



N° 17
WEBINARS
FONTAGRO

Iluminación Artificial de Cultivos: Tecnología de Luces LED

Viernes 16 de agosto
10:00 am
(Hora del Este,
Washington DC)



FONTAGRO



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina



INSTITUTO NACIONAL DE
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA
EN TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

GOBIERNO
DE COSTA RICA



Corporación colombiana de investigación agropecuaria



19946 – Producto 3. MEMORIA DEL WEBINAR “ILUMINACIÓN ARTIFICIAL DE CULTIVOS: TECNOLOGÍA DE LUCES LED”

Secretaría Técnica Administrativa

2024



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



FONTAGRO



GOBIERNO
DE COSTA RICA



Corporación colombiana de investigación agropecuaria





Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un programa de cooperación administrado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), pero con su propia membresía, estructura de gobernabilidad y activos. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Secretaría Técnica Administrativa.

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org





Índice de Contenido

Instituciones participantes	5
Agenda	6
Introducción.....	7
Bienvenida.	8
<i>Dra. Eugenia Saini, Secretaria Ejecutiva de FONTAGRO</i>	8
<i>Dr. Roberto Quiroz, Investigador del IDIAP Panamá</i>	8
<i>Dra. Lilia Muñoz, Vicerrectora de Investigación, Posgrado y Extensión Universidad Tecnológica de Panamá</i>	8
<i>Dr. Claudio Galmarini, Director Regional INTA, Mendoza, Argentina.</i>	8
Presentación general del tema.....	10
<i>Dr. Javier Pitti, Investigador de IDIAP - Panamá</i>	10
Presentación: “Iluminación Artificial de Cultivos (Tecnología de Luces LED). Conceptos Generales y Evaluaciones Agronómicas.”	11
<i>Ing. Agr. MSc. Germán Aguado, Investigador de INTA, Argentina.</i>	11
Presentación: “Desarrollo y Validaciones Tecnológicas”	14
<i>Ing. MSc. Héctor Rosales, CEPIA, Universidad Tecnológica de Panamá</i>	14
Preguntas y respuestas	16
Cierre	18
<i>Dra. Eugenia Saini, Secretaria Ejecutiva de FONTAGRO</i>	18
Conclusiones	19
Estadísticas	20

Estadísticas de YouTube	20
Anexo. Imagen del evento.....	21
Bibliografía	22
Biografías de los participantes	23

Instituciones participantes



Gobierno
de Costa Rica



Agenda

Hora	Actividad	Responsable
10:00 - 10:20	Apertura	Dra. Eugenia Saini, Secretaria Ejecutiva FONTAGRO Dr. Roberto Quiroz, Investigador del IDIAP Panamá Dra. Lilia Muñoz, Vicerrectora de Investigación, Posgrado y Extensión Universidad Tecnológica de Panamá Dr. Claudio Galmarini, Director Regional INTA, Mendoza, Argentina
10:20 – 10:25	Presentación general del tema	Dr. Javier Pitti, Investigador de IDIAP Panamá
10:25 - 10:45	Iluminación Artificial de Cultivos (Tecnología de luces LED). Conceptos Generales y Evaluaciones Agronómicas.	Ing. Agr. MSc. Germán Aguado, INTA, Argentina.
10:45 - 11:05	Desarrollo y Validaciones Tecnológicas	Ing. MSc. Héctor Rosales, CEPIA, Universidad Tecnológica de Panamá.
11:05 – 11:15	Preguntas y respuestas	-
11:15 – 11:20	Conclusiones y cierre	-

Introducción

La iluminación artificial en cultivos ha surgido como una solución innovadora para enfrentar los desafíos actuales en la agricultura, como la escasez de espacio, la variabilidad climática y la necesidad de utilizar los recursos de manera eficiente.

Diversas instituciones de investigación agrícola en América Latina han presentado avances en el desarrollo de esta tecnología, a partir de la cual reconocen su importancia para la agricultura que se desenvuelve en entornos urbanos y periurbanos.

Con la expansión del uso de luces LED en la agricultura, se busca no solo garantizar un suministro constante y sostenible de alimentos nutritivos, sino también optimizar el uso del espacio y los recursos disponibles. La aplicación de esta tecnología promete transformar el sector agrícola, especialmente en el contexto latinoamericano, donde la innovación y la adaptación de nuevas técnicas son fundamentales para el desarrollo futuro.

Grabación del webinar: haga clic [aquí](#).

Bienvenida.

Dra. Eugenia Saini, Secretaria Ejecutiva de FONTAGRO

Dr. Roberto Quiroz, Investigador del IDIAP Panamá

Dra. Lilia Muñoz, Vicerrectora de Investigación, Posgrado y Extensión Universidad Tecnológica de Panamá

Dr. Claudio Galmarini, Director Regional INTA, Mendoza, Argentina.

La Dra. Eugenia Saini realizó la apertura del webinar, manifestando que en un mundo en el cual la demanda de alimentos crece y cambia constantemente, los recursos naturales son cada vez más escasos. Por ello, los países tienen el desafío de usarlos de manera eficiente. En este marco, la innovación tecnológica es un pilar esencial para garantizar la sostenibilidad y la producción agropecuaria de las economías de América Latina y el Caribe.

La iluminación artificial de cultivos emergió como una solución revolucionaria para la agricultura porque no solamente permite hacer un uso más eficiente de la energía, sino que también ofrece la posibilidad de optimizar el crecimiento y el desarrollo de los cultivos. Por eso se plantea que estos cultivos crezcan en ambientes controlados. Esto quiere decir que, mediante la calibración de la intensidad y del espectro de luz, se puede influir en el ciclo de vida de los cultivos, mejorar su rendimiento y reducir el impacto ambiental asociado.

De esta forma, explicó que en este webinar se explorará cómo la iluminación LED puede ser utilizada en las diferentes etapas del cultivo y cómo puede contribuir a hacer frente a la necesidad de cultivar de una manera diferente a la tradicional y en ambientes pequeños. Finalmente, sostuvo que FONTAGRO asumió el compromiso de la promoción de estas innovaciones, el fortalecimiento de la resiliencia y la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios.

El Dr. Roberto Quiroz planteó que con el avance de las investigaciones en tecnologías LED, se han logrado desarrollar cultivos en ambientes controlados. En tal sentido, mencionó que, entre las medidas implementadas por el actual presidente de Panamá, José Raúl Mulino, se encuentra el incremento de ambientes controlados en el país para utilizar este tipo de tecnología. Algunas de las ventajas de este sistema son su bajo costo y su durabilidad. También permiten optimizar el manejo del sistema fotosintético, tanto el fotosistema 1 como el 2, aumentando la densidad de flujo de fotones y garantizando una mayor eficiencia con la que las plantas transforman la energía radiante en alimento. Al mismo tiempo, bajan la generación de calor, lo cual reduce los costos de enfriamiento de los ambientes controlados. Todo esto deriva en una mejora en el rendimiento y la calidad de los productos que se cultivan en estos ambientes.

Además, planteó que desde el IDIAP han utilizado estas tecnologías para cuantificar la eficiencia fotosintética y la respuesta al estrés hídrico. Mencionó que, en *Photosynthesis Research* (para ingresar a la revista, haga clic [aquí](#)), se publicaron artículos del sistema LEDFLEX que han desarrollado. En el mismo, se utilizan LEDs azules en 470 nanómetros. Estos desarrollos permiten estudiar cómo la planta responde a estrés, así como mejorar la eficiencia en el uso del agua. Este tipo de tecnologías pueden utilizarse para optimizar la producción de frutos a partir de generar

una mayor eficiencia de la fotosíntesis en los cultivos. Por último, señaló que el webinar contribuirá a mejorar la calidad de la producción en ambiente controlado en el continente.

La Dra. Lilia Muñoz manifestó la predisposición, por parte de los equipos de investigadores de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), para apoyar y articular la investigación y la innovación en temas de agricultura. Comentó que la articulación en el desarrollo en iluminación artificial de cultivos, lo realizan principalmente a través del Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales (CEPIA) de la UTP. Indicó que la iluminación artificial en cultivos es una técnica que actualmente ha permitido optimizar el crecimiento y desarrollo de plantas en entornos controlados. Esta técnica es esencial en la agricultura moderna y, especialmente, en un contexto en el cual la producción se lleva a cabo bajo climas no ideales, donde la duración de luz natural es insuficiente.

El Dr. Claudio Galmarini expresó su interés en la temática, así como en la cooperación para difundir estos sistemas en distintos lugares de América Latina y de América en general.

Presentación general del tema

Dr. Javier Pitti, Investigador de IDIAP - Panamá

El Dr. Javier Pitti comentó que esta iniciativa es producto de un trabajo articulado entre el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria de Costa Rica y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Planteó que los avances en la iluminación artificial son muy importantes porque permiten el desarrollo de la agricultura en zonas urbanas y periurbanas, ofreciendo una alternativa interesante y estratégica para asegurar el suministro de alimentos, no solamente inocuos sino nutritivos para la población. La búsqueda de estas alternativas de suministro de alimentos es muy importante, ante una migración marcada de las zonas rurales a las urbanas.

Manifestó que esta tecnología aplicada al sector agrícola garantiza el suministro y la producción de manera sostenible, mediante el uso eficiente del recurso hídrico y el manejo integrado de plagas y enfermedades. La tecnología LED en el sector agrícola se encuentra en expansión, gracias a su aplicación agrícola y vertical. Además, estas soluciones son más rentables, ya que permiten maximizar el aprovechamiento del espacio disponible.

Presentación: “Iluminación Artificial de Cultivos (Tecnología de luces LED). Conceptos Generales y Evaluaciones Agronómicas.”

Ing. Agr. MSc. Germán Aguado, Investigador de INTA, Argentina.

El Ing. Germán Aguado inició su presentación comentando que la agricultura enfrenta una gran cantidad de demandas debido a la poca disponibilidad de espacios, modificaciones en el clima, escasos recursos hídricos, entre otras limitantes. En tal sentido, las luces LED constituyen una tecnología que permite sortear algunas de estas dificultades.

Remontándose en el tiempo, indicó que, desde 1960 se empezaron a evaluar algunas longitudes de onda de luces rojas, para observar los efectos sobre los cultivos. En 1990, la *National Aeronautics and Space Administration* invirtió en investigación para la producción de cultivos en ambientes espaciales. A partir de 2000, la iluminación LED destinada a cultivos empezó a tener mayor impacto a nivel comercial. De esta forma, en estos últimos 20 años, se han ido evaluando diferentes alternativas de producción agrícola con luces.

El Ing. Aguado planteó que existen cuatro conceptos fundamentales en el sistema de iluminación con luces LED. Uno es PAR, que es la radiación fotosintéticamente activa. Se trata de la mayor parte del espectro visible que influye sobre la respuesta de las plantas, y se encuentra entre 400 y 700 nanómetros. Por su parte, el PPF es el flujo de fotones fotosintéticamente activos emitidos por un sistema de iluminación por segundo. El tercer concepto es el de la densidad, consistente en la cantidad de fotones que inciden por unidad de superficie (por metro cuadrado) y por unidad de tiempo (por segundo). Si eso se extrapola a la cantidad de segundos por día, se hablaría de moles por un metro cuadrado por día, que constituye una unidad que se denomina Integral de Luz Diaria (DLI). Esta es el requerimiento lumínico de las plantas, el cual varía por cultivo y por estado fenológico. Para un mismo DLI, se puede aumentar la intensidad de iluminación y disminuir los tiempos de exposición, o al revés, aumentar los tiempos de exposición, disminuyendo las intensidades.

Explicó que, en la obtención de las diferentes longitudes de onda, la multidisciplinariedad es de suma importancia. Con el tiempo, se han ido optimizando los sistemas. Esto permitió que, actualmente, se puedan desarrollar espectros personalizados considerando el cultivo y los distintos estados fenológicos.

En ese marco, comentó que, desde el INTA de Mendoza, Argentina, han colaborado con algunas empresas locales en el diseño de espectros que influyen no solamente en los procesos fotosintéticos y fotomorfogénicos, sino también en los procesos metabólicos que generan respuestas diferenciales en los cultivos.

De esta forma, el Ing. Aguado sostuvo que es necesario conocer, medir y monitorear cuatro parámetros en la iluminación artificial:

-
- La intensidad, que está dada por la cantidad de micromoles por metro cuadrado por segundo, que en un día se transforma en la Integral de Luz Diaria.
 - La composición del espectro que satisfaga la necesidad del cultivo.
 - La uniformidad, que es muy importante en la arquitectura que se utiliza para el diseño, sea una agricultura tipo *indoor* o semi-protégida a través de invernaderos.
 - Los tiempos de iluminación.

Asimismo, sostuvo que se requiere un monitoreo permanente y un ajuste en los sistemas de iluminación artificial. Idealmente, este monitoreo debería estar automatizado.

Otro concepto a considerar son las lámparas a utilizar. Para esto es preciso calcular las cantidades luminarias por el método de alumbrado superior, que es un método de ingeniería civil. Este se puede utilizar como aproximación en un ambiente, por ejemplo, en un invernadero. En estos espacios, la cantidad de lámparas se determinan en función de la radiación que emiten y de la demanda estimada. Explicó que se utiliza un software, para optimizar el sistema de iluminación, de manera tal que tenga una homogeneidad en todos los cultivos. Este sistema también es muy utilizado en los sistemas de agricultura vertical.

En cuanto a la ubicación de las luces, se puede disponer de una iluminación superior o se pueden colocar al costado, lo cual se llama *interlighting*. Si se trata de un sistema de agricultura vertical, se las podría colocar en todos los pisos. Es muy probable que el espectro electromagnético y la cantidad de radiación que emitan las luminarias, sea diferente de acuerdo a la ubicación de las luces.

Además, comentó los avances en dos ensayos que están realizando para evaluar espectros de luz que diseñaron en conjunto con una empresa argentina. En los mismos, han modificado dos espectros con participación relativa de diferentes luces rojas y azules. Con estos experimentos, observaron que las respuestas en plantines de tomate, lechuga y albahaca, fueron diferentes para los espectros, no solamente a nivel de rendimiento, sino también a nivel de pigmentos fotosintéticos y clorofilas.

Asimismo, manifestó que, al aumentar la intensidad de luz, aumenta el índice relativo de clorofila, que deriva en una respuesta de peso seco y una proporción de raíces mayor. Estas condiciones son muy importantes para las empresas plantineras y para los productores que utilizan este material de propagación, a fines de que tengan una buena colonización de esas raíces en los agroecosistemas donde van a ser trasplantados, sean macetas o suelos.

Finalmente, destacó que la utilización de LED es muy innovadora porque permiten:

- Aumentar la producción
- Mejorar la calidad
- Extender las temporadas del cultivo en períodos de bajas temperaturas
- Controlar el crecimiento en función de los procesos fotomorfogénicos
- Aumentar la densidad de siembra

-
- Generar mayor eficiencia en el uso del espacio
 - Cultivar en interiores o en áreas donde haya poca luz natural
 - Optimizar la fotosíntesis a través de la cantidad y la calidad
 - Reducir los ciclos de cultivo
 - Mejorar la uniformidad
 - Desarrollar nuevas técnicas de cultivo asociadas a modelos productivos de agricultura 4.0 o 5.0

Entre los desafíos, planteó que es necesario estudiar espectros personalizados, a nivel de productores, especies, tecnologías, intensidad y factores ambientales. Se está buscando calidad no solamente nutricional sino nutracéutica, así como procesos automatizados que garanticen una mayor eficiencia energética, efectos positivos en la microbiología y sanidad de los suelos.

Presentación: “Desarrollo y Validaciones Tecnológicas”

Ing. MSc. Héctor Rosales, CEPIA, Universidad Tecnológica de Panamá

El Ing. Héctor Rosales planteó que la iluminación artificial en cultivos es una tendencia que para Latinoamérica tiene algunos años, pero en otros países se viene implementando desde hace varios años. Algunos de los países que lo implementan son Japón, donde la empresa Mirai Co. Ltd., es capaz de producir, en 1.200 metros cuadrados, hasta 10.000 unidades de lechuga diaria, por día. Sostuvo que empresas como esta, conocen la necesidad de producir alimentos, están invirtiendo en la construcción de sistemas hidropónicos y tienen un sistema de control ambiental total, es decir, son sistemas completamente cerrados, con estrictas normas sanitarias de limpieza. Para entrar, se requiere tener cuidado con las partículas de impurezas que puedan perturbar el crecimiento de las plantas. En estas plantas se producen lechugas y hierbas.

El Ing. Rosales identificó que estas plantas de fábricas con luz artificial, se construyen en un esquema en el cual se distribuyen los costos de producción. Este tipo de tecnologías constituyen una respuesta al cambio climático que está afectando a los cultivos tradicionales. Al encontrarse en un sistema en el cual están totalmente protegidas en ambientes controlados, gozan del potencial de producir los 365 días al año. Sin embargo, los costos en energía eléctrica representan un costo de un 28%, según Kozai, Fujiwara, & Runkle (2016), lo cual es muy significativo. Principalmente en países en donde el suministro de energía eléctrica es costoso. En estos sistemas, el agua solamente representa el 1%, ya que reducen el consumo de agua sustancialmente.

Además, mencionó que existe una gran cantidad de tecnologías que se aplican dentro de la producción de plantas utilizando luz artificial. Algunas de ellas sirven para controlar la producción del CO₂, para medir la fotosíntesis, la fluorescencia y para mapear la temperatura. En algunos países, se utilizan también sistemas de calefacción, otros que utilizan sistemas de acondicionamiento de aire. También se utilizan múltiples sensores de conductividad eléctrica para medir el calcio, el fósforo y el nivel de iluminación. Se suelen utilizar bombas para controlar el nivel de la solución nutritiva. Todo esto requiere una buena capacidad energética y una buena conexión a la red eléctrica pública.

Explicó que la razón por la cual es interesante el empleo de luces LED, es la buena relación calidad-precio y el factor de conversión de energía (cuántos lumens se producen por cada watt) es relativamente alto. Además, hay un espectro amplio de colores que se pueden utilizar desde antes de los 400 nanómetros hasta después de los 700 nanómetros. Algunos colores afectan un poco más a la planta que otros: los colores verde y rojo son los más utilizados. También se puede utilizar la luz blanca, que, en esencia, contiene todos los colores.

Añadió que la vida útil de los dispositivos es larga. Puede tratarse de dispositivos en estado sólido o pueden ser semiconductores. Mencionó que las luces LED que utiliza, tiene una vida de 50.000 horas de uso, un fotoperíodo de 14-16 horas al día, lo cual se aproxima a alrededor de los 8 o 9 años. Indicó que, desde 1940, las lámparas incandescentes que se utilizaban, absorbían mucha

energía. A partir de 2010, se observa el desarrollo de lámparas LED blancas y las de LED orgánicas. Por su parte, las lámparas fluorescentes están siendo reemplazadas por la tecnología LED. Esto ha significado también un auge en la implementación de esta tecnología en la agricultura en ambiente controlado.

Por otro lado, mostró los casos de lámparas que pueden generar hasta 2140 - 3300 micromoles por segundo, lo cual constituye un flujo de micromoles bastante alto. Se trata de una lámpara que puede estar arriba de los 1200 dólares. Sin embargo, también mencionó el caso de lámparas más económicas, que pueden estar en 30 o 40 dólares.

Comentó que, para construir un sistema de iluminación artificial, es necesario investigar el requerimiento de luz de los cultivos con los que se trabajará. Una vez definido esto, es necesario identificar qué lámpara elegir, para lo cual también hay que considerar su vida útil.

Por otro lado, resaltó el consumo de potencia. Existen lámparas que pueden estar consumiendo 1000 watts de potencia. Si se utiliza una lámpara de ese tipo en un sistema de agricultura con iluminación artificial, el consumo eléctrico será muy intenso. Por lo cual, es necesario aplicar un análisis específico.

Posteriormente, presentó un proyecto que se desarrolló en el Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales (CEPIA), de la Universidad Tecnológica de Panamá, donde hubo participación de docentes, estudiantes y especialistas en ingeniería eléctrica. A partir del proyecto, se desarrolló un prototipo de un sistema de luces LED en lechuga. La iniciativa buscó medir la incidencia de este sistema en la calidad nutricional, crecimiento y desarrollo de este cultivo en un ambiente controlado.

El diseño conceptual de la propuesta implicó la realización de varias pruebas con diferentes tipos de LED. En principio, se realizaron algunas con tiras LED de un watt con LED tipo COB, chip *on board*. Luego, se probaron LEDs de 3 watts, 5 watts y 10 watts. A partir de las mismas, observaron mejores resultados en LEDs de 3 y 5 Watts y en las LEDs de 10 Watts, se observó un exceso de temperaturas. Posteriormente, se hicieron mediciones utilizando un medidor de PPF (Densidad de flujo de fotones fotosintéticos), que estimaba la cantidad de micromoles que emitía cada prueba. Para ello, se utilizó un software para simular diferentes alturas de exposición a las luces (a 20, 30 y 35 centímetros). Mediante estos ensayos, contemplaron una mayor densidad de fotones sobre el área central. Comentó que estas pruebas arrojaron resultados interesantes para la toma de decisiones acerca del diseño de estos sistemas. Una de ellas, fue descartar los LED de 10 Watts.

En tal sentido, indicó que, desde las universidades e institutos de investigación de Latinoamérica, es necesario experimentar y realizar desarrollos tecnológicos, aprovechando el potencial propio y extrapolando experiencias de otros países. En tal sentido, señaló que existe una oportunidad de desarrollar semiconductores en Latinoamérica en los próximos años para ser implementados en el área de agricultura.

Preguntas y respuestas

1. **¿Tienen estudiado el efecto del tiempo termal con el uso de las luces LED? ¿Cómo influye la intensidad del espectro de la luz artificial en la fisiología de la planta en etapa reproductiva?**

Ing. MSc. Héctor Rosales: Un importante aporte de las luces LED es que reducen la temperatura sobre la superficie. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado con el tipo de lámparas que se escogen. Si se escogen lámparas muy potentes, con el paso del tiempo, estas lámparas van a incrementar la temperatura dentro del área donde se esté trabajando. De esta forma, se recomienda utilizar lámparas apropiadas y a una altura considerable. En nuestro proyecto, las utilizamos a 30 centímetros. Pero eso depende del tipo de planta que se va a cultivar. En efecto a través del tiempo la temperatura en algunas lámparas se va a incrementar hasta estabilizarse.

2. **¿Se pueden complementar la luz natural con luces artificiales LED?**

Ing. Agr. MSc. Germán Aguado: Sí, efectivamente. En función de los requerimientos de los cultivos, se puede suplementar en función de la luz natural disponible. La intensidad y el tipo de lámparas dependerá de las características del lugar, el tipo de época del año y la latitud.

3. **¿Se puede cultivar microgreens?**

Ing. Agr. MSc. Germán Aguado: Si tenemos experiencia. Hemos hecho algunas experiencias complementarias con distintos. Hemos probado con muchas semillas de leguminosas y gramíneas. En general, va a depender del cultivo. No requieren tanta luz durante la etapa de germinación, pero es necesario investigar las especificaciones en función de las especies y de las condiciones ambientales.

Hay que recordar que la luz es un recurso más del ambiente. Si la temperatura no genera las condiciones propicias y no hay una cierta cantidad de dióxido de carbono, es muy probable que la respuesta en el cultivo no sea la deseada, por más que haya iluminación.

4. **¿Qué aspecto de luz se utiliza en la etapa reproductiva?**

Ing. Agr. MSc. Germán Aguado: Esto depende del cultivo y de la etapa fenológica del mismo. Pero en general se trabaja con espectros que relacionan o que manipulan la longitud de la onda roja y roja-lejana.

5. **¿Se puede estimar el espectro PPF?**

Ing. Agr. MSc. Germán Aguado: Los luxómetros están diseñado para medir los lúmenes que llegan a una determinada superficie y que son percibidas por el ser humano. Fueron desarrolladas para aplicarlos a la arquitectura o a la ingeniería civil. Conociendo el espectro, hay aplicaciones y

algoritmos que pueden determinar y permiten aproximarse a la cantidad. Sin embargo, no arroja la cantidad exacta de fotones, ni de qué espectro son.

6. ¿El sistema no funcionaría de la misma forma, en caso de que se decida arrancar desde un estado oscuro, se agregue iluminación de forma paulatina hasta alcanzar un punto de *break-even*, a partir del cual habría producción con la mínima luz necesaria?

Ing. Agr. MSc. Germán Aguado: En las pruebas realizadas, se han partido de las mínimas teóricas de publicaciones científicas, pero se requiere activar los aparatos fotosintéticos. Hemos observado que las plantas que estaban a 90 micromoles son igual de altas que las que están a 240, pero la biomasa disminuye un 40%. O sea, que pueden ser a nivel visual muy similares, pero adentro no tienen lo mismo. Es muy posible que haya expansiones celulares, donde haya mayor cantidad de agua, donde las respuestas fotosintéticas son importantes, pero están asociadas a procesos fotomorfogénicos.

Comentarios adicionales:

Dr. Claudio Galmarini: Como genetista, es interesante la mención que hicieron sobre la necesidad de identificar la especie para el diseño de estos sistemas. Es decir, es necesario considerar al sistema en su conjunto: las condiciones de luz, las condiciones hídricas, las condiciones de humedad, o de cantidad de dióxido de carbono en el ambiente.

Ing. MSc. Héctor Rosales: La tecnología actualmente brinda muchos recursos. Las lámparas disponibles se pueden configurar para controlar la potencia, controlar los colores, a fines de determinar cómo se deben ajustar estas variables para tener resultados efectivos.

Dr. Javier Pitti: Definitivamente el tema de luces LED es importante en el sector agrícola. Hay muchos desafíos por delante. El intercambio entre países es muy positivo. Es preciso observar qué están implementando los países avanzados. En América Latina y el Caribe, existe un gran potencial para el desarrollo productivo y tecnológico de este tipo de sistemas.

Cierre

Dra. Eugenia Saini, Secretaria Ejecutiva de FONTAGRO

La Dra. Saini comentó que la agricultura presenta grandes desafíos, entre los que se encuentran el abastecimiento de alimentos a las ciudades. En tal sentido, indicó que América Latina tiene una de las mayores tasas de urbanización respecto al resto del mundo. Es por ello, necesario pensar en cómo resolver el suministro de alimentos. Es por eso que desde FONTAGRO, se apoya el desarrollo de estas nuevas tecnologías.

Conclusiones

La iluminación LED se ha consolidado como una herramienta clave para superar las limitaciones tradicionales de la agricultura, como la escasez de espacio y la variabilidad climática. Su capacidad para optimizar el uso del espacio, controlar el crecimiento de las plantas y mejorar la eficiencia en el uso de recursos, especialmente el agua, la posiciona como una solución estratégica para asegurar la producción sostenible de alimentos en zonas urbanas y periurbanas.

Además, la posibilidad de personalizar los espectros de luz para satisfacer las necesidades específicas de cada cultivo y estado fenológico abre nuevas oportunidades para mejorar la calidad y el rendimiento de las cosechas. Los experimentos realizados han demostrado que los ajustes en la intensidad y la composición del espectro de luz pueden influir significativamente en los procesos fotosintéticos, fotomorfogénicos y metabólicos de las plantas, lo que permite obtener productos de mayor valor nutricional y comercial.

Por otro lado, la tecnología LED no solo ofrece ventajas en términos de producción y calidad, sino que también contribuye a extender las temporadas de cultivo, aumentar la densidad de siembra y reducir los ciclos de cultivo. Estos beneficios son especialmente relevantes en un contexto global marcado por la migración de las zonas rurales a las urbanas y la necesidad creciente de producir alimentos de manera eficiente y sostenible.

Sin embargo, el éxito de la iluminación artificial en la agricultura depende del monitoreo constante y el ajuste preciso de los sistemas de iluminación, así como de la selección adecuada de las lámparas en función de las necesidades específicas de cada cultivo. Los avances tecnológicos en este campo, junto con la colaboración entre instituciones de investigación y el sector privado, serán cruciales para maximizar los beneficios de esta tecnología y enfrentar los desafíos futuros del sector agrícola, especialmente en América Latina.

En resumen, la iluminación artificial en cultivos representa una solución innovadora y estratégica para asegurar un suministro constante y de alta calidad de alimentos, adaptándose a las exigencias de la agricultura moderna y contribuyendo a la sostenibilidad del sector.

Estadísticas

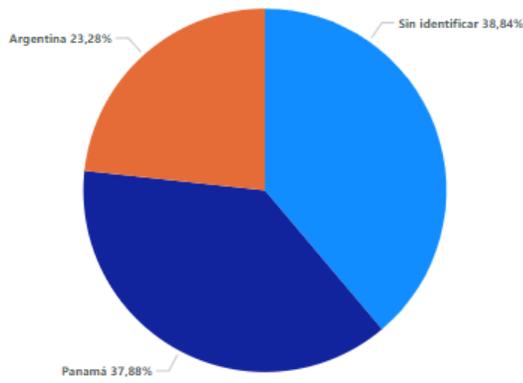
Estadísticas de YouTube

731
VISUALIZACIONES EN YOUTUBE

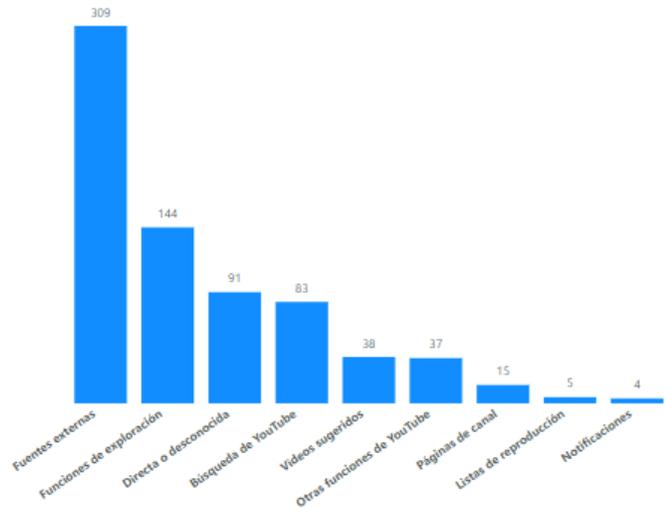
12
MINUTOS DE VISUALIZACIÓN
MEDIA EN YOUTUBE

14%
MINUTOS DE VISUALIZACIÓN
MEDIA EN YOUTUBE RESPECTO A
DURACIÓN DEL WEBINAR

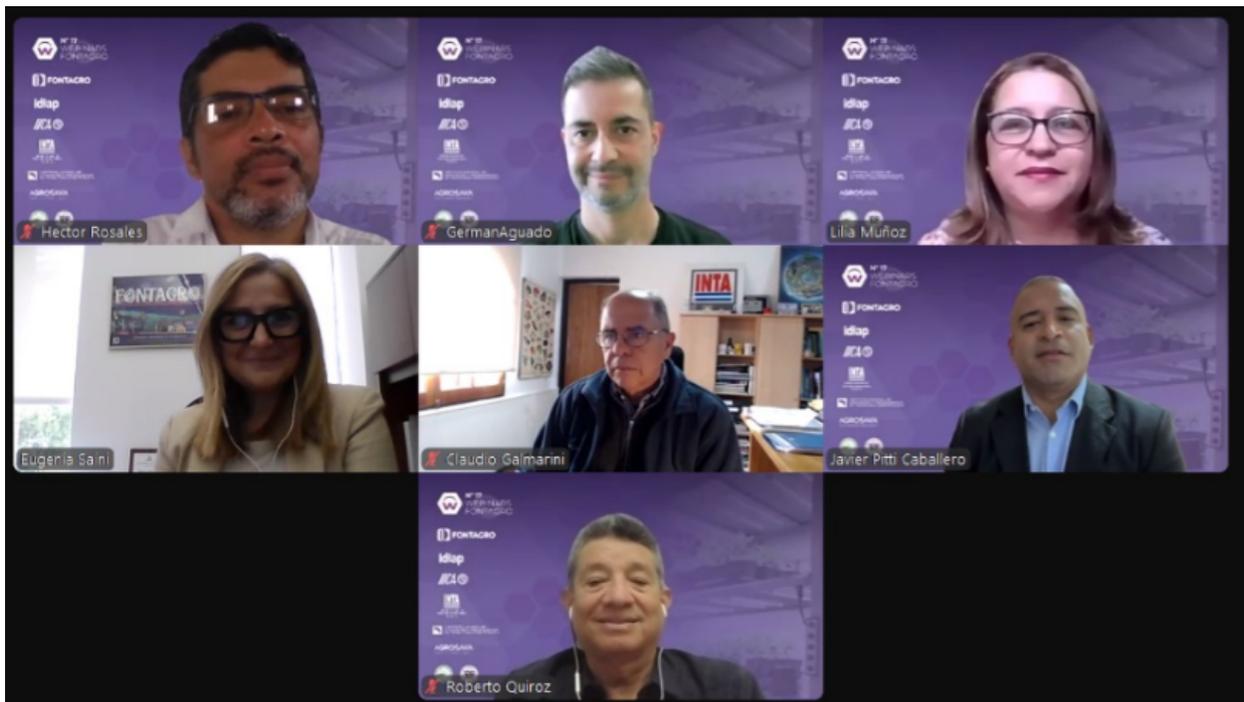
Visualizaciones por países



Visualizaciones por fuente de tráfico



Anexo. Imagen del evento



Anexo: Fotografía de los panelistas.

Bibliografía

Kozai, J., Fujiwara, K., & Runkle, E. (2016). *Iluminación LED para la agricultura urbana*. Springer Singapur. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-10-1848-0>

Biografías de los participantes

Eugenia Saini



Secretaria Ejecutiva de FONTAGRO. Ingeniera Agrónomo, doctora en Ciencias Agropecuarias, apasionada por la agricultura, la alimentación de las personas y la mejorar la vida de los agricultores. Con 25 años de trabajo en la planificación estratégica y ejecución de la cooperación internacional en ciencia e innovación, promoviendo la agroindustria y el desarrollo sostenible. Su desafío es fortalecer las alianzas estratégicas públicas y privadas competitivas que mejoren la gobernabilidad y aumenten las inversiones. La trayectoria profesional de Eugenia le permite trabajar en equipos multiculturales e interdisciplinarios, compartiendo conocimientos de ciencias básicas y aplicadas, gestión financiera de portafolios, agronegocios y diseño de políticas. Recibió una beca Fulbright en la Universidad de Cornell y, más recientemente, la beca Abshire-Inamori Leadership Academy (AILA) en el Centro de Estudios Estratégicos e Internacionales (CSIS) en Washington D.C.

Roberto Quiroz



Asesor del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. Científico formado en ciencias básicas, pero con amplia experiencia en investigación, innovación, desarrollo y formación de capacidades en ciencia, agricultura, cambio climático y manejo de recursos naturales. Durante los 10 primeros años de su vida profesional, fue funcionario del IDIAP, donde fue becado para culminar sus estudios de maestría y doctorado en North Carolina State University. Ha sido funcionario internacional trabajando para el Instituto de Investigaciones para el desarrollo de Canadá (CIID, 7 años), el Centro Internacional de la Papa (CIP, 23 años), y en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 5 años). En 1998 participó como científico visitante en el equipo de radar del Jet Propulsion Laboratory, EEUU (NASA-JPL). Además, es profesor visitante de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), desde el 2004 y desde el 2018, de la Universidad de Missouri – Columbia. También es profesor emérito del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Lilia Muñoz



Vicerrectora de Investigación Posgrado y Extensión de la Universidad Tecnológica de Panamá. Ingeniera de Sistemas Computacionales por la Universidad Tecnológica de Panamá, posee una Maestría en Computación con énfasis en Sistemas de Información en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, un Posgrado en Docencia Superior y Alta Gerencia, un Doctorado en Aplicaciones de la Informática de la Universidad de Alicante, España. Posdoctorado en Didáctica de la Investigación. Se desempeña como docente-investigadora desde hace 30 años en la Universidad Tecnológica de Panamá. Coordinadora del Grupo de Investigación en Tecnologías Computacionales Emergentes. Ha publicado más de 100 artículos de investigación. Es revisora de artículos para diversas revistas, congresos. Investigadora principal y co investigadora en proyectos de Senacyt y la Unión Europea. Ganadora del Premio Cuasar 2021 como investigadora del Año, primera mujer en ganarlo.

Claudio Galmarini



Director del Centro Regional de Investigaciones Mendoza-San Juan del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina. Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional de Cuyo (Argentina), Magíster Scientiae en Fitomejoramiento del IAMZ (España), y PhD en Genética Vegetal y Fitomejoramiento de la Universidad de Wisconsin- Madison (Estados Unidos). Desde 1988 es obtentor de hortalizas en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), trabajando principalmente en el mejoramiento de cebolla, zanahoria y pimiento. Desde 2005 hasta 2020 coordinó el Programa Nacional de Investigación en Hortalizas y Flores del INTA. También es profesor de Cultivos de Hortalizas en el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional de Cuyo, donde ha dirigido el posgrado de cultivos de hortalizas. También es investigador principal del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas).

Javier Pitti Caballero



Ingeniero Agrónomo con una especialización en Agroquímica y Edafología, egresado de la Universidad Agraria de San Petersburgo, Federación de Rusia. Tiene una Maestría en Gerencia de Empresas Agropecuarias, un Postgrado en Docencia Superior, además realizó estudios de Doctorado en Ciencias Agrícolas y Biología de Organismos en la Universidad de Angers, Francia. Durante su vida profesional ha desempeñado cargos como supervisor de producción de fresas y vegetales bajo condiciones de ambiente protegido en la empresa privada y desde el año 2011 se destaca como Investigador Agrícola en el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Es líder regional del Proyecto "Agricultura Vertical: Innovación para la horticultura en América Latina y el Caribe (ALC)", financiado por FONTAGRO.

Germán Aguado



Ingeniero Agrónomo (Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Cuyo). Mendoza, Argentina (2012). Título de Posgrado: Magister Scientiae en Horticultura, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina (2015). Trabaja en el Área de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Desarrollo de tecnologías de manejo y optimización de recursos bio-físicos ambientales en cultivos protegidos y a campo. Consultor internacional y participante de proyectos nacionales INTA para la Intensificación Productiva Sostenible bajo cubierta y gestión de sistemas productivos vitícolas con enfoque ecológico. Responsable técnico de ensayos de experimentación, transferencia de tecnologías y vinculación público-privada. Gestión técnica y administrativa de proyectos. Fue docente en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza 2007-2021 en la Licenciatura en Enología, Mendoza, Argentina.

Héctor R. Rosales



Licenciado en Tecnología Electrónica, de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá (U.T.P.). Título de Maestría en Ingeniería Electrónica, de la Facultad de Ingeniería, de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, Colombia. Título de Maestría en Energías Renovables y Ambiente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica, (U.T.P.). Docente activo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, en el Centro Regional de Coclé, U.T.P. (2000-2024). Co investigador del Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales, en el proyecto "Efecto de luces LED en la calidad nutricional, crecimiento y desarrollo de la lechuga en ambientes controlados". Evaluador del proyecto de grado "Diseño y construcción de un prototipo de lámpara LED para el cultivo bajo ambiente controlado". Participante en el Curso de Horticultura Protegida y Fábricas de Plantas, en el Centro para el Medio Ambiente, la Salud y Ciencias, Universidad de Chiba, Japón. Responsable del proyecto, "Automatización de una Casa de Cultivo de Hortalizas para tierras bajas en la provincia de Coclé. Miembro de la Comisión de Semiconductores de la Universidad Tecnológica de Panamá. Asesor de proyectos de tesis, práctica profesional y proyectos de la Jornada de Iniciación Científica, (U.T.P.). Expositor de múltiples seminarios y talleres en el tema de la electrónica, robótica aplicada y la automatización.

Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org