

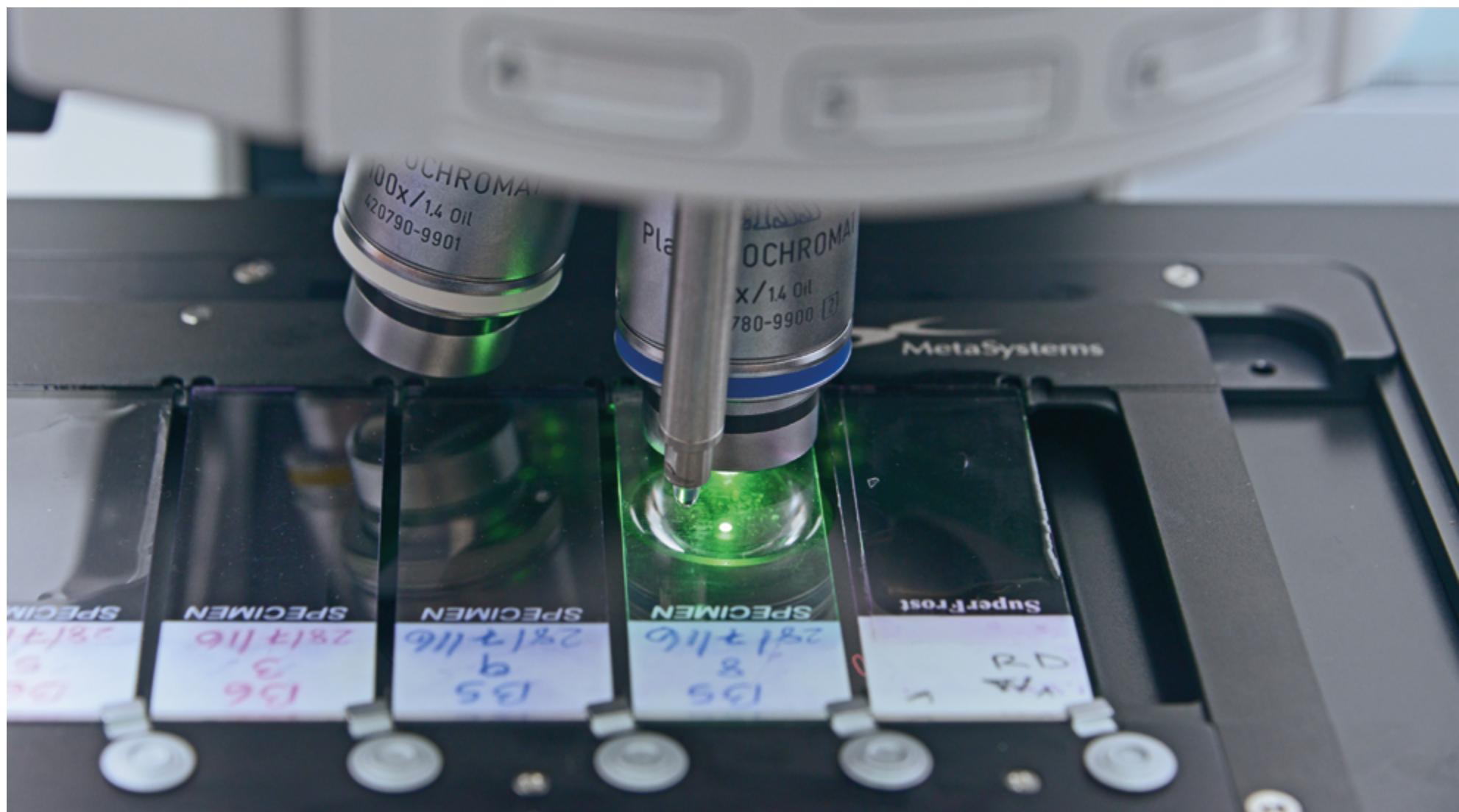


CIENCIA MÁS TECNOLOGÍA

5 de noviembre de 2025 - Año 10, n.º 114



**La UCR es pionera  
en Centroamérica  
en el estudio y tratamiento  
de los efectos de la  
radiación en la salud**



A diferencia de un incendio o una fuga química, la radiación no avisa y puede estar en el aire, en los suelos, en ciertas industrias y en los hospitales e, incluso, estar generando afectaciones sin que se note. Foto: Archivo OCI.

## Inisa-UCR

# El daño invisible de la sobreirradiación y cómo la UCR la analiza para proteger vidas

**El trabajo de la Universidad permite favorecer el tratamiento oportuno en casos en los que una persona recibe una radiación mayor a la esperada en hospitales, laboratorios o industrias.**

Jenniffer Jiménez Córdoba  
[jennifer.jimenezcordoba@ucr.ac.cr](mailto:jennifer.jimenezcordoba@ucr.ac.cr)

No hace ruido, no tiene olor ni color. La radiación es una fuerza que atraviesa las paredes y los cuerpos sin que nadie la note y deja su firma dañina en lo más profundo del ADN humano.

En la actualidad, la ciencia ha aprendido a leer las huellas del daño de ese lenguaje invisible y, por supuesto, también el Instituto de Investigaciones en Salud (Inisa), de la Universidad de Costa Rica (UCR).

En sus instalaciones, el Inisa-UCR alberga el único laboratorio de dosimetría

biológica del país y de Centroamérica, encargado de estudiar el efecto de la radiación en las células humanas y, así, recomendar los abordajes terapéuticos óptimos para ayudar al paciente.

“La dosimetría biológica significa medir la dosis de radiación que recibió una persona a partir de los efectos biológicos producidos por la exposición. Esta ciencia fue concebida para evaluar a las víctimas después de los accidentes nucleares, a fin de identificar los niveles de daño y planificar tratamientos adecuados”, expresó el Dr. Prakash Hande, biólogo molecular de la Universidad Nacional de Singapur, durante su visita al Inisa para impulsar el trabajo que la UCR realiza en este campo.

En efecto. Las bombas en Hiroshima y Nagasaki son un ejemplo de afectación nuclear. Después de las explosiones, las médicas y los médicos vieron que las personas afectadas fallecieron por una grave condición que llegó a denominarse como “síndrome de radiación aguda”.

Años más tarde, Costa Rica también enfrentaría su mayor accidente radiológico en el ámbito médico, muy distinto al de Hiroshima y Nagasaki, pero con graves consecuencias.

Una mala calibración del equipo de tratamiento con cobalto en la Unidad de Radioterapia del Hospital San Juan de Dios, usada para tratar distintos tipos de cáncer, generó que 115 personas recibieran cerca de un 70 % más de la dosis de radiación que se tenía estimada. En ese momento, Costa Rica no contaba con un laboratorio de dosimetría biológica que midiera el impacto de esa irradiación en las personas.

Desde ese entonces, las autoridades reguladoras y entes responsables en la materia se esforzaron por fortalecer el sistema de protección radiológica a nivel nacional, robustecer la regulación, mejorar la formación académica profesional y promover el desarrollo de técnicas para determinar con mayor precisión la exposición a radiaciones ionizantes.

En ese último aspecto trabajó el Inisa-UCR y, con el liderazgo de la Dra. Isabel Castro, se logró establecer el primer laboratorio en dosimetría biológica, con el fin de ayudar a proteger vidas, identificar a tiempo a las personas sobreexpuestas, planificar tratamientos y prevenir tragedias futuras.

“Liderar esta capacidad consolidó al Inisa-UCR como referente regional en la atención científica de emergencias radiológicas. Además, fortalece las competencias técnicas y científicas del país para investigar el amplio espectro de la biología de las radiaciones, generar evidencia que respalde los ajustes regulatorios e incorporar técnicas de biodosimetría en el monitoreo ocupacional”, destacó el Dr. Fabio Andrés Chaves Campos, coordinador del Laboratorio de Dosimetría Biológica del Inisa-UCR.

¡En buena hora! El conocimiento producido, indicó el Dr. Chaves, permite impulsar protocolos nacionales de vigilancia, preven-



La evaluación del paciente con sobreirradiación siempre está a cargo de un médico tratante. A partir del cálculo de dosis realizado por el Inisa-UCR y de un informe con el resultado del análisis, el médico puede tomar las decisiones en cuanto al tratamiento por seguir. Foto: Archivo OCI.

ción y respuesta. Con ello, Costa Rica refuerza su soberanía científica y amplía su capacidad estratégica en salud pública.

## El daño invisible

Ahora, contestemos una nueva pregunta. Si la sobreirradiación genera daños, ¿de qué depende su gravedad? Para el Dr. Hande, la magnitud de las afectaciones depende de la dosis recibida.

En exposiciones altas, las personas pueden desarrollar el síndrome de radiación aguda y fallecer en pocos días. En dosis bajas, los efectos son más persistentes y pueden incluir mutaciones genéticas y cáncer a largo plazo.

Los estudios históricos de Hiroshima y Nagasaki, comentó el Dr. Hande, han mostrado que las generaciones posteriores también sufrieron consecuencias, como deformidades físicas, trastornos mentales y padecimientos. Por supuesto, la radiación no solo se asocia con grandes catástrofes nucleares.

También existen exposiciones cotidianas en entornos ocupacionales, especialmente en industrias, laboratorios y hospitales. En algunos países de América Latina, comentó el Dr. Hande, las personas trabajadoras de las industrias han sufrido quemaduras graves al guardar fuentes radiactivas sin saberlo. Un caso así ocurrió en Bolivia.

En abril del 2002, se produjo un accidente con una fuente de radiografía industrial, la cual fue transportada como carga desde Cochabamba hasta La Paz en un autobús de pasajeros.

Durante la mayor parte del trayecto, que duró ocho horas, el autobús viajó lleno de

personas bajo una radiación imperceptible, pero con la fuerza suficiente para generar efectos profundos, comunicó el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

En la vida cotidiana, los efectos de la radiación pueden estar presentes en el personal médico y de imagenología, trabajadores de plantas industriales, así como en profesionales de la ciencia que viven cada día bajo pequeñas dosis de radiación.

“El Inisa-UCR se encuentra en la capacidad de participar en la atención de posibles casos en los que se sospecha de una sobreexposición a radiaciones ionizantes. Para ello, tras recibir la referencia médica, se toma una muestra de sangre de la persona, por medio de la cual, luego de procesarla, estudiamos las frecuencias de aberraciones cromosómicas características por el daño a la radiación”, detalló el Dr. Chaves.

“Ese dato permite estimar una dosis a la que la persona estuvo expuesta y la información permite dar una atención médica adecuada, así como estimar riesgos de los efectos en el corto y mediano plazo. Adicionalmente, estas pruebas pueden ser aplicadas para estudiar el monitoreo de la exposición crónica ocupacional, al evaluar el efecto de las radiaciones a nivel cromosómico a lo largo del tiempo”, amplió el experto de la UCR.

¿Y los tratamientos? Depende de la dosis de radiación recibida. “Cuando la dosis es alta, hay que tratar de inmediato, incluso con trasplantes de médula ósea o terapias con células madre. Pero cuando la dosis es baja, el daño es silencioso y hay que vigilarlo por años”, aseveró el Dr. Hande.

Por el momento, las guías internacionales establecen límites de dosis. Si una

persona los supera, debe ser retirada de la exposición y continuar con las evaluaciones para prevenir daños a largo plazo, puntualizó el experto internacional.

## Así se hace en la UCR

¿Y cómo se efectúa el análisis en la UCR? Como ya lo explicó el Dr. Chaves. En el laboratorio de dosimetría biológica del Inisa-UCR se recibe una muestra de sangre del paciente, se procesa y, luego, se observan los cromosomas como si fueran un mapa.

Mediante un equipo de alta tecnología recibido en el 2017, se capturan las imágenes de las alteraciones celulares de forma automática. En esto, se utiliza una curva dosis-efecto avalada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Con las imágenes captadas, las científicas y los científicos examinan cada figura celular, cuentan los cromosomas y anotan el número de cromosomas dicéntricos —aquellos con dos centrómeros, cuando lo normal es tener solo uno—.

Al concluir ese estudio, se puede saber si una persona estuvo expuesta a radiación, cuánto tiempo aproximado y qué riesgos corre.

“Que Costa Rica cuente con la fortaleza científica del Inisa-UCR frente a situaciones de exposición a radiaciones ionizantes evita la dependencia a laboratorios extranjeros, reduce tiempos de respuesta y fortalece la soberanía científica del país en la investigación de biología de las radiaciones”, expresó el Dr. Chaves.

Por lo tanto, este servicio no solo constituye un avance técnico, sino que también se consolida como un recurso estratégico clave para la seguridad radiológica, la salud pública y la capacidad nacional de respuesta ante emergencias, enfatizó el especialista costarricense.

## El siguiente paso

La tecnología está evolucionando y la UCR también. Las técnicas tradicionales, como la citogenética —que se enfoca en mirar los cromosomas y contar sus modificaciones—, están siendo complementadas con los análisis genómicos y de secuenciación, que permiten identificar qué vías moleculares son alteradas por la radiación y anticipar enfermedades antes de que aparezcan.

Por eso, ahora el siguiente paso para la ciencia es lograr un enfoque multiparamétrico, que evalúe diversos indicadores en una misma muestra.

Desde la mirada del Dr. Hande, lo anterior permite conocer no solo el daño puntual, sino el estado global de las células y su funcionamiento, lo que ofrece una visión más completa para diseñar tratamientos. En esto se requieren especialistas altamente capacitados, como las y los físicos médicos que la UCR forma desde el 2010.

“Necesitamos más personas que elijan este campo, que lo estudien, que lo amen y que los países les garanticen estabilidad para que sigan en esto. No basta con aprender a medir, hay que saber interpretar”, concluyó el Dr. Hande. ■



El Dr. Oscar Andrey Herrera resalta que los estudiantes que colaboraron en el proyecto tuvieron la oportunidad de estudiar las obras y tener un acercamiento con el Teatro Nacional, el cual algunos no conocían hasta que empezaron a trabajar en la iniciativa. Foto: Laura Rodríguez.



# Un proyecto científico de la UCR promueve la conservación de obras del Teatro Nacional



Como parte de las labores de investigación, el grupo científico realizó en la oficina de la Dirección del Teatro Nacional un monitoreo de las condiciones ambientales, simulaciones para comprender el flujo de aire, un mapeo de daños de las obras y un muestreo de los microorganismos ubicados en la sala, entre otros estudios.

Marianela Arias Vilchez  
[marianela.ariasvilchez@ucr.ac.cr](mailto:marianela.ariasvilchez@ucr.ac.cr)

El Teatro Nacional de Costa Rica (TNCR) fue declarado “Símbolo Nacional del Patrimonio Histórico Arquitectónico y Libertad Cultural” en el 2018. Esta hermosa obra arquitectónica cuenta con 128 años de antigüedad y fue inaugurada a finales del siglo XIX.

Es así como, con el propósito de poner la ciencia al servicio del arte y la preservación del patrimonio cultural costarricense, se creó el proyecto de investigación de la UCR llamado “Abordaje multidisciplinario para el establecimiento del estado de conservación de las obras pictóricas de gran formato del Teatro Nacional de Costa Rica”, del Instituto de Investigaciones en Arte (IIArte) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Por medio de esta iniciativa, la UCR de forma interdisciplinaria trabaja en el estudio y conservación del inmueble del TNCR y, principalmente, de algunas de sus obras. El proyecto inició a finales del 2016 y, desde entonces, ha explorado distintos recintos del Teatro. En esta oportunidad, estudió la oficina de la Dirección y publicó los resultados del análisis en agosto del 2025 en la revista *Scientific Reports* de *Nature*.

Se escogió esta sala, porque tras realizar un muestreo anual durante el 2022 en los recintos del Teatro que tienen obras de gran tamaño, se descubrió que la oficina de la Dirección, en ciertos meses, tenía en promedio un conteo de esporas de hongos (estructuras de reproducción o latencia del microorganismo) en el aire más

alto que el que poseían los otros espacios. Por ello, surge la necesidad de estudiar a fondo este aposento para determinar por qué tiene una mayor cantidad de esporas con respecto al resto de la infraestructura.

La oficina de la Dirección se ubica al suroeste del Teatro Nacional. Además, está rodeada al sur por una de las carreteras principales de San José, la avenida Segunda, y al oeste por la plaza de la Cultura, un lugar lleno de palomas y peatones. La sala está decorada con murales, que cubren de pared a pared, y por una pintura al óleo en el cielorraso, obras pintadas por el artista italiano Paolo Serra.

Es importante destacar el enfoque interdisciplinario de este proyecto, en el que participan personas de Física, Micro-



En las imágenes se observa que la oficina de la Dirección está rodeada al sur por una de las carreteras principales de San José, la avenida Segunda, y al oeste por la plaza de la Cultura (A). También se aprecia que el aposento posee tres ventanas (B) y que está completamente decorado con pinturas (C). Imagen: cortesía de Oscar Andrey Herrera.

biología, Geología, Biología, Arte, Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Biosistemas, entre otras.

## Microorganismos predominantes

El estudio determinó, por medio del muestreo microbiológico, que *Cladosporium* es el hongo que predomina en el aire y en las paredes de la oficina de la Dirección y en el Teatro en general. Es de color negro y es el causante de las manchas negras en los baños de las casas. Dicho hongo viene de las pinturas que están colonizadas, es decir, aquellas que tienen estos microorganismos en las superficies.

Asimismo, encontraron hongos que se presentan mayormente en interiores, como *Penicillium* y *Aspergillus*. Estos microorganismos se reproducen y forman unos filamentos llamados hifas, las cuales crecen y se van metiendo entre las capas de pintura de las obras. Eso provoca que esas capas se vayan levantando.

Además, las hifas se alimentan liberando enzimas en el medio ambiente donde

se encuentren, en este caso, las pinturas y sus soportes. Las enzimas que liberan los hongos degradan los compuestos que están en las pinturas y absorben compuestos mucho más simples.

La microbióloga Daniela Jaikel, una de las investigadoras, expone que estos hongos degradan las pinturas para poder alimentarse, lo cual se refleja como una pérdida de pigmento y daño en los soportes de las pinturas. También, como parte de su metabolismo, son capaces de secretar sustancias que manchan las obras.

En los murales encontraron bacterias y hongos de la microbiota de las manos, como *Staphylococcus* y *Candida*. El proceso es el siguiente: las personas tienen acceso a los murales de la oficina, pueden tocar la obra, liberar los microorganismos de las manos en la pared y, luego, estos microorganismos hacen biopelículas (comunidades de microorganismos protegidas por sustancias como carbohidratos y proteínas) y se establecen en los murales.

Jaikel señala que este proceso es normal en una oficina que tiene tránsito de personas, lo cual, naturalmente, tendrá un impacto en el inmueble.

## ¿En qué consiste el proceso de investigación?

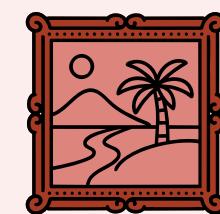
Para conocer el estado de conservación de las obras que se encuentran en la oficina de la Dirección del Teatro Nacional, se realizó un abordaje interdisciplinario que incluyó las siguientes variables de análisis de investigación:



Monitoreo de las condiciones ambientales de la oficina (mediciones de velocidad, de temperatura y de humedad relativa del aire).



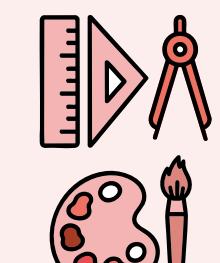
Simulación para saber el comportamiento del flujo del aire y la probabilidad de concentración de partículas para distintos escenarios.



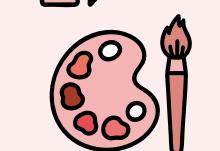
Ánalysis de las obras para identificar tipos de daños como grietas, manchas de humedad, etc.



Muestreo microbiológico para identificar hongos y bacterias en las obras de la oficina.



Mediciones de color para identificar si hubo degradación.



Identificación de la paleta de color de las obras pintadas por el artista Paolo Serra.

Elaboración propia con información brindada por los investigadores y el artículo científico.  
Diseño: Rafael Espinoza.

## Un objeto de investigación desde diferentes miradas

La ingeniera Leonora de Lemos, otra de las investigadoras del proyecto, explica que lo primero que hicieron fue entender el comportamiento del flujo de aire de la oficina de la Dirección.

Realizaron mediciones de velocidad, de temperatura y de humedad relativa del aire (en el exterior e interior del recinto) en varias partes de la oficina y en distintos planos. Con la información que obtuvieron de esas mediciones, plantearon un modelo de fase discreta que permitió hacer la simulación de dinámica de fluidos computacionales (CFD, por sus siglas en inglés). Con esta, pudieron estimar cuáles eran las zonas donde era más probable la sedimentación de las partículas, según esas condiciones de la habitación.

Dado que la ventana de la oficina de la Dirección está abierta y en contacto directo con el exterior del centro de San José, el objetivo era determinar si esas condiciones podrían tener una incidencia en el flujo

del aire, la deposición de partículas y la presencia de microorganismos.

El equipo efectuó un muestreo directamente de las paredes, el mural y el techo de la habitación, también tomó fotografías en los espectros visible y ultravioleta. Adicionalmente, se realizó un mapeo de daños en el que se seleccionaron las zonas de interés para tomar las muestras, entre ellas, el techo, las paredes y el mural de la oficina.

Jaikel se encargó de la muestra microbiológica. Luego, se determinó la concentración de esporas de hongos y de bacterias que estaban circulando en el aire del aposento, en los mismos planos y sitios donde se hicieron los muestreos ambientales. Con esto, se pudo comprobar que la deposición de partículas se correlacionaba con las esporas circulantes y la cantidad de bacterias, especialmente en la esquina noreste de la oficina de la Dirección.

Además, se correlacionaron los hongos que están en el interior con los que encontraron en el aire para identificar si son hongos del interior los que están circulando o si, efectivamente, es el flujo de aire el que está trayendo esporas del exterior y son

**Continúa en la página 6**



Las personas investigadoras del proyecto son Leonora de Lemos Medina, Álvaro Bermúdez Marín, Daniela Jaikel Víquez, Natalia Camacho Cambronero, Alejandra Segura Vargas, Alejandra Gómez Arrieta, Yojina Mora Quirós, Keylin Ureña Alvarado, Lasse Rautenberg, Isaí Fonseca Alfaro, Paula Calderón Mesén, María Isabel Sandoval Gutiérrez, Mauricio Redondo Solano, Óscar Andrey Herrera Sancho. Foto: cortesía de Oscar Andrey Herrera.

esas las que se están depositando en la habitación.

Los estudios determinaron que en la oficina de la Dirección hay hongos tanto del interior (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, etc.) como del exterior (basidiomicetos, etc.). Cabe destacar que encontraron más cantidad de estos microorganismos en las zonas donde las simulaciones indicaron que había una mayor presencia de partículas.

Jaikel resalta que en el proyecto, anteriormente, solo analizaban las obras en los techos, ya que utilizaban un andamio y

tomaban las fotografías en un solo plano. Sin embargo, como innovación, en este análisis, por primera vez, estudiaron un mural. Por tanto, requirieron hacer las fotografías y mediciones respectivas, variando los planos de medición.

A raíz de la necesidad de tomar fotos en horizontal y vertical del mural, Álvaro Bermúdez, estudiante de la carrera de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, diseñó un artefacto en el que pudieron colocar las cámaras y las luces de forma que se pudieran mover. Con este aparato

tomaron los planos necesarios y obtuvieron las gigantografías. Este prototipo ahora es utilizado en otras salas del Teatro donde también hay murales.

De Lemos menciona que el equipo también tenía la meta de identificar si hay una degradación del color con el que se pintó inicialmente la obra, debido a su antigüedad o a la deposición de partículas que identificaron en la simulación. Por ello, llevaron a cabo un muestreo de color.

El físico Óscar Andrey Herrera, uno de los investigadores, explica que realizaron

una medición de la luminosidad del color mediante un dispositivo llamado colorímetro. Este instrumento emite una luz en la superficie de la obra y mide la luz que rebota de la superficie. Esta medición de la luz que rebota es la luminosidad.

Si hay una mayor deposición de partículas en determinada zona, la luminosidad va a disminuir. Herrera expone un ejemplo sencillo para entenderlo: si alguien tiene una superficie y la cubre completamente de negro, la luminosidad de ese lugar va a ser cero porque tiene muchas partículas.

En la esquina noreste de la oficina de la Dirección, encontraron que, debido a una mayor deposición de partículas, esa parte de la obra tiene menor luminosidad que otras zonas del mismo mural que fueron pintadas al mismo tiempo y con el mismo pigmento. La luminosidad fue disminuyendo conforme se acercaron a esa zona.

Este aposento tiene tres ventanas que se abren periódicamente. Jaikel indica que las simulaciones que realizaron les permitieron determinar cuál configuración de dos ventanas abiertas permite una mejor ventilación y flujo de aire, que promueva una adecuada movilización de las esporas.

La idea es que las esporas de hongos entren (es inevitable), pero que también puedan salir. En el caso de los hongos del interior, la meta es que, cuando se estén reproduciendo, el flujo de aire permita la salida de esas esporas para que no queden depositadas en partes de las obras.

Estos datos son suministrados a los encargados del Teatro Nacional para su implementación, de manera que sirva como insumo para los procesos de restauración y de uso de los espacios.

## Conocimiento y ciencia UCR al servicio de la comunidad

Herrera indica que el proyecto se acerca a una problemática de Costa Rica: preservar las obras a pesar de las características ambientales del país. El físico destaca esta iniciativa costarricense porque este tipo de estudios de patrimonio cultural, generalmente, solo se realizan en museos reconocidos de Estados Unidos y Europa.

Jaikel, por su parte, recalca el aporte de la UCR para preservar el patrimonio del país, un acervo que para la investigadora es artístico, social e histórico y debe ser cuidado para las futuras generaciones.

La microbióloga agrega que el proyecto está en una etapa en la que no solo hacen el diagnóstico de las pinturas, sino que contribuyen a la preservación de la obra al brindar insumos a la administración del Teatro, los cuales permitan efectuar la restauración necesaria, como fue el caso de las obras "Musas I" y "Musas II", ubicadas en la Galería Enrique Echandi.

De Lemos resalta que la iniciativa utiliza el conocimiento y la ciencia que se genera en la Universidad para el estudio de elementos significativos de la sociedad. También señala el enfoque STEAM (ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemática, por sus siglas en inglés) del proyecto, lo que demuestra la importancia de abordar los problemas desde diferentes disciplinas que enriquezcan y beneficien el proceso. ■



La aplicación es una herramienta para analizar la calidad y salud del suelo de fincas bananeras de la Región Huetar Atlántica del país. Foto: Laura Rodríguez Rodríguez.

# Musalud: una aplicación para tomarle el pulso al suelo bananero

**Es una herramienta móvil que evalúa la salud y la calidad del suelo en fincas bananeras de Costa Rica**

*Andrea Marín Castro*  
[andrea.marincastro@ucr.ac.cr](mailto:andrea.marincastro@ucr.ac.cr)

El suelo es el cimiento de la agricultura, el recurso que sostiene la vida y la productividad de los cultivos. Sin embargo, la degradación y la contaminación amenazan su capacidad para seguir alimentando a las generaciones futuras.

En respuesta a este desafío, el M. Sc. José Pablo Vargas Fernández, docente e investigador de la Escuela de Agronomía y del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR),

desarrolló Musalud, la primera aplicación móvil gratuita del país diseñada para medir la calidad del suelo en sistemas bananeros.

La herramienta permite calcular un índice de calidad y salud del suelo a partir de diez indicadores físicos, químicos y biológicos, seleccionados con base en su relevancia agronómica y mediante análisis estadísticos. De manera sencilla y accesible, ofrece a los productores una "radiografía" del estado del suelo en sus fincas, acompañada de advertencias y recomendaciones para mejorar su manejo.

"Esta aplicación es como una radiografía: nos dice qué tan apto está el suelo para sostener la producción y en qué aspectos debemos poner atención", explicó José Pablo Vargas.

El proyecto nació en el marco de una tesis de maestría sobre salud y calidad

del suelo en plantaciones bananeras de la Región Huetar Atlántica del país, que tuvo la colaboración de Fresh Del Monte Produce.

A partir de los datos de esa investigación, José Pablo Vargas se propuso crear una herramienta práctica que trasladara los resultados científicos al campo. Fue entonces cuando se unió a Ólger Vargas Fernández, ingeniero en Ciencias de la Computación e Informática, egresado de la UCR, para materializar la idea en una aplicación móvil.

"Lo que se buscaba era plasmar las métricas de la tesis en una app, porque en el país no existían herramientas así, y mucho menos móviles. Las pocas que había eran para escritorio y de uso muy limitado", señaló Ólger Vargas.

Este ingeniero informático aceptó el reto y comenzó a explorar herramientas

accesibles para el desarrollo móvil. Investigó opciones y finalmente eligió Flutter y el lenguaje Dart, tecnologías que permitían construir aplicaciones ágiles con recursos abiertos.

## Tecnología al servicio del campo

Musalud fue desarrollada en colaboración con la Universidad de Costa Rica. Se empleó el SDK Flutter y bibliotecas como flutter\_map (para mapas interactivos) y fl\_chart (para visualizar datos y tendencias). El algoritmo central se basa en la metodología de distribución normal

**Continúa en la página 8**



La aplicación es de acceso libre y gratuito y se encuentra disponible en la tienda de Google Play, para sistema operativo Android. Foto: Laura Rodríguez Rodríguez.

acumulativa (CND), que pondera los indicadores y genera un índice entre 0 y 100, acompañado de un gráfico tipo semáforo que clasifica los resultados en tres niveles: alto, moderado o bajo.

El algoritmo se construyó con los datos que recopiló José Pablo Vargas en su tesis de maestría y con la información que estaba disponible en la base de datos de suelos de Costa Rica.

El sistema permite ingresar los resultados de los análisis de laboratorio, asignar coordenadas en el mapa y obtener un índice en tiempo real. Además, ofrece la posibilidad de guardar un historial de hasta cuatro meses para dar seguimiento al estado del suelo.

José Pablo Vargas explicó que la aplicación utiliza como entrada los parámetros del suelo que la finca ya dispone, junto con otros requeridos por el sistema, para generar como salida un índice de calidad del suelo. Este índice puede calcularse para uno o varios puntos específicos dentro de la finca.

El cálculo se hace en tiempo real y la aplicación le dará una nota o índice sobre la calidad y salud del suelo. Si el algoritmo detecta que existe un parámetro que está fuera de los rangos óptimos, se generará una advertencia y una observación de qué podría hacer para contrarrestarlo.

La aplicación guarda el historial de los datos que se van ingresando, para que se pueda dar seguimiento en el tiempo al suelo de la finca.

“Queríamos que fuera simple. Que el productor, con solo su celular, pudiera ver su finca en el mapa y saber si su suelo está en condiciones aptas y qué aspectos requieren atención. Incluso, puede comparar sus resultados a lo largo del tiempo”, destacó el investigador.

El desarrollo de Musalud representa un paso importante en la digitalización agrícola del país. El prototipo fue preseleccionado para presentarse en el congreso internacional Acorbat, donde se compartirá a especialistas del sector bananero. Su fortaleza radica en que fue construida con datos locales de más de 5 000 registros de suelos bananeros de la Región Huetar Atlántica del país, lo que asegura resultados adaptados a las condiciones nacionales.

## Beneficios de la aplicación

Para José Pablo Vargas, uno de los principales aportes de la aplicación es promover la conciencia entre los productores de banano sobre la importancia de

monitorear la calidad y la salud del suelo. Además, destacó que esta herramienta facilita ese seguimiento de manera práctica y técnica, lo cual permite evaluar con mayor precisión la aptitud del suelo para el cultivo de la fruta.

Asimismo, podrán identificar aspectos para corregir o mejorar en el manejo del suelo, así como para optimizar su calidad y salud. Esto también repercute en la información que se le ofrece al consumidor, que actualmente busca comprar productos de los cuales conozca su procedencia y los procesos de producción.

Desde una perspectiva económica, la aplicación implica un ahorro considerable para los productores, ya que obtener por cuenta propia los índices que esta aplicación proporciona requeriría una inversión elevada en investigaciones y análisis especializados.

“Musalud fue diseñada para democratizar el acceso a la información. Muchos productores pequeños no pueden costear estudios de suelo complejos. Esta app les brinda un diagnóstico accesible y confiable”, resaltó Ólger Vargas.

Además, el proyecto abre la posibilidad de extender su metodología a otros sistemas productivos como la piña, las hortalizas o las pasturas ganaderas, pues cada cultivo tiene su propia dinámica,

pero el principio es el mismo: conocer la aptitud del suelo para producir de forma sostenible.

La aplicación está disponible para Android, es de uso libre y gratuito y no recopila información personal. Los datos se almacenan únicamente en la memoria caché del teléfono y se eliminan al desinstalar la herramienta. Fue publicada de manera oficial en Google Play Store con el logo institucional de la UCR. ■

## Diez indicadores mínimos que utiliza la aplicación

- pH
- Acidez intercambiable
- Carbono orgánico total
- Biomasa microbiana
- Resistencia a la penetración (compactación del suelo)
- Biomasa de raíz funcional
- Circunferencia y altura de la planta
- Número de manos por racimo
- Densidad del nematodo *Radopholus similis*