022) the materials were sent to the Animal Production Laboratory on the campus of the Federal University of Rondônia, located at Rua da Paz, 4376, Lino Alves Teixeira neighborhood, in the city of Presidente Médici, Brazil. In the laboratory, the plant samples were weighed, washed in running water and subjected to pre-drying at a temperature of 55°C for 96 hours in a ventilated oven. After this period, the samples were crushed in a blender, sieved and macerated in a solvent (ethanol or methanol) for 20 minutes, remaining in the solution for 48 hours.

At the end of this period, compounds were filtered three times on filter paper to remove the solid material. The filtrate was subjected to drying in a rotary evaporator, under reduced pressure at a temperature of 78°C for evaporation, until the total solvent elimination, remaining in the container only the crude extract (EB), which was dried in a desiccator, deposited in plastic bottles and weighed on an analytical balance. For phytochemical prospecting, the butanolic, hexane and aqueous extracts were prepared, performing the following tests adapted from Matos [10]:

i) The phytochemical tests on butanolic, hexane and aqueous extracts for phenols and tannins procedure: three drops of ferric chloride solution were added to 3 ml of the extract, shaking well and observing any color variation or precipitate formation. A blank was prepared for comparison. Interpretation of results: variable color between blue and red, indicates the presence of phenols; dark precipitate with a blue hue indicates the presence of pyrogallol tannins; green precipitate indicates the presence of phlobaphene tannins.

ii) Phytochemical tests in aqueous extract for anthocyanins, anthocyanidins and flavonoids. Procedure: 3 ml of extract were added to three test tubes; acidified a tube to pH 3 with 3 drops of HCl, alkalized a tube to pH 8.5 with 3 drops of NaOH, and alkalized a tube to pH 11 with 8 drops of NaOH. Interpretation of results: possible changes observed in coloration were correlated with the presence of constituents or secondary metabolites, as shown in table 1.

Table 1 Prospection for anthocyanins, anthocyanidins and flavonoids, depending on color

Constituents	Coloration/average		
	pH 3.0	pH 8.5	pH 11
Anthocyanins and anthocyanidins	Red	Lilac	Blue-Purple
Flavones, flavonols, xanthonas	-	-	Yellow
Chaconas and auronas	-	-	Red Purple
Flavonols	-	-	Orange Red

iii) Phytochemical tests in aqueous extract for saponins. Procedure: 3 ml of extract, 5 ml of deionized water and 2 ml of chloroform were added into a test tube. Then, common filtration was performed, and it was stirred well for 3 minutes. Interpretation of results: Persistent foaming is indicative of the saponins presence.

iv) Phytochemical tests on hexane extract for alkaloids. Procedure: for each extract, three test tubes were used, containing 4 ml of the respective extract. In tube 1, three drops of Dragendorff's reagent (potassium iodine bismuthate) were added; in tube 2, three drops of Hager's reagent (saturated picric acid solution); in tube 3, three drops of Meyer's reagent. Interpretation of results: the formation of a flocculous precipitate in at least two tubes is indicative of alkaloids.

v) Phytochemical tests on butanolic extract for cyanidins. Procedure: 0.5 ml of concentrated HCl and 0.5 cm of magnesium tape (Mg) were added to a test tube containing 4 ml of extract solution. Interpretation of results: the appearance or intensification of an orange to red color in the solution, indicates the presence of flavonols, flavons, flavononols and/or xanthonas.

To evaluate the cytotoxicity of each plant extract against *A. salina*, 1000ml of 35% saline solution was initially prepared for cyst incubation, which were exposed to artificial lighting (60W incandescent lamp) for 24 hours, until outbreak. To carry out the bioassays, a new 35% saline solution was prepared; later, 3% of Tween80 was added, for a better extract/water interaction. The extracts were weighed with fractions of 1, 10 and 100 µg.ml⁻¹. Each extract sample was added in triplicate in test tubes containing 10 ml of saline/Tween solution, each tube receiving ten specimens of *A. salina* nauplii. For comparison, control treatment was prepared under the same conditions; however, without the presence of extract. The tubes containing the samples were kept under artificial lighting for 24 hours at room temperature.

After this period, the number of live and dead nauplii exposed to each extract was counted, determining the percentage of mortality. Those organisms that showed movement when observed close to the light source for ten seconds, were considered alive. The LC50 (average lethal concentration for 50% of the test population) of each extract was determined, at a critical significance level of 95%. *A. salina* was used due to its traits, according to Nascimento et al. [11], reduced tolerance to environmental alterations and high specificity to external interferences, guaranteeing, therefore, the expression of clear results through small variations of environmental quality.

Results

Faced with the need to develop fish farming as an economically and environmentally sustainable activity, the adoption of natural sanitary measures certainly represents an important option for combating and preventing diseases and infestations. In this sense, the use of alternative techniques that can be easily implemented and executed by fish producers, deserves attention.

In plants, primary metabolism is conservative and universal. In turn, secondary metabolism products, common to taxonomic groups, or exclusive to a given species, offer advantages for the plant maintenance and development that synthesize them, including defense processes against pathogens and herbivores, attraction of pollinators, temperature tolerance extreme conditions, adaptation to water stress or nutrient and mineral deficiency in the soil. Such products correspond to herbal medicines, that is, those substances obtained exclusively from active vegetable raw materials, with safety and efficacy supported by scientific evidence and which, in addition, present constancy in their quality. They comprise three main groups: terpenes (such as carotenoids and saponins), phenolic compounds (here include flavonoids-anthocyanins, anthocyanidins, cyanidins, flavones, isoflavons, flavonols, flavononols, xanthonas, etc., and condensed and hydrolysable tannins) and, finally, nitrogenous compounds (such as alkaloids, cyanogenic glycosides, glucosinolates and non-protein amino acids).

Herbal medicines with activity for the treatment of bacterial diseases and parasitic infestations of humans and animals have been described for centuries [12]. In the present study, taking as reference a survey of genetic resources of the Rondônia flora with potential

antiparasitic properties, in which, 54 species were listed, 20 were selected for phytochemical prospecting and 25 for cytotoxicity tests. Table 2 shows the secondary

metabolites identified, according to the phytochemical tests, in extracts of 20 species of the Rondônia flora collected in different municipalities of the State.

Table 2 Plant extracts of species (with their vernacular and scientific names, botanical family and Rondônia municipalities where they were collected) with the respective secondary metabolites present

Plant extracts	Identified secondary metabolites						
	Phenols	Tannins	Flobabenic tannins	Cyanidins	Anthocyanins Anthocyanidins Flavonoids	Saponins	Alkaloids
Cipó-de-fogo <i>Davilla</i> sp. Dilleniaceae (Ariquemes)	X*	X	--**	X	--	X	X
Alfazema-cabocla <i>Aloysia gratissima</i> Verbenaceae (Cacoal)	X	--	X	--	X	X	X
Mentrasito <i>Hyptis</i> sp. Lamiaceae (Ariquemes)	X	--	X	--	X	--	X
Cranjiru <i>Arrabidaea chica</i> Bignoniaceae (Cacoal)	X	X	--	X	--	X	--
Cipó-de-fogo folhas <i>Davilla</i> sp. Dilleniaceae (Rolim de Moura)	X	X	--	--	--	X	--
Cipó-de-fogo fruto <i>Davilla</i> sp. Dilleniaceae (Rolim de Moura)	X	--	--	X	--	--	X
Cravo-de-urubu <i>Heliotropum</i> cf. <i>indicum</i> Boraginaceae (Ariquemes)	X	--	--	--	X	--	X
Maraca <i>Crotalaria</i> cf. <i>micans</i> Fabaceae (Tarilândia)	--	X	--	--	--	--	X
Erva-de-santa-maria <i>Chenopodium ambrosioides</i> Amaranthaceae (Cacoal)	X	X	--	--	--	--	--
Lantana <i>Lantana</i> sp. Verbenaceae (Ariquemes)	X	X	--	---	--	--	X
Cipó-de-são-joão <i>Pirostegia venusta</i> Bignoniaceae (Pimenta Bueno)	X	X	--	--	--	X	--
Neem <i>Azadirachta</i> cf. <i>indica</i> Meliaceae (Mirante da Serra)	X	X	--	--	--	X	--
Margaridinha <i>Tridax</i> cf. <i>procumbens</i>	X	X	--	--	--	--	--

Table 2 Continuation

Plant extracts	Identified secondary metabolites						
	Phenols	Tannins	Phlobabenic tannins	Cyanidins	Anthocyanins Anthocyanidins Flavonoids	Saponins	Alkaloids
Joá <i>Solanum aculeatissimum</i> Solanaceae (Alvorada d'Oeste)	X	X	--	--	X	--	--
Algodão-do-campo <i>Cochlospermum regium</i> Bixaceae (Pimenta Bueno)	X	X	--	--	--	--	--
Lobeira <i>Solanum lycocarpum</i> Solanaceae (Ariquemes)	X	--	--	--	X	--	X
Duranta <i>Duranta</i> sp. Verbenaceae (Ouro Preto d'Oeste)	X	X	--	--	--	--	--
Juá <i>Ziziphus</i> cf. <i>joazeiro</i> Rhamnaceae (Rolim de Moura)	X	--	--	--	--	--	--
Mamoninha-do-mato <i>Mabea</i> sp. Euphorbiaceae (Rolim de Moura)	X	X	--	--	--	X	--
Cipó-alho <i>Mansoa alliacea</i> Bignoniaceae (Ouro Preto d'Oeste)	X	--	X	--	--	X	--

**"X" indicates the presence of the tested metabolite in the extract; "*" "--" absence.

Once the extracts were obtained, they were applied in cytotoxicity bioassays against *A. salina*, with the aim of corroborating the effectiveness of each bioproduct and determining those with the greatest antiparasitic and/or antimicrobial potential. The lethality test is considered essential as a preliminary bioassay in the study of compounds with potential biological activity [11,13]. Initially, control tests (without the presence of bioproducts) were carried out in triplicate, considering the number of live *A. salina* nauplii. It is noteworthy that 10 live nauplii/test tube were packed. The average mortality rate of nauplii, in the control, was equal to 46.7, that is, less than 50%. Table 3 and figure 1 presents, for the extract of each evaluated species, the average mortality rates *A. salina* nauplii in concentrations ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 0.003; 0.03 and 0.3 at the end of

24 hours, in %.

Discussion

Among the species selected to obtain extracts for cytotoxicity assays, it is interesting to point out that, although some have been the subject of studies with herbal medicines, others have so far been little or not used, such as angel's finger, vine-garlic, fire vine, duranta, maraca and soursop leaves, among others. Bories et al. [14] and Moghadamtousi et al. [15], observed the antiparasitic activity of soursop seeds, and aqueous extract of the leaves, while projects carried out at the study area by Embrapa Western Amazon [16], have evidenced the goodness of working with the essential oil of vine-garlic. In the current study, ethanolic extracts were obtained from leaves of these two species.

Table 3 Cytotoxicity tests of 25 plant extracts (vernacular and scientific name) from the Rondônia flora against *Artemia salina* nauplii. Average mortality in %.

Vernacular name	Scientific name	Average mortality of nauplii %/Three replicates/concentration $\mu\text{g.ml}^{-1}$		
		0.3	0.03	0.003
Abóbora	<i>Cucurbita</i> sp.	90.0	73.3	76.7
Algodão-do-campo	<i>Cochlospermum regium</i> (Schrank) Pilg.	100.0	100.0	90.0
Alho	<i>Allium sativum</i> L.	100.0	26.7	40.0
Capim-limão	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	100.0	80.0	16.7
Cipó-alho	<i>Mansoa alliacea</i> (Lam.) A.H.Gentry	100.0	100.0	56.7
Cipó-de-fogo	<i>Davilla</i> sp. 1	100.0	100.0	100.0
Cipó-de-fogo	<i>Davilla</i> sp. 2	100.0	90.0	90.0
Cipó-de-são-joão	<i>Pyrostegia venusta</i> (Ker Gawl.) Miers	100.0	100.0	80.0
Dedo-de-anjo	<i>Euphorbia</i> sp.	100.0	90.0	56.7
Duranta	<i>Duranta</i> sp.	100.0	100.0	100.0
Erva-de-santa-maria	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	100.0	100.0	100.0
Graviola	<i>Annona muricata</i> L.	100.0	100.0	30.0
Joá	<i>Solanum aculeatissimum</i> Jacq.	100.0	100.0	80.0
Hortelã-pimenta	<i>Mentha X piperita</i> L.	96.7	23.3	80.0
Lobeira	<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	100.0	100.0	86.7
Mamão	<i>Carica papaya</i> L.	86.7	100.0	100.0
Mamoninha-do-campo	<i>Mabea</i> sp.	100.0	100.0	90.0
Mandioca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	100.0	76.7	43.3
Maraca	<i>Crotalaria</i> cf. <i>micans</i>	100.0	100.0	100.0
Maracujá-do-mato	<i>Passiflora foetida</i> L.	100.0	96.7	53.3
Margaridinha	<i>Tridax</i> cf. <i>procumbens</i>	100.0	100.0	43.3
Mentraso	<i>Hyptis</i> sp. 1	100.00	96.7	100.0
Mentraso	<i>Hyptis</i> sp. 2	100.0	96.7	90.0
Mussambé	<i>Cleome</i> sp.	100.0	80.0	86.7
Terramicina	<i>Alternanthera brasiliana</i> (L.) Kuntze	100.0	100.0	36.7

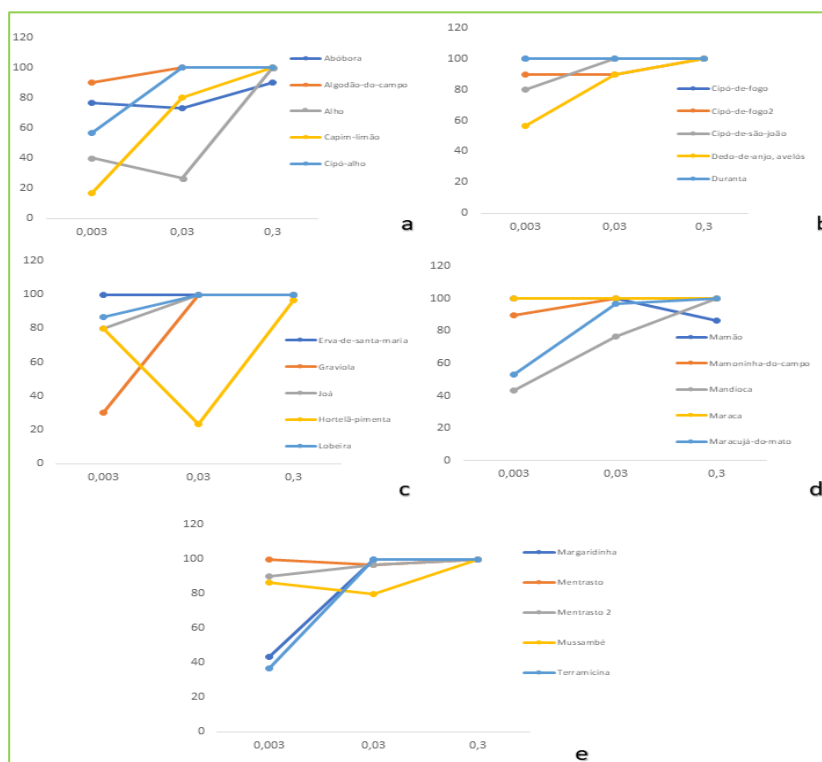


Figure 1 Behavior of 25 plant extracts used in cytotoxicity tests against *A. salina* nauplii, at three concentrations (a-e). It is considered in terms of average mortality (%)

It stands out, among the 25 phytotherapies, in relation to the cytotoxicity tests, that at least four, present a high potential, reaching values of 100% mortality in two microcrustaceans, for the tested concentrations. The same foram extracted from *Chenopodium ambrosioides* (erva-de-santa-maria or mastruz), *Crotalaria* cf. *micans* (maraca), *Davilla* sp. (cipó-de-fogo, sp. 1) and *Duranta* sp. (*Duranta*) (table 2; figure 1). The santa maria herb or mastruz (*Chenopodium ambrosioides*, *Amaranthaceae*) is a common species in all Brazilian states, cultivated or spontaneous. Its potential as an antiparasitic agent is widespread, due to the presence of ascaridol and saponins, tannins and flavonoids, in line with what was found by Jorge et al. [17] and Taponjdjou et al. [18]; in the present study, phenols and tannins, they were the only ones detected. This result shows consistency, since flavonoids are included in the group of phenolic compounds. In cytotoxicity tests against *A. salina* nauplii, its extract was one of the most effective, reaching expressive numbers of 100% of average mortality, in all concentrations. Ketzis et al. [19] tested in vitro the oil of santa maria herb against an infestation developed by *Haemonchus contortus* in goats, where it proved to be 100.0% effective in the inhibition of the parasite eggs development.

In a study with sheep, Oliveira [20] showed that for the helminths belonging to the *Trichostrongyloidea* superfamily, a treatment with this same plant, showed an efficacy on the reduction of the number of eggs per gram of 52.97% on the seventh day and 47.5% on the fourteenth day after its application, when confronted with the control group. They also verified an efficacy of 73.82%, 57.4% and 93.94% on the genera *Cooperia*, *Trichostrongylus* and *Strongyloides*, respectively. *Crotalaria* cf. *micans* or maraca or guizo-de-cascavel, is a *Fabaceae* of wide occurrence, and spontaneously. In the present study, tannins and alkaloids were identified in the extract as secondary metabolites. Pyrrolizidine alkaloids, found mainly in the flowers of *Crotalaria micans*, are considered toxic to Africanized worker bees, genus *Apis* [11], as well as humans and other animals.

Already in the extract of *Davilla* sp. (*Dilleniaceae*, sp. 1), popularly known as cipó-de-fogo or lixeirinha, a shrub collected in cerrado areas in Rondônia, the largest number of secondary metabolism products was detected, such as phenols, tannins, cyanidins, saponins and alkaloids. Among the 20 extracts evaluated, only *Aloysia gratissima* (*Verbenaceae*) or lavender-cabocla also showed a high number of metabolites in the

phytochemical prospecting tests, including phenols, phlobaphenic tannins, anthocyanins, anthocyanidins, flavonoids, saponins and alkaloids.

Little has been researched about its properties, but Kushima [21] reported that species of this genus have popular use in the treatment of gastrointestinal disorders (ulcers, gastritis, inflammation). In the current study, extracts from *Davilla* spp. demonstrated potential in the control of fish parasites, in preliminary in vivo studies, in Tambaqui juveniles, in addition to its effectiveness in cytotoxicity tests against *A. salina* nauplii.

The genus *Duranta* (*Verbenaceae*) is most recognized for its ornamental use. There are bushes commonly cultivated for their purplish or violet flowers, known as violeteira, pingo-de-ouro, earring-of-oxum, *duranta*, among others. According to popular literature, the fruits are toxic due to the presence of steroids and saponins (triterpenes). In the prospecting carried out in this work, the presence of phenols and tannins was detected in its extract. Furthermore, it showed maximum efficacy against the microcrustacean *A. salina*, for the evaluated concentrations. Therefore, as well as other genetic resources of the Rondônia state flora, it is suggested that its potential as a phytotherapeutic is the object of further studies.

Conclusion

Both the phytochemical prospecting and the evaluation of cytotoxicity against *Artemia salina*, showed that several genetic resources of the Rondônia flora have the potential to be used in the control of animal parasites, constituting a viable alternative from the environmental, economic and social point of view.

Acknowledgments

For financial support: FAPERO; logistical: Federal University of Rondônia, Presidente Médici campus; and academic: DAAB (Agricultural Development Research Group of the Brazilian Amazon, UNIR Presidente Médici campus) and RON (Herbário Rondoniense, UNIR Porto Velho campus).

Consent for publication

The authors read and approved the final manuscript.

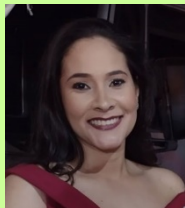
Competing interest

The authors declare no conflict of interest. This document only reflects their point of view and not that of the institution to which they belong.

Author details

Érica Eloy Silva

Bachelor in Fisheries Engineering, from the Federal University of Rondônia, having participated in scientific initiation projects, focusing on health and bioprospecting, Extension projects and technological initiation in the area of fish technology. He is currently a professor of aquaculture at the Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Jaboticabal (CAUNESP) with a research line for the reproduction of native fish (breeder nutrition).



Rodrigo Vieira Alves Amaral

Technician in Chemistry at the Federal University of Rondônia - Presidente Médici Campus, Brazil. Completed a degree in Industrial Chemistry from the State University of Paraíba in (2011), a master's degree in Chemical Engineering from the Federal University of Campina Grande in (2013) and a PhD in Chemical Engineering from the Federal University of Campina Grande in 2013 and a PhD in Chemical Engineering from the Federal University of Campina Grande in (2017) with an emphasis on desalination, reuse of water for irrigation and physical-chemical analysis in water and plants.



Weder Carlos de Souza Tomicha

Graduating in Fishing Engineering, Federal University of Rondônia, Campus Presidente Médici -RO. improvement in Pisciculture field day by the Support Service for Micro and Small Companies of Rondônia (2019), improvement in Fish Farming Workshop by Animal Nutrition (2018), improvement in Food and Nutritional Sovereignty by the Federal University of Rondônia (2013).



Ricardo Henrique Bastos de Souza

Graduated in Fishing Engineering from the Federal University of Recôncavo da Bahia (2010). Master in Animal Science from the State University of Santa Cruz (2013). He's currently studying for a PhD in Animal Science at the Federal University of Mato Grosso do Sul (2019 - 2023). Worked as Fishery Resources Analyst at Fundação Instituto of Fisheries of the State of Rio de Janeiro (2012 - 2014). He is currently an assistant professor at the Federal University of Rondônia. He has experience in Fisheries Resources and Fisheries Engineering working in the area of nutrition of aquatic organisms.



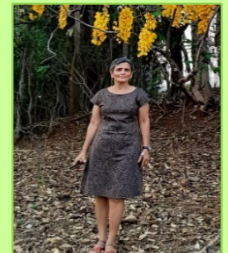
Raul Dirceu Pazdiora

Associate Professor Level III at the Federal University of Rondônia- Department of Zootechnics, Presidente Médici Campus, Brazil. He has a degree in Veterinary Medicine from the Federal University of Santa Maria (2005), a Master's in Animal Science (Animal Production) from the same institution (2008) and a Doctorate in Animal Science (Animal Production) from the São Paulo State University. Júlio de Mesquita (UNESP), Jaboticabal campus (2011). He has experience in Veterinary Medicine and Zootechnics, with an emphasis on Animal Production-Beef and Dairy Cattle, working mainly on the following topics: feed evaluation, ruminant nutrition, genetic improvement and animal management.



Creuci Maria Caetano

Graduated in Biological Sciences (1981), with Master in Cellular Biology (1995) and PhD in Biological Sciences (2001) from the State University of Maringá (UEM), Paraná. Pedagogue (UEM; 1994), with a perfection in Science and Citizenship - Ethos Science of the State Faculty of Campo Mourao, Paraná (1996), Specialization in Control and Environmental Management (UEM, 1999) and International Postgraduate Course in Cultural Heritage, Sustainable Tourism and Cultural Landscape (Fundo Verde; 2017). Her research interest is Plant Cytogenetics, Applied Ethnobotany, Conservation and Use of Phylogenetic Resources (RFG). She has been linked with the International Institute of Phylogenetic Resources (IPGRI) (now Biodiversity International), the National University of Colombia and the Federal University of Rondônia Foundation, in the Western Brazilian Amazon, Presidente Médici campus, Department of Fishery Engineering.



References

- [1] Jennings S, Kaiser M, Reynolds J. Marine fisheries ecology. 1st ed. United Kingdom: Blackwell Science; 2001
- [2] Miller G. Ciência Ambiental. 2nd ed. São Paulo, Brasil: Tradução. Thomson; 2007
- [3] Pavanelli G, Takemoto R, Eiras J. Parasitologia de peixes de água doce do Brasil. 1st ed. Maringá, Brasil: EDUEM; 2013.
- [4] Feitosa HN, Saturnino KC, Dirceu Pazdiora R, Ziemniczak HM, Paiva Medeiros S, Caetano Nunes Pazdiora BR. Histopathological analysis of *Colossoma macropomum* liver, treated with bioproducts used by controlling parasites. *Magna Scientia UCEVA* 2022;2:109–16. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n1a11>
- [5] Tavares Dias M, Ferreira J, Affonso E, Ono E, Martins M. Toxicity and effects of copper sulfate on parasitic control and hematological response of tambaqui *Colossoma macropomum*. *Boletim Do Instituto de Pesca* 2011;7:355–65. https://www.pesca.agricultura.sp.gov.br/37_4_355-365.pdf.
- [6] Maciel P, Affonso E, Onaka E. Infestação massiva por *Neoechinorhynchus* sp. (Acanthocephala: Neoechinorhynchidae) em tambaquis, *Colossoma macropomum*, jovens de piscicultura de Itacoatiara-AM, Brasil. X Encontro Brasileiro de Patologistas de Organismos Aquáticos, 2008, Búzios, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: INPA; 2008. <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/25552>

- [7] Godoi MMI de M, Engracia V, Lizama M de LAP, Takemoto RM. Parasite-host relationship between the tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier 1818) and ectoparasites, collected from fish farms in the city of Rolim de Moura, State of Rondônia, Western Amazon, Brazil. *Acta Amazon* 2012;42:515–24. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000400009>
- [8] Boijink C, Inoue L, Chagas E, Chaves F. Boas práticas de manejo na piscicultura para conservação da qualidade ambiental: Uso de produtos naturais como anti-helmíntico em tambaqui. Manaus, AM: 2011. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48954/1/Doc-88Cheila-A5.pdf>
- [9] Rodrigues B R, Meurer F, Rogério Boscolo W. Aditivos en la nutrición de peces. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA* 2015;7:228. <https://doi.org/10.24188/recia.v7.n2.2015.286>
- [10] Matos F. Introdução à fitoquímica experimental. 1st ed. Fortaleza, Brasil: Edições UFC; 2007.
- [11] Nascimento J, Melo A, Lima E, Silva T, Veras Filho J, Santos E, et al. Estudo fitoquímico e bioensaio toxicológico frente a larvas de *Artemia salina* Leach. de três espécies medicinais do gênero *Phyllanthus* (Phyllanthaceae). *Rev Ciênc Farm Básica Apl* 2008;29:145–50. <https://rcfba.fcfar.unesp.br/index.php/ojs/article/view/481/479>
- [12] Silva N, Fernandes Júnior A. Biological properties of medicinal plants: a review of their antimicrobial activity. *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases* 2010;16:402–13. <https://doi.org/10.1590/S1678-91992010000300006>
- [13] Barros JD, Filho SS, Castro V, Torres VM, Higino JS, Monteiro de Melo AF. Estudo toxicológico pré-clínico agudo e determinação da CL50 do extrato bruto seco da vitex agnus castus Linn. *Revista Eletrônica de Farmácia* 2011;7. <https://doi.org/10.5216/ref.v7i3.9893>
- [14] Bories C, Loiseau P, Cortes D, Myint S, Hocquemiller R, Gayral P, et al. Antiparasitic Activity of *Annona muricata* and *Annona cherimolia* Seeds. *Planta Med* 1991;57:434–6. <https://doi.org/10.1055/s-2006-960143>
- [15] Moghadamtousi S, Fadaeinasab M, Nikzad S, Mohan G, Ali H, Kadir H. *Annona muricata* (Annonaceae): A Review of Its Traditional Uses, Isolated Acetogenins and Biological Activities. *Int J Mol Sci* 2015;16:15625–58. <https://doi.org/10.3390/ijms160715625>
- [16] Embrapa Amazonia Occidental. Anais da IX Jornada de Iniciação Científica da Amazônia Ocidental. Documentos 100. Manaus, AM: 2012. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/950196/1/IX_JornadaIC.pdf
- [17] Jorge LIF, Ferro V de O, Koschtschak MRW. Diagnose comparativa das espécies *Chenopodium ambrosioides* L. (erva-de-santa-maria) e *Coronopus didymus* (L.) Sm (mastruço): principais características morfo-histológicas e químicas. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 1986;1:143–53. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X1986000200005>
- [18] Tapondjou LA, Adler C, Bouda H, Fontem DA. Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest grain protectants against six-stored product beetles. *J Stored Prod Res* 2002;38:395–402. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(01\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(01)00044-3)
- [19] Ketzis JK, Taylor A, Bowman DD, Brown DL, Warnick LD, Erb HN. *Chenopodium ambrosioides* and its essential oil as treatments for *Haemonchus contortus* and mixed adult-nematode infections in goats. *Small Ruminant Research* 2002;44:193–200. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00047-0](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00047-0)
- [20] Williams AR, Ropiak HM, Frygasas C, Desrues O, Mueller-Harvey I, Thamsborg SM. Assessment of the anthelmintic activity of medicinal plant extracts and purified condensed tannins against free-living and parasitic stages of *Oesophagostomum dentatum*. *Parasit Vectors* 2014;7:518. <https://doi.org/10.1186/s13071-014-0518-2>
- [21] Dugani A, Dakhil B, Treesh S. Protective effect of the methanolic extract of *Malva parviflora* l. leaves on acetic acid-induced ulcerative colitis in rats. *Saudi Journal of Gastroenterology* 2016;22:225. <https://doi.org/10.4103/1319-3767.182459>