

El sistema de diagnóstico de fitopatógenos en el contexto de la crisis venezolana: debilidades y oportunidades

Edgloris Marys¹ y Carolina Rosales²

¹Laboratorio de Biotecnología y Virología Vegetal, Centro de Microbiología y Biología Celular, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas, Venezuela, Apdo. 11204.

²Departamento de Protección Vegetal, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Maracay, Código Postal 2105

RESUMEN

La introducción de fitopatógenos transfronterizos, así como la emergencia de nuevas variantes y expansión del rango geográfico de enfermedades endémicas en los cultivos, están causando pérdidas económicas cuantiosas en la agroindustria, amenazando la subsistencia de los agricultores y añadiendo efectos negativos a la grave crisis alimentaria que vive el país. Las principales causas de estos brotes epidémicos a nivel mundial son el calentamiento global, el intercambio de material vegetal infectado entre países debido a la globalización y el proceso evolutivo natural que produce nuevos linajes de patógenos. A nivel local, el efecto negativo de estas enfermedades puede minimizarse si ante la amenaza, se activa inmediatamente el Sistema de Sanidad Vegetal, coordinado por la Organización Nacional para la Protección de las Plantas, diagnosticando temprana y acertadamente el patógeno, poniendo en marcha redes de vigilancia epidemiológica e iniciando la investigación básica y aplicada para contener las formas de transmisión del patógeno a otros cultivos y/o regiones. Sin embargo, el sistema de sanidad vegetal en Venezuela se encuentra sumido en una profunda crisis, y carece de las capacidades (humanas e institucionales) para proteger los cultivos ante la amenaza de enfermedades. El ejemplo más reciente de esta crisis en la respuesta fitosanitaria, fue la introducción al país de la enfermedad conocida como HLB (huanglongbing o dragón amarillo), la cual ha causado la merma de la producción nacional de cítricos hasta en un 95%. El objetivo de esta investigación es revisar las necesidades básicas requeridas para apoyar al sistema de sanidad vegetal en relación a la capacidad de diagnóstico y biotecnología (inversión en captación y capacitación de talento humano, equipamiento e implementación de técnicas adecuadas), y plantea algunas propuestas estratégicas para enfrentar las dificultades de diagnóstico actuales, con señalamiento de organizaciones que pudieran sumarse al esfuerzo.

Palabras clave: Detección de fitopatógenos, diagnóstico, sanidad vegetal, seguridad alimentaria, sistema fitosanitario, Venezuela.

*Autor de correspondencia: Edgloris Marys

E-mail: edgloris@gmail.com

The phytopathogen diagnostic system in the context of the Venezuelan crisis: weaknesses and opportunities

ABSTRACT

The introduction of transfrontier phytopathogens, as well as the emergence of new variants and the expansion of the geographical range of endemic crop diseases, are causing substantial economic losses in agribusiness, threatening the livelihood of farmers and adding negative effects to the serious food crisis the country is experiencing. The main causes of these epidemic outbreaks worldwide are global warming, the exchange of infected plant material between countries due to globalization and the natural evolutionary process that produces new lineages of pathogens. At the local level, the negative impact of these diseases can be minimized if the Plant Health System, coordinated by the National Plant Protection Organization, is immediately activated when faced with the threat, diagnosing the pathogen early and accurately, setting up epidemiological surveillance networks and initiating basic and applied research to contain the pathogen's forms of transmission to other crops and/or regions. However, the plant health system in Venezuela is in a deep crisis and lacks the capacity (human and institutional) to protect crops from disease threats. The most recent example of this crisis in phytosanitary response was the introduction into the country of the disease known as HLB (huanglongbing or yellow dragon), which has caused a 95% reduction in national citrus production. The objective of this research is to review the basic needs required to support the plant health system in relation to diagnostic and biotechnology capacity (investment in attracting and training human talent, equipment and implementation of appropriate techniques), and puts forward some strategic proposals to address the current diagnostic difficulties, with identification of organizations that could join the effort.

Key words: Phytopathogen detection, diagnosis, plant health, food safety, phytosanitary system, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

La Organización para Naciones Unidas (ONU) declaró al 2020 como el Año Internacional de la Salud de las Plantas, ya que la producción de alimentos necesitará incrementarse en un 60% para 2050, con el objetivo de alimentar un estimado de 10 billones de personas sobre la tierra (FAO, 2019). Proteger las plantas es indispensable para cumplir esta demanda, ya que el incremento en la producción agrícola necesariamente implicaría reducir las pérdidas debidas a fitopatógenos en cultivos de interés agroalimentario (Savary *et al.*, 2019). Históricamente, los fitopatógenos han tenido efectos devastadores sobre la humanidad. Un ejemplo clásico es la introducción a Europa de una nueva cepa de *Phytophthora infestans* y la práctica del monocultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en Irlanda en 1845. Esto provocó la escasez de papa, principal alimento para los irlandeses, y como resultado la muerte por hambruna de cerca de dos millones de personas y la emigración de 1,5 millones de irlandeses hacia Inglaterra, Canadá y los Estados Unidos (Bourke, 1964). En base a datos actuales, las pérdidas en el rendimiento de cultivos importantes para la alimentación humana a nivel global debido a enfermedades y plagas varía entre 24,6-40,9% para el arroz; 19,5-41,4% para el maíz; 8,1-21% en papa y 11-32,4% en el caso de la soya, afectándose todos los pilares de la seguridad alimentaria (disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad de los alimentos) (Savary *et al.*, 2019). Por lo tanto, la salud de las plantas es un indicador importante de la seguridad alimentaria de los países.

A consecuencia del cambio climático, la globalización del mercado agrícola, la movilización humana y los efectos de la evolución, las enfermedades emergentes en plantas (y sus insectos vectores) han incrementado su incidencia, rango de distribución geográfica y de hospederos. Adicionalmente, han cambiado su patogenicidad o virulencia hacia formas más agresivas mediante mecanismos evolutivos y pueden esparcirse o re-emerger luego de haber permanecido contenidas durante mucho tiempo (Ristaino *et al.*, 2021). Esta situación ha causado estragos en muchos cultivos de importancia, como es el caso de la emergencia del hongo *Hemileia vastatrix* en café en América Central, el cual ha causado pérdidas de más del 50% en la producción, obligando a cerca de 400 000 trabajadores asociados al cultivo a desplazarse a otras regiones y a perder sus sustentos, empujándolos a la pobreza (Sieff, 2019).

A pesar de que las consecuencias económicas, sociales y ambientales que acarrear las enfermedades infecciosas en plantas han sido tradicionalmente menos tomadas en cuenta que aquellas derivadas de las infecciones en humanos y animales, desde hace aproximadamente dos décadas atrás el potencial destructivo de las enfermedades emergentes en cultivos de importancia económica ha despertado una discusión de interés fuera de la comunidad de los fitopatólogos, al asociarse directamente con la amenaza que significan los fitopatógenos a la inseguridad alimentaria (Savary *et al.*, 2019). Por este motivo, el tema se ha incorporado en las agendas de gobernanza en muchos países en los cuales han evolucionado sistemas funcionales de protección vegetal (Stack *et al.*, 2006).

En la actualidad, Venezuela atraviesa una crisis humanitaria compleja que afecta la seguridad alimentaria de la población, con una mínima producción agrícola que cubre escasamente cerca del 24% de la demanda nacional (Hernández *et al.*, 2021). Adicionalmente, la frecuencia y severidad de brotes epidémicos causados por fitopatógenos en los cultivos han causado el declive de importantes rubros en la dieta del venezolano, como es el caso del “dragón amarillo” (HLB) de los cítricos, así como complejos de hongos, virus y bacterias en papa (*Solanum tuberosum*), arroz (*Oryza sativa*), maíz (*Zea mays*), cacao (*Theobroma cacao*), café (*Coffea arabica*) y diversas hortalizas. Un caso particular es la amenaza que representa para el cultivo del banano en Venezuela la destructiva enfermedad conocida como marchitez, causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical (R4T), que fue detectado en 2019 en el municipio Riohacha (La Guajira, frontera con Colombia), y que ha encendido las alarmas de las organizaciones de protección vegetal en la región (García-Bastidas *et al.*, 2020). Sin embargo, la mayoría de estos fitopatógenos permanecen sin ser diagnosticados y/o caracterizados debido a la crisis que enfrenta el país, la cual ha debilitado las capacidades humanas y técnicas y también la infraestructura relacionada con el sistema nacional de protección vegetal.

El presente análisis aborda las principales debilidades y subraya algunas de las fortalezas relacionadas actualmente con el diagnóstico de fitopatógenos en el país, como un aporte a la agenda de pensamiento estratégico que permita la aplicación de acciones claves para enfrentar el gran desafío que representan las enfermedades y plagas en cultivos de interés agroalimentario.

El diagnóstico, la detección y la vigilancia epidemiológica como pilares fundamentales de la agenda para el manejo de enfermedades en plantas: componentes básicos del sistema

Diagnosticar una enfermedad en plantas significa determinar la causa de un síntoma, mientras que la detección se refiere a la identificación del microorganismo que la genera, o sus productos (por ejemplo, toxinas en sustratos como tejido de plantas, muestras de suelo o agua). Por otro lado, la

vigilancia se refiere al monitoreo de la enfermedad en el cultivo u otros cultivos en la región o el país en estudio (Miller *et al.*, 2009). Por consiguiente, la detección temprana, el diagnóstico y la vigilancia son los pilares fundamentales en el diseño de programas destinados a salvaguardar las plantas de la infección por un patógeno e identificar agentes causales de enfermedades como primer paso para la intervención inmediata, el establecimiento de un plan de vigilancia epidemiológica y el planteamiento de estrategias de control y manejo integrado de las enfermedades.

Una serie de técnicas clásicas (observaciones al microscopio de luz y electrónico, caracterización bioquímica y/o morfológica de cultivos de patógenos, ensayos de infectividad y rango de hospederos, serología, etc.) han sido utilizadas para el diagnóstico y caracterización de fitopatógenos. Sin embargo, debido a que las nuevas cepas o variantes de fitopatógenos se originan por cambios en su ADN, la forma más precisa de diagnóstico es la detección mediante pruebas de biología molecular, basadas en la amplificación del material genético (reacción en cadena de la polimerasa o PCR por sus siglas en inglés). Posteriormente el ADN obtenido debe someterse a reacciones de secuenciación, y la secuencia obtenida debe ser comparada a través de análisis bioinformáticos contra la base de datos global, ubicada en el Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI). Los resultados permiten la elaboración de árboles filogenéticos que ubican taxonómicamente al patógeno sin lugar a dudas, y esta información se reporta al Organismo Nacional de Protección Fitosanitaria (ONPF) de cada país, el cual está facultado para emitir alertas y alarmas fitosanitarias, providencias administrativas y para poner en marcha las estrategias de contención y manejo a las que haya lugar. La detección también permite la certificación de material vegetal (semillas, esquejes, etc.) nacional e importado, acciones bajo la responsabilidad del sector público, aunque en la mayoría de los países funcionan laboratorios privados con capacidad de certificar material vegetal de interés.

Los ensayos basados en PCR y serología poseen sin embargo ciertas limitaciones en su aplicación, mayormente en relación a la detección de patógenos desconocidos para los cuales no existen anticuerpos ni se han diseñado oligonucleótidos los cuales pudieran ser potencialmente usados como cebadores en la PCR. Para compensar estas desventajas, durante la última década se han desarrollado nuevas tecnologías basadas en plataformas genéricas tales como los microarreglos de ADN y secuenciación masiva o de nueva generación (metagenómica o Next Generation Sequencing, NGS). Estas últimas permiten obtener las secuencias de todos los microorganismos presentes en una muestra vegetal, y pueden ensamblarse y determinarse de manera casi inmediata, permitiendo elaborar respuestas fitosanitarias rápidas para la contención y manejo, minimizando pérdidas en la producción agrícola (Piombo *et al.*, 2021). Muchos otros avances en tecnología permiten en la actualidad detectar patógenos de manera inmediata, tales como el desarrollo de sensores infrarrojos capaces de detectar cultivos enfermos e inteligencia artificial que permite analizar flujos de datos con el fin de escalar la vigilancia epidemiológica (Ristaino *et al.*, 2021). Es posible en la actualidad identificar una enfermedad mediante el envío de fotografías de material vegetal infectado a bases de datos, por ejemplo “Distance Diagnostic and Identification System” (DDIS), programa que la compara con otras almacenadas en una base de datos georeferenciada (Xin *et al.*, 2018).

Detrás de la tecnología, el componente esencial de la capacidad de diagnóstico de un sistema de sanidad vegetal es el capital humano entrenado para la detección y el diagnóstico tanto en los laboratorios como en clínicas de plantas, así como para extensión (asesoramiento y acompañamiento de agricultores), vigilancia epidemiológica y educación de las próximas generaciones de fitopatólogos (Miller *et al.*, 2009). Por último, la infraestructura es el otro componente esencial del sistema de diagnóstico. Cada uno de los procedimientos y métodos mencionados anteriormente (colección

de muestras infectadas, microscopía, cultivos, serología, NGS, análisis de la data), necesita de laboratorios adecuados con equipos modernos y un sistema de computación conectado a internet que permita comparar datos y reportar eficientemente a las autoridades fitosanitarias, así como tener acceso a las colecciones de literatura relacionadas con el campo. Es deseable que los laboratorios estén certificados en los análisis que llevan a cabo por las autoridades competentes y que cuenten con colecciones biológicas adecuadamente mantenidas (Zlof *et al.*, 2000). Un factor determinante para el éxito del sistema de diagnóstico es el acceso a fuentes de financiamiento. A pesar de que los servicios de diagnóstico de fitopatógenos han sido tradicionalmente menos financiados que su contraparte en enfermedades infecciosas que afectan humanos y animales en el siglo pasado, las actuales alarmas causadas por epidemias que han destruido grandes extensiones de cultivos a nivel global han llamado la atención de los gobiernos. Consecuentemente, se han creado y/o estrechado redes de colaboración entre países desarrollados y en vías de desarrollo para financiar temas relacionados con la fitosanidad, bioseguridad y manejo de enfermedades asociados al diagnóstico y vigilancia epidemiológica, dado que los fitopatógenos no reconocen fronteras, como se mencionó anteriormente. Como ejemplo podemos mencionar desde el caso del establecimiento de una red de clínicas de plantas en Centroamérica y África, hasta la coordinación de laboratorios de diagnóstico en Europa, Asia y Estados Unidos, con financiamiento global (Miller *et al.*, 2009).

Capacidades del sistema de diagnóstico de fitopatógenos actuales en Venezuela

La protección de las plantas es considerada como un bien común, por lo tanto una responsabilidad que los gobiernos deben asumir (Sheldrake *et al.*, 2003). El sistema de protección vegetal en Venezuela está regido por el Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAT) a través de Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI), el cual sirve como ONPF. Con la finalidad de proveer soporte científico y técnico al INSAI, se creó la Red Nacional de Laboratorios de Salud Integral (RNLSV), un colectivo de 18 laboratorios para la identificación y diagnóstico de enfermedades y plagas, con los siguientes nombres, pruebas diagnósticas y localización (INSAI, 2008):

- 1) “Samán de Güere” (bacteriología, entomología, nematología, micología); (Mun. Girardot, Edo. Aragua).
- 2) “Paula Correa Rodríguez” (acarología, bacteriología, entomología, nematología, micología) (Mun. Tinaco, Edo. Cojedes).
- 3) “Pedro Pérez Delgado” (acarología, entomología, nematología, micología) (Mun. Tucupita, Edo. Delta Amacuro).
- 4) “Puerto de Muaco” (acarología, entomología, nematología, micología) (Mun. Colina, Edo. Falcón).
- 5) “Lara” (entomología, nematología, micología) (Mun. Iribarren, Edo. Lara).
- 6) “Atención Primaria-La Victoria” (acarología, bacteriología, entomología, nematología, micología, virología) (Mun. Antonio Pinto Salinas, Edo. Mérida).
- 7) “San Isidro Labrador” (acarología, entomología, nematología, micología) (Mun. Pueblo Llano, Edo. Mérida).

- 8) “María del Carmen Ramírez” (acarología, bacteriología, entomología, nematología, micología) (Mun. Jauregui, Edo. Táchira).
- 9) “Zulia” (bacteriología, entomología, nematología, micología) (Mun. San Francisco, Edo. Zulia).
- 10) “Laboratorio de Diagnóstico Primario de Salud Vegetal y Despistaje de Aflatoxinas Guanta” (aflatoxinas a granos almacenados, entomología) (Mun. Guanta, Edo. Anzoátegui).
- 11) “Bolívar” (aflatoxinas a granos almacenados) (Mun. Heres, Edo. Bolívar).
- 12) “Laboratorio de Diagnóstico Primario de Salud Vegetal y Despistaje de Aflatoxinas Puerto Cabello” (acarología, entomología, nematología, micología, herbología, aflatoxinas a granos almacenados) (Mun. Puerto Cabello, Edo. Carabobo).
- 13) “Silos La Blanca” (aflatoxinas a granos almacenados) (Mun. Rómulo Gallegos, Edo. Cojedes).
- 14) “Juan Antonio Moronta” (entomología, micología, aflatoxinas a granos almacenados) (Mun. Leonardo Infante, Edo. Guárico).
- 15) “Maturín” (aflatoxinas a granos almacenados) (Mun. Maturín, Edo. Monagas).
- 16) “Araure” (aflatoxinas a granos almacenados) (Mun. Araure, Edo. Portuguesa).
- 17) “Urariche” (aflatoxinas a granos almacenados) (Mun. Urariche, Edo. Yaracuy).
- 18) “Laboratorio de Diagnóstico Primario de Salud Vegetal y Despistaje de Aflatoxinas Puerto de Maracaibo” (aflatoxinas a granos almacenados, entomología).

El servicio de protección vegetal también establece colaboraciones con universidades regidas por el Ministerio de Educación Superior (MPPEU) e institutos de investigación regulados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MPPCYT), tales como el Instituto de Estudios Avanzados (IDEA), y el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). A través del INSAI, Venezuela es un país firmante de la Convención Internacional de Protección de las Plantas (IPPC) (IPPC, 2018).

El sistema de protección vegetal venezolano, no escapa del deterioro progresivo de las instituciones que afecta al país en las últimas décadas, un proceso que se ha acelerado debido a las restricciones de movilidad asociadas a la pandemia de la COVID-19 y el desmantelamiento de los laboratorios producto de la inseguridad. Como documento exploratorio de las capacidades de diagnóstico de fitopatógenos en la actualidad, se realizó una encuesta vía Google Forms durante el mes de mayo de 2021 (datos no publicados). Se encuestaron 18 laboratorios (un representante de cada laboratorio respondió la encuesta). Los entrevistados (N=18; un entrevistado por cada laboratorio) respondieron preguntas relacionadas al **capital humano** (investigadores activos, estudiantes de pre y postgrado), **tecnología e infraestructura** asociados a los laboratorios durante el periodo 2015-Mayo 2021 (últimos 5 años para la fecha de realización de las encuestas), y representaban a los siguientes laboratorios/instituciones dentro del Sistema Nacional de Sanidad Vegetal, con las líneas de investigación que se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Laboratorios y líneas de investigación representados en la Encuesta Nacional de Capacidades de Diagnóstico en Venezuela (Mayo 2015-Mayo 2021).

Laboratorio, Institución, Ubicación	Líneas de investigación
Laboratorio de Biología (UCLA, Lara)	Diagnóstico de virus y hongos fitopatógenos
Lab. de Nematología del Instituto de Zoología (Fagro, UCV, Maracay, Edo Aragua)	Identificación de nematodos fitoparasíticos en diversos cultivos
Lab. de Bacteriología Vegetal INIA Maracay). Linea de Investigación Diagnóstico de enfermedades causadas por bacterias.	Diagnóstico de enfermedades causadas por bacterias fitopatógenas, producción de bacterias entomopatógenas antagonistas, control de enfermedades y plagas agrícolas.
Lab. Clínica de Enfermedades de Plantas (UCV, Maracay, Edo Aragua).	Diagnóstico y control de enfermedades de plantas.
Lab. Agricultura y Soberanía Alimentaria (IDEA, Edo. Miranda)	Control biológico de patógenos en cacao
Lab. de Bacterias Fitopatógenas (UCV, Maracay, Edo Aragua)	HLB, Identificación y control biológico de bacterias fitopatógenas
Lab. Biotecnología y Virología Vegetal, (IVIC, Edo. Miranda)	Diagnóstico de HLB en cítricos y virus en cultivos de importancia agroalimentaria
Lab. Nematología Agrícola (INIA, CENIAP, Edo. Aragua)	Sin actividad
Lab. Microbiología Vegetal (IDEA, Edo. Miranda)	Salud agrícola integral, control biológico de enfermedades y diagnóstico de enfermedades en cultivos agrícolas
Lab. Museo del Instituto de Zoología Agrícola (MIZA, FAGRO, UCV, Edo. Aragua)	Taxonomía de Insectos
Lab. de Servicios de Protección Vegetal (INIA, Edo. Zulia)	Diagnóstico fitosanitario en cultivos de importancia económica en la zona Sur del Lago
Lab. de Fitopatología (INIA, Biruaca, Edo. Apure)	Sin actividad
Lab. de Ecología y Control de Insectos (IDECYT, UNESR, Edo. Miranda)	Manejo integrado de plagas, extractos, polvos y cenizas vegetales para el control de plagas, microorganismos eficientes, abonos orgánicos para una agricultura sustentable
Lab. de Micología (INIA CENIAP, Edo. Aragua)	Sin actividad
Lab. Virología Vegetal (INIA-CENIAP, Edo. Aragua)	Desarrollo y validación de métodos moleculares de detección de virus, viroides y bacterias fastidiosas en cultivos de importancia agrícola
Lab. Protección Vegetal (Entomología) (INIA, Edo. Mérida)	Diagnóstico fitosanitario
Lab. de Fitopatología (I.B.E) (Fac. Ciencias, UCV. Caracas, DC)	Diagnóstico, epidemiología y control de enfermedades virales y otras en plantas de interés agrícola
Fundación Danac (San Felipe, Edo. Yaracuy)	Control Integrado de plagas 1.- Patología de semillas. 2.- Hongos patógenos en material vegetal. 3.- Hifomicetes acuáticos. Selección asistida por marcadores (MAS), Caracterización de patógenos
Laboratorio de Virología Vegetal (INIA, Edo. Portuguesa)	Diagnóstico, epidemiología y control de enfermedades virales y otras en plantas de interés agrícola.

Análisis de los resultados de la encuesta

Los resultados de la evaluación parcial de la capacidad de diagnóstico en algunos de los principales laboratorios de la red de protección vegetal en el país, permiten tener un panorama de la situación actual en cuanto a talento humano, tecnología, infraestructura, servicios básicos y presupuesto. Aunque la entrevista fue respondida solo por un pequeño número de personas asociadas a los laboratorios en las instituciones (Cuadro 1), las respuestas en su mayoría pueden ser extrapoladas al resto de los laboratorios de la red, dado que muchas de las carencias en servicios públicos básicos, dotación, tecnología y fuga de talentos afectan por igual al sistema de salud humano y en general a toda la institucionalidad. Los resultados demuestran que el número de investigadores, técnicos y estudiantes asociados a los laboratorios es mínimo (40 investigador dividido entre 18 laboratorios significa un número alarmantemente bajo) (Cuadro 2).

Igualmente, preocupante es el número de investigadores que han emigrado. Cuando se contrasta el número de estudiantes de pre y postgrado con el número de tesis finalizadas, es evidente que más de la mitad de los estudiantes no culminaron exitosamente con la presentación de sus tesis, quizás debido a que emigraron o abandonaron sus proyectos de grado por falta de recursos/insumos/equipos para su realización (Cuadro 3).

Cuadro 2. Recuento de capital humano asociado a los laboratorios encuestados (Mayo 2015-Mayo 2021)

Categoría	Número (por laboratorios)
Investigadores activos	40
Investigadores que han emigrado	30
Investigadores jubilados activos	8
Estudiantes (pregrado)	68
Estudiantes (postgrado)	21
Postdoctorantes	3
Técnicos asociados a la investigación	11

Cuadro 3. Recuento de tesis y publicaciones asociadas a los laboratorios encuestados (Mayo 2015-Mayo 2021)

Categoría	Total (todos los labs encuestados)
Publicaciones	52
Publicaciones en colaboración con otros labs nacionales	40
Publicaciones en colaboración con labs internacionales	25
Tesis culminadas (pregrado)	46
Tesis culminadas (maestría)	16
Tesis culminadas (doctorado)	9

Desconocemos cuántos de estos estudiantes fueron contratados por las instituciones. Sin embargo, los bajos sueldos que ofrece la administración pública, hace pensar que no hay casi ningún atractivo para enrolar a los jóvenes en el sistema de diagnóstico de fitopatógenos. Esto significaría que la mayoría de los investigadores activos están cerca de la edad de jubilación y que los laboratorios no cuentan con generación de relevo. En relación al número de publicaciones por laboratorios, es sorprendente ver que, a pesar de la crisis, algunos laboratorios siguieron publicando los resultados de sus investigaciones. Igualmente, importante de resaltar es el número de publicaciones en colaboración con laboratorios en el exterior (Cuadro 3). Estas conexiones son claves tanto como para la apertura de oportunidades en el exterior, como para el soporte que necesita el sistema de diagnóstico ante la sospecha o emergencia de algún fitopatógeno.

A pesar de que se infiere que el 70% de los laboratorios ofrece cursos de entrenamiento en diagnóstico (Figura 1) es de suponer que esos cursos tienen graves limitaciones en cuanto a las prácticas, ya que, como señaláramos, existen graves problemas de escasez de reactivos, equipos y capacidad instalada para realizarlas. Los resultados indican que un 75% de los encuestados pertenece al INSAI/INIA, por lo que sus repuestas son representativas de la red más amplia de laboratorios de diagnóstico fitopatológico en el país.

Un 75% de los laboratorios aún permanece afiliado a redes nacionales o internacionales de diagnóstico (Figura 2), lo cual es una ventaja a tomar en cuenta a la hora de adjudicar recursos y fortalecer capacidades para el diagnóstico, por lo que sería recomendable identificar estas redes que aún funcionan.

El 50% de los laboratorios informa sobre la ocurrencia de plagas y enfermedades a las autoridades fitosanitarias y sus informes son relevantes en políticas de sanidad vegetal (Figura 3).

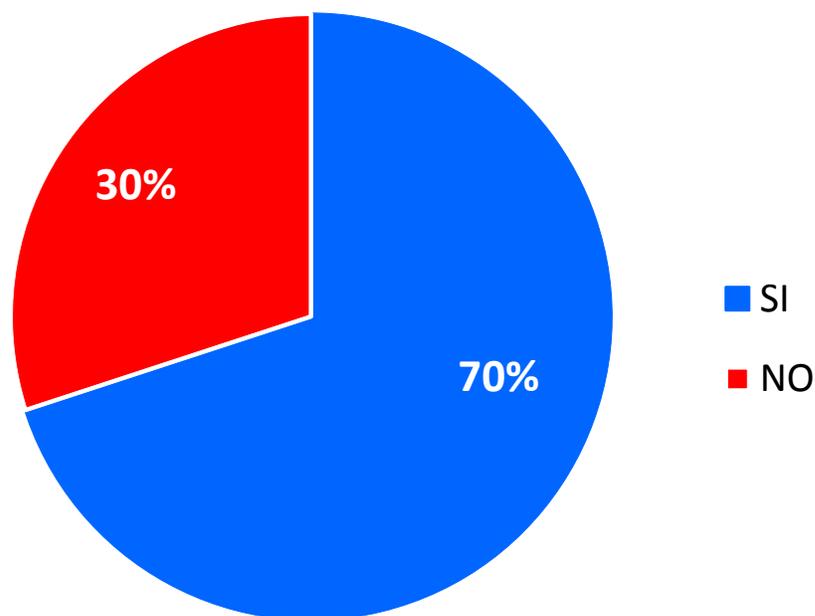


Figura 1. Porcentaje de laboratorios que mantuvieron ofertas de entrenamientos en técnicas de diagnóstico de fitopatógenos durante el período encuestado

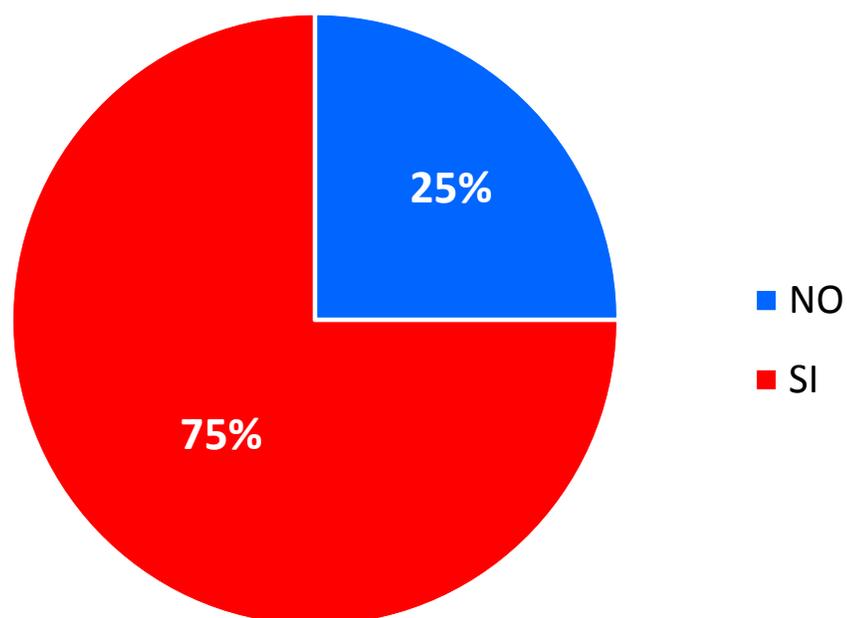


Figura 2. Porcentaje de afiliación de laboratorios a redes nacionales o internacionales de diagnóstico.

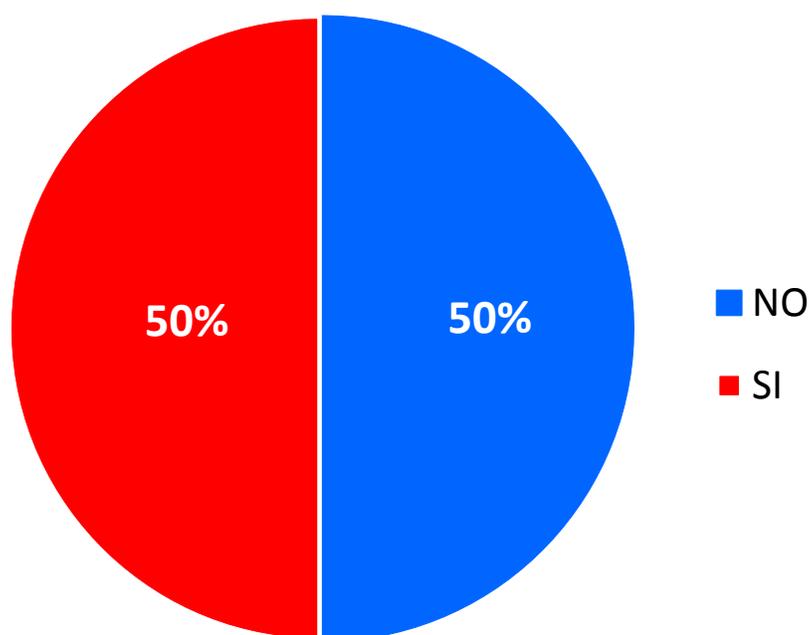


Figura 3. Porcentaje de laboratorios cuyos resultados son determinantes para la toma de decisiones en políticas de sanidad vegetal.

Esta situación debe corregirse, ya todos los laboratorios afiliados o no a la red de diagnóstico deberían cumplir con la obligatoriedad de reportar sus hallazgos a las autoridades competentes, tal como especifica la página web del INSAI. Por otra parte, 55% de los laboratorios funcionan como clínicas de plantas. El concepto de las clínicas de plantas ha cambiado mucho desde sus inicios, y están siendo implantadas en países de escasos recursos en ambientes rurales, para atender emergencias en cultivos que son el sustento de la población, con excelentes resultados. De manera que sería muy interesante evaluar el estado del funcionamiento de las clínicas de plantas aún activas en el país y reformularlas en base a los resultados que la experiencia ha arrojado en otros países.

Como se observa en el Cuadro 4, la disponibilidad de servicios básicos en las instalaciones, tales como electricidad, agua y conexión a internet es muy pobre en la mayoría de los laboratorios. Esta situación es cónsona con la que ocurre en general a nivel nacional, y afecta el desempeño de las labores en todos los laboratorios.

En relación a la capacidad en tecnologías y biotecnologías es claro que como país tenemos un rezago de muchas décadas en cuanto a las técnicas que son utilizadas para el diagnóstico (Figura 4). Como se mencionó en la introducción, las nuevas técnicas de secuenciación masiva (metagenómica) están siendo usadas en laboratorios alrededor del mundo para identificar y caracterizar a nivel molecular

Cuadro 4. Frecuencia de la disponibilidad de servicios básicos para el diagnóstico de fitopatógenos en las instituciones/laboratorios.

Servicio	Constantemente	Ocasionalmente	Nunca
Electricidad	10%	90%	0%
Agua	35%	55%	10%
Internet	45%	45%	10%

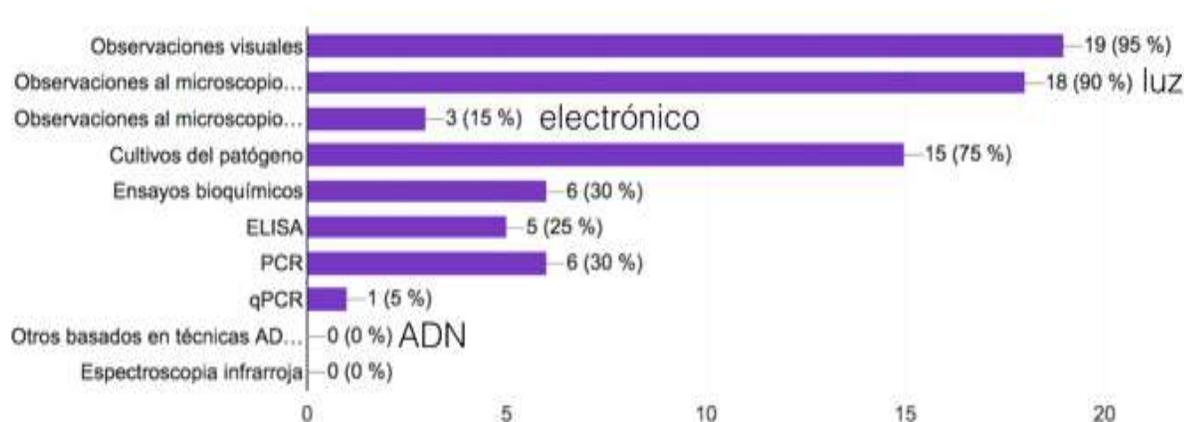


Figura 4. Técnicas utilizadas frecuentemente para el diagnóstico de fitopatógenos en los laboratorios encuestados.

las enfermedades emergentes en los cultivos, como es el caso reciente de la identificación en pocos días de la destructiva enfermedad emergente conocida como “tizón del trigo” que devastó 15 000 ha de trigo en Bangladesh en el 2016 (Kamoun *et al.*, 2019).

Como se desprende de las respuestas, no contamos en Venezuela con equipos de secuenciación masiva disponibles para la caracterización de patógenos emergentes. Solo algunos laboratorios están dotados con termocicladores para detectar fitopatógenos por PCR, sin embargo, la mayoría de ellos no están operativos (Figura 5), y no hay posibilidades de realizar revisiones (servicio técnico) por falta de recursos. Esta situación es válida también para los microscopios electrónicos, lectores de ELISA, computadoras, etc.

El equipamiento básico con que cuentan los laboratorios es escaso (Cuadro 5). No hay capacidad de almacenamiento en frío, proceso vital para la conservación de muestras y reactivos que requieran congelación. Esto es especialmente grave para los laboratorios que trabajan en biología molecular, ya que las enzimas, estuches de clonaje, etc, requieren cadenas de frío. La movilización para vigilancia epidemiológica se imposibilita dada la falta de inversión en el mantenimiento/adquisición de vehículos, a lo que se suma la grave crisis de escasez de gasolina en curso. Derivado de la imposibilidad de contar con vehículos, se limita el acceso a muestras de campo (Cuadro 6).

Otro grave problema es la poca o nula capacidad para adquirir reactivos y consumibles. Los pocos recursos que manejan los laboratorios sumado a la burocracia impiden cualquier compra a través de la administración pública, por lo que algunos laboratorios tienen algún porcentaje de operatividad gracias a donaciones de colegas científicos en el exterior (Figura 6). Las restricciones económicas también impiden hacer uso de servicios de secuenciación de ADN (Cuadro 6), ya que la contratación de tales servicios debe pagarse en dólares, y la gran mayoría de las instituciones no tiene acceso a divisas desde el año 2015.

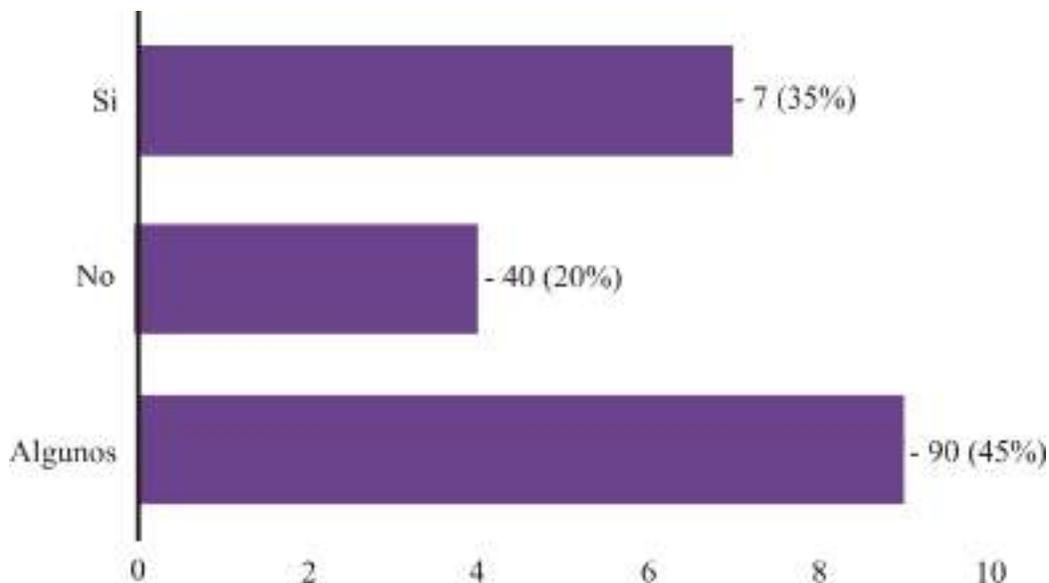


Figura 5. Porcentaje de operatividad de equipos básicos para el diagnóstico.

Cuadro 5. Disponibilidad de equipamiento básico para el diagnóstico de fitopatógenos en las instituciones/laboratorios.

Equipos	Si	No	No operativos
Congeladores (-20°C)	25%	70%	15%
Congeladores (-80°C)	25%	55%	20%
Neveras (4°C)	65%	15%	20%
Umbráculos	15%	85%	-
Vehículos	10%	90%	-

Cuadro 6. Disponibilidad de otros requerimientos básicos

Requerimientos	Si	No	Ocasionalmente
Acceso a muestras de campo	45%	5%	60%
Acceso a servicios de secuenciación y análisis bioinformáticos	15%	75%	10%

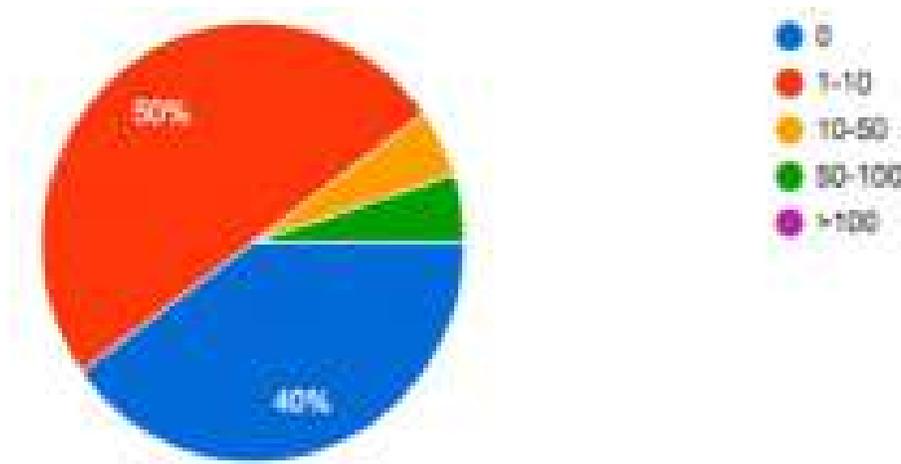


Figura 6. Porcentaje de muestras

El 85% de los laboratorios no cuenta con colecciones biológicas en sus especialidades (Figura 7). La colección almacenada representa un porcentaje ínfimo con respecto a la gran diversidad de virus, bacterias, hongos y viroides que han sido reportados en el país (Figura 8). Esto impide el uso de controles positivos y negativos para realizar el diagnóstico, por lo que resulta un insumo indispensable. La mayoría de las colecciones se han perdido por falta de capacidad de almacenamiento a -20 y/o -80 °C. Es obligatorio curar una nueva colección de material vegetal infectado y/o cultivos, fitopatógenos purificados, etc.

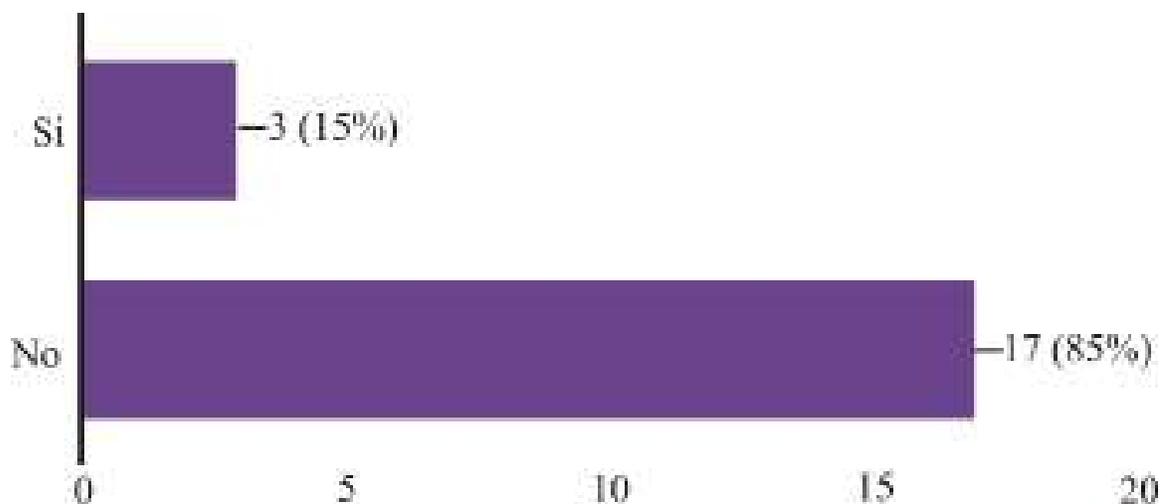


Figura 7. Porcentaje de laboratorios que mantienen colecciones biológicas.

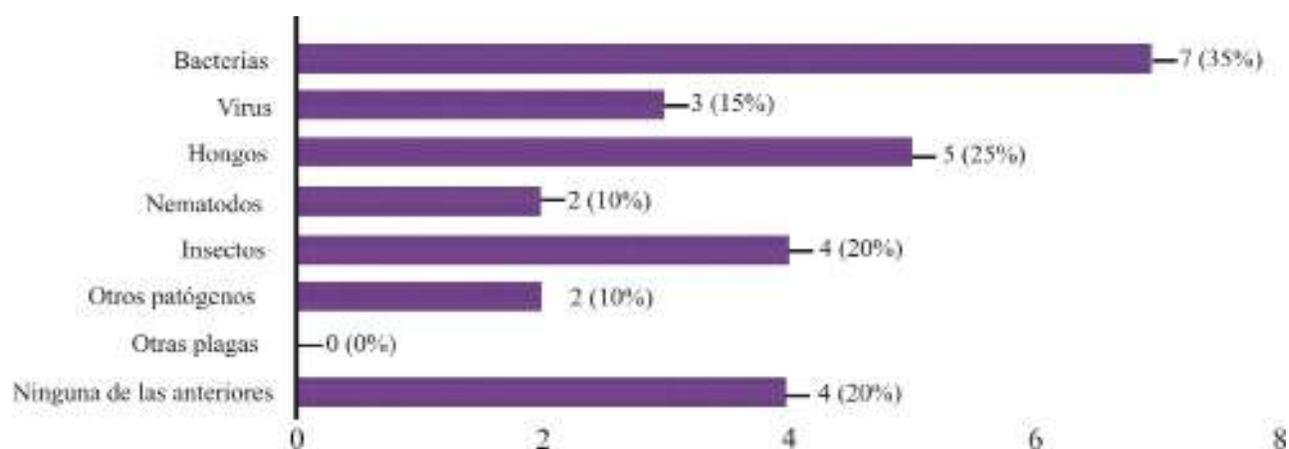


Figura 8. Porcentaje de colecciones biológicas (material vegetal infectado con fitopatógenos, cultivos o microorganismos purificados).

Solo un pequeño porcentaje de laboratorios (15%) cuenta con un stock de anticuerpos y material vegetal infectado, lo cual coloca al sistema de diagnóstico nacional en desventaja. Es clara la falta de conectividad entre los laboratorios de la red de diagnóstico, más aun, no existen archivos digitalizados en el sitio web del INSAI disponibles para ubicar la distribución de determinadas plagas y enfermedades.

Las figuras relacionadas con el financiamiento dibujan la realidad de los laboratorios de diagnóstico y explican la inoperatividad y abandono del sistema de sanidad vegetal (Figura 9). Los pocos bolívares que se aprueban son insuficientes para dotar al sistema, y se devalúan rápidamente, además de la ineficacia de los departamentos de compras en las instituciones, lo cual imposibilita cualquier gestión. Aunado a esto, debemos enfrentar la situación general de inseguridad por el abandono de las instalaciones, que afecta aún más el desempeño de los encuestados en sus respectivos laboratorios.

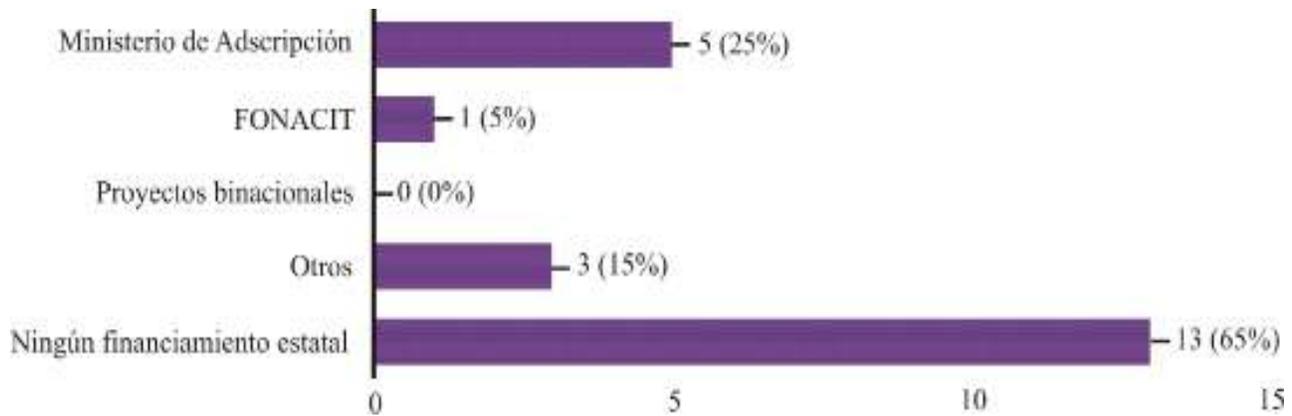


Figura 9. Porcentaje de laboratorios con financiamiento y fuentes de financiamiento de los laboratorios durante el periodo encuestado.

Los principales obstáculos para la ejecución de fondos declarados por los encuestados fueron:

- 1) Burocráticos (mala gestión de la dirección institucional).
- 2) No pueden ser administrados a criterio del investigador.
- 3) Falta de ofertas (convocatorias) para proyectos.
- 4) Empresas sin RNC e imposibilidad de importar insumos y reactivos.
- 5) Desembolsos a destiempo.
- 6) El procedimiento en el área de compras de la institución es muy lento y no se ejecuta a tiempo. Los costos de los recursos no se ajustan a los presupuestos que se financian en el área pública. Los precios varían rápidamente y es difícil mantener al día los presupuestos en la moneda local.
- 7) No se disponen de cuentas institucionales que permitan ejecutar los recursos en forma fluida.
- 8) La inestabilidad del mercado.
- 9) El Director aún no posee firma bancaria conjunta con administradora.
- 10) Devaluación de la moneda local.
- 11) Ausencia de asignación de presupuesto desde 2015.

CONSIDERACIONES FINALES

En esta sección, los participantes añadieron otras situaciones no planteadas en la encuesta que, según su criterio, dificulta la investigación en diagnóstico de fitopatógenos en la actualidad (respuestas extraídas directamente de las encuestas):

- 1) Dificultad de personal técnico especializado en mantenimiento y reparación de equipos de refrigeración y de laboratorios.
- 2) Sin agua y sin insumos, nos resulta casi imposible el procesamiento de muestras para análisis nematológico.
- 3) La inseguridad y robo constante.
- 4) Deterioro muy marcado de la infraestructura sobre todo filtraciones en techos y paredes, y no se disponen de los recursos para solventar esta situación. Inseguridad lo cual trae como consecuencia una alta frecuencia de robos continuos de cableado eléctrico, unidades de acondicionadores de aire, desvalijamiento de equipos.
- 5) Falta de divisas, factores políticos impiden acceso a muestras estratégicas.
- 6) Falta de recursos ordinarios en la institución para poder laborar.
- 7) La crisis económica e Institucional de Venezuela permitió que la asignación de recursos para la investigación fuese cada vez menor deteriorando así las instalaciones y abandonando el servicio de diagnóstico fitosanitario que se prestaba a los agricultores, eso trajo como consecuencia la reducción de las solicitudes de los estudiantes de pregrado y postgrado a la realización de tesis, establecimiento de ensayos de investigación, generación de artículos científicos, la continuidad de la formación del personal de investigación del laboratorio en la asistencia a foros, congresos, entre otros. Aunado a lo expuesto anteriormente se suma el desmantelamiento de las instalaciones debido a la inseguridad y, las fallas continuas de los servicios públicos como agua, electricidad, transporte, además de salarios muy bajos para los investigadores. Todo esto ha generado un impacto negativo en el diagnóstico fitosanitario que se debe prestar al sector primario del país, para garantizar la sanidad vegetal de los cultivos incrementando los rendimientos y, así garantizar la seguridad alimentaria del país.
- 8) Falta de asignación de prioridades a la necesidad de diagnóstico fitosanitario. No hay flexibilidad para establecer asociaciones estratégicas con entidades privadas para formular proyectos, captar fondos y ejecutarlos en situaciones específicas que han resultado críticas para la agricultura nacional (caso HLB en cítricos, caso Foc R4T en bananos), o ignorar la necesidad de desarrollar capacidades preventivas para el desarrollo de fortalezas de diagnóstico en puntos de ingreso al país, o metodología de diagnóstico para ejecutar programas de vigilancia epidemiológica, o fortalecer las capacidades operativas del INSAI.
- 9) Los constantes hurtos del cableado, tuberías, equipos acondicionadores de aire, neveras, techo, equipos y materiales y hasta el material vivo infectado dificultan el diagnóstico
- 10) El laboratorio tiene daños en el techo que deterioraron las paredes y presenta humedad y hongos, se corre riesgo de corto circuito. No hay financiamiento. Poco personal. Ausencia de director.
- 11) Falta de talento en el área.

Perspectivas y oportunidades en el sistema de diagnóstico de fitopatógenos

El desarrollo de una iniciativa de rescate del sistema nacional de sanidad vegetal en Venezuela

debe superar varios escollos en tres áreas críticas: la captación y formación de recursos humanos, la dotación y modernización de los laboratorios y el suministro de servicios básicos. Sin embargo, es urgente emprender algunas acciones que permitan proteger nuestros cultivos de las amenazas de enfermedades emergentes.

La inversión en capital humano es prioritaria, ya que la fuga de talentos del personal capacitado en el diagnóstico y en especialistas en manejo de enfermedades ligados directamente a los productores, ha erosionado nuestras competencias para la identificación y control de fitopatógenos. Los programas en fitopatología de las licenciaturas de agronomía deben enfatizar el entrenamiento en fitopatología aplicada, con una base sólida en biología molecular y bioinformática. Es importante ubicar a los fitopatólogos de la diáspora e intentar crear o utilizar mecanismos de financiamiento que les permitan recibir a nuestros estudiantes para realizar entrenamientos en las técnicas actuales de metagenómica y análisis de data. Una opción real son las convocatorias a pasantías de 3 a 6 meses que realiza ONU-BIOLAC para estudiantes de América Latina y el Caribe, con la finalidad de entrenarse en el área de secuenciación de nueva generación de enfermedades emergentes (<https://biolac.unu.edu/en/news/announcements/call-for-applications-fellowship-member-programme.html>). Otra organización que financia cursos en diagnóstico molecular de fitopatógenos emergentes es OIRSA (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, oirsa.org). Existen en la actualidad muchas otras opciones de entrenamientos que deben ser exploradas y colocadas en algún sitio web o red social creada con el fin de divulgar las oportunidades en la ciencia del diagnóstico, hospedada por alguna institución interesada. Otra iniciativa muy importante para retener al talento humano sería corregir los sueldos de los investigadores y técnicos dedicados al diagnóstico.

En relación a la inversión en tecnología y redes, existen mecanismos que pudieran ser explorados y que permitirían llenar los vacíos que existen actualmente. Por ejemplo, en comunidades de zonas rurales de América Central y muchos países de África, se han puesto en funcionamiento Clínicas de Plantas, atendido por especialistas entrenados en el diagnóstico de enfermedades. Estas Clínicas han sido financiadas enteramente por Global Plant Clinic of CABI (Centre for Agricultural Bioscience International), y debido a su éxito en el acompañamiento de los campesinos en la vigilancia de enfermedades, han sido incorporadas a los sistemas nacionales de sanidad vegetal (Danielsen and Matsiko, 2020). Es crucial identificar asociaciones estratégicas de financiamiento a través de fondos públicos y/o privados (cámara de comercio, Fundación Polar, Fundación Bigott, Asociaciones de Productores, IICA, etc.) que puedan sumarse al esfuerzo de rescatar la infraestructura de los laboratorios y adquirir equipos e insumos para reactivar la investigación. En el pasado (2007), una asociación entre el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología permitió el financiamiento de numerosos proyectos de investigación en el área de biotecnología, modernizando los laboratorios y creando redes de investigación en diagnóstico de virus de plantas (Marys, 2007). En tal sentido, la organización EUPHRESKO ofrece financiamientos a proyectos de investigación en diagnóstico de fitopatógenos (<https://www.euphresco.net/>). De manera que sería lógico redactar una serie de proyectos con la finalidad de adquirir neveras y congeladores, computadoras, secuenciadores de nueva generación, vehículos, insumos, reactivos y demás elementos necesarios para rescatar y/o fortalecer los laboratorios y someterlos a la consideración de estas agencias. Otra agencia que pudiera potencialmente financiar proyectos para fortalecimiento es CGIAR a través de sus programas estratégicos de inversión prospectiva ([file://localhost/\(https://www.cgiar.org/researchinvestment-prospectus:\)](https://localhost/(https://www.cgiar.org/researchinvestment-prospectus:))). A corto plazo, sería interesante lograr impulsar las reuniones y congresos de la Sociedad Venezolana de Fitopatología, lugar de encuentros entre fitopatólogos, estudiantes y productores nacionales, gravemente debilitada por falta de financiamiento desde 2017.

Es importante señalar que mientras no tengamos capacidades para identificar y diagnosticar fitopatógenos emergentes, ponemos en riesgo no solo nuestros cultivos, sino que amenazamos la seguridad de los cultivos en la región, ya que tampoco tendremos la capacidad de contener y manejar las enfermedades. Al respecto nos han contactado tanto las organizaciones de protección vegetal de países vecinos, como los institutos de investigación en diagnóstico y prevención (por ejemplo, CIAT en Colombia, EMPBRAPA en Brazil, CIP en Perú), expresando total apoyo a colaboraciones de investigación, pasantías de investigación y compra y envío de reactivos. Por consiguiente, tal interés debe ser debidamente canalizado para lograr concretar puntos específicos de colaboración, según la importancia de los cultivos amenazados. Un punto clave es la urgente necesidad de modernización tecnológica del INSAI. Toda la data relacionada con la ocurrencia de fitopatógenos en el país debe ser colectada, digitalizada y disponible para acceso público.

Por otro lado, se necesita el compromiso de los investigadores que aun quedamos en el país para formar a través de cursos y talleres nuevos talentos en diagnóstico de fitopatógenos. En tal sentido, hemos conformado un clúster de trabajo en torno a la “Detección Molecular de Fitopatógenos Emergentes y Seguridad Alimentaria en Venezuela”, que agrupa a los fitopatólogos de los principales laboratorios que trabajan en el área de biología molecular y caracterización de virus, hongos y bacterias, alrededor del Laboratorio de Biotecnología y Virología Vegetal del IVIC, y del laboratorio de Bacterias Fitopatógenas ubicado en el campus UCV, Maracay, que cuentan en la actualidad con una dotación de equipos y reactivos mínima que pudieran apoyar la identificación molecular de los patógenos que amenazan la productividad de los rubros agrícolas más importantes en la dieta de la población. El primer reto del clúster de trabajo fue la detección e identificación por PCR y secuenciación de la bacteria que causa el HLB en cítricos en 2017, la cual fue realizada gracias a donación de cebadores específicos para amplificar genes de la bacteria *Candidatus liberibacter asiaticus* hecha por el Dr. Francisco Ochoa-Corona (Ocklahoma State University, USA) y una serie de reactivos (enzimas, dNTPs,) e insumos (tubos para PCR, guantes) adquiridos por IICA Venezuela. A partir de este resultado, el INSAI informo al IPPC la presencia de la bacteria en el país (Marys et al., 2021) y elaboró las alarmas y alertas correspondientes. La segunda actividad que nos hemos planteado es la determinación molecular de las razas o cepas de Foc, Moko y Sigatoka negra en Venezuela, dada la importancia de estos patógenos para la producción bananera del país y de la región (LAC). Este análisis permitirá entre otros resultados, informar a las autoridades respectivas la presencia o no de Foc R4T en el país, con el fin de que se activen las alertas y alarmas fitosanitarias correspondientes. Como respaldo a esta iniciativa, fuimos invitados a participar junto al INSAI y la Red Venezolana de Musáceas (MUSAVEN) a un Seminario organizado por OIRSA denominado “Situación fitosanitaria de las musáceas y estrategias de prevención de la marchitez por fusariosis raza 4 tropical (Foc R4T) en Venezuela”, el pasado 26 de mayo de 2021. Como resultado de esta interacción, OIRSA envió kits de diagnóstico de Foc RT4 para PCR en tiempo real. Estas actividades del clúster de trabajo en fitopatógenos emergentes demuestran que hay cierta capacidad instalada en estos dos laboratorios de diagnóstico para dar respuestas rápidas a la emergencia de enfermedades en cultivos de importancia en agroalimentación, y que pueden servir de base operacional mientras se logra reforzar el sistema de diagnóstico del servicio nacional de sanidad vegetal.

CONCLUSIONES

El servicio nacional de diagnóstico en salud vegetal está debilitado debido a la grave crisis estructural y financiera por la que atraviesa Venezuela. La pandemia global por la COVID-19 ha agravado aún más el abandono del servicio desde marzo de 2020. Entre algunas sugerencias para la

elaboración de un plan de rescate de emergencia del servicio se incluyen:

- 1) La organización de un panel de expertos con representantes de cada especialidad que logren a corto plazo:
 - a) La identificación de todos los laboratorios afiliados a la Red Nacional de Diagnóstico, con nombres y contactos de responsables.
 - b) La configuración de reuniones (virtuales) con la participación de todos estos actores, dirigidas a identificar las necesidades y fortalezas de cada laboratorio.
 - c) La exploración de fuentes de financiamiento (nacionales e internacionales) para el fortalecimiento de las capacidades de diagnóstico.
 - d) La identificación de los principales problemas fitosanitarios en cultivos de interés económico/agroalimentario.
- 2) A mediano y largo plazo: dotación y certificación de los laboratorios asociados al Servicio de Diagnóstico según estándares internacionales (normas IPPC).

Para el éxito en la implementación operativa de estas estrategias, es fundamental contar con mecanismos de manejo de dificultades y retos que enfrenta el país como son las fallas en el suministro de electricidad, agua, combustible y conexión a internet.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bourke, P. 1964. Emergence of potato blight. 1943-46. *Nature* 203: 805–808. Available in: <https://doi.org/10.1038/203805a0> (accessed Julio 11, 2021).
- Brownlie, J.; C. Peckham; J. Waage; M. Woolhouse; C. Lyall. 2006. *Foresight. Infectious Diseases: Preparing for the Future-Future Threats*. London: Office of Science and Innovation. Available in DOI: 10.1126/science.1129134 (accessed Julio 12, 2021).
- Danielsen, S.; F. Matsiko. 2010. Plant clinics must take root in poor countries. *SciDevNet* Available at <https://www.scidev.net/global/opinions/plant-clinics-must-take-root-in-poor-countries/>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. *The State of Food and Agriculture 2019: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction* (Food and Agricultural Organization, Rome, Italy, 2019) (accessed Julio 13, 2021).
- García-Bastidas, F.A.; J.C. Quintero-Vargas; M. Ayala-Vasquez; T. Schermer; M.F. Seidl; M. Santos-Paiva; A.M. Noguera; C. Aguilera-Galvez; A. Wittenberg; R. Hofstede; A. Sørensen; G.H.J. Kema. 2019. First report of fusarium wilt tropical race 4 in Cavendish bananas caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. *Plant Dis* <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-1922-PDN> (accessed Julio 11, 2021).
- Hernández, P.; A. Carmona; M.S. Tapia; S. Rivas. 2021. Dismantling of Institutionalization and State Policies as Guarantors of Food Security in Venezuela: Food Safety Implications. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:623603. Available in: doi: 10.3389/fsufs.2021.623603 (accessed Julio 11, 2021).

- International Plant Protection Convention (IPPC). 2018. Description of the NPPO from Venezuela-Bolivarian Republic of. Available on line at: <https://www.ippc.int/en/countries/venezuela-bolivarian-republic-of/reportingobligation/1> (Accessed Junio 10, 2021).
- Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI). 2008. La institución. Available online at: http://www.insai.gob.ve/?page_id=82 (Accessed Junio 12, 2021).
- Kamoun, S.; N.J. Talbot; M.T. Islam. 2019. Plant health emergencies demand open science: Tackling a cereal killer on the run. *PLoS Biol* 17(6): e3000302. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000302> (Accessed Junio 10, 2021).
- Marys, E. 2007. Identification and molecular characterization of virus diseases of economical importance. BIDII-FONACIT. Ministerio para el poder popular de Ciencia y Tecnología.
- Miller, S.A.; F.D. Beed; C.L. Harmon. 2009. Plant disease diagnostic capabilities and networks. *Annu. Rev. Phytopathol.* 47:15–38. Available online at 10.1146/annurev-phyto-080508-081743. (accessed Julio 11, 2021).
- Piombo, E.; A. Abdelfattah; S. Droby; M. Wisniewski; M. Spadaro; L. Schena. 2021. Metagenomics Approaches for the Detection and Surveillance of Emerging and Recurrent Plant Pathogens. *Microorganisms.* 9:188. Available in: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010188>.
- Ristaino, J.; P. Anderson; D. Bebber; K. Brauman; N. Cunniffe; N. Fedoroff; C. Finegold; K. Garrett; C. Gilligan; C. Jones; M. Martin; G. MacDonald; P. Neenan; A. Records; D. Schmale; L. Tateosian; Q. Wei. 2021. The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 118 (23) e2022239118; Available in DOI: 10.1073/pnas.2022239118 (accessed Julio 12, 2021).
- Savary, S.; L. Willocquet; S.J. Pethybridge; P. Esker; N. McRoberts; A. Nelson. 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat. Ecol. Evol.* 3: 430–439. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y> (accessed Julio 13, 2021), 2020).
- Sheldrake, R.; M. Williams; R. Turner. 2003. Developing a world class plant pathology diagnostics network. <http://www.planthealthaustralia.com.au> (accessed Julio 11, 2021).
- Sieff, K. 2019. The migration problem is a coffee problem. *Washington Post*, 11 June 2019. <https://www.washingtonpost.com/world/2019/06/11/falling-coffee-prices-drive-guatemalan-migration-united-states/>. (accessed Julio 11, 2021).
- Stack, J.P.; K. Cardwell; R. Hammerschmidt; J. Byrne; R. Loria R. 2006. The national plant diagnostic network. *Plant Dis.* 90: 128-136.
- Xin, J.; L. Buss; C.L. Harmon; P. Vergot; M.S. Frank; W.J. Lester. 2018. Plant and Pest Diagnosis and Identification through DDIS. *UF IFAS Vol 2018 N, 2.* Available in: DOI: 10.32473/edis-ae225-2018.
- Zlof, V.; I.M. Smith; D.G. McNamara. 2000. Protocols for the diagnosis of quarantine pests. *EPPO Bull.* 30: 361–363. Available in: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2000.tb00911.x> (Accessed Junio 10, 2021).