

Análisis del ácido giberélico desde la cartografía conceptual con enfoque bioético y sustentable

Analysis of gibberellic acid from conceptual mapping through a bioethical and sustainable approach

Jorge Alejandro Palma Soto*, Haydee Parra Acosta, Nuvia Orduño Cruz

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México. C.P. 31200.

Tel: 614-439-1844. p213062@uach.mx

*Autor de correspondencia

Resumen

El ácido giberélico permite el aumento del rendimiento, el control de diferentes etapas del desarrollo y el estrés abiótico en cultivos. Diversas investigaciones sugieren que la exposición de animales de laboratorio al ácido giberélico podría estar asociada al mal funcionamiento de órganos. El objetivo de este trabajo fue identificar, desde la bioética y la sustentabilidad, los beneficios y perjuicios del uso del ácido giberélico mediante la cartografía conceptual y la socioformación. Para ello, se desarrollaron los ocho ejes de la cartografía conceptual. Se encontró que existe interés en la producción y aplicación sustentable del ácido giberélico; sin embargo, no se atiende a los principios de la bioética. Por esta razón, se concluyó que el enfoque bioético y sustentable en el uso del ácido giberélico debe introducirse desde la formación de los profesionales del campo para generar conocimientos que ayuden a desarrollar formulaciones eficientes y selectivas.

Palabras clave: Agroquímico; desarrollo; salud.

Abstract

Gibberellic acid increases yield, the control of various developmental stages, and abiotic stress in crops. Research suggests that exposure of laboratory animals to gibberellic acid may be associated with organ malfunction. The objective of this work was to identify from bioethics and sustainability the benefits and harms of the use of gibberellic acid through conceptual mapping and socioformation. To this end, the eight axes of conceptual cartography were developed. It was found that there is interest in the production and sustainable application of gibberellic acid; however, that does not comply with the principles of bioethics. For this reason, it is concluded that the bioethical and sustainable approach in the use of gibberellic acid should be introduced from the training of agricultural professionals to generate knowledge that helps develop efficient and selective formulation.

Keywords: Agrochemical; development; health.

Recibido: 08 de diciembre de 2021

Aceptado: 28 de abril de 2022

Publicado: 08 de junio de 2022

Cómo citar: Palma Soto, J. A., Parra Acosta, H., & Orduño Cruz, N. (2022). Análisis del ácido giberélico desde la cartografía conceptual con enfoque bioético y sustentable. *Acta Universitaria* 32, e3420. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2022.3420>

Introducción

El aumento de la población humana ha generado una alta demanda de productos para la alimentación y la vestimenta. Esto ha motivado la expansión de la agricultura intensiva, que, para mantener altos rendimientos de producción, acude al uso de agroquímicos para enfrentar los daños provocados por malezas, plagas y enfermedades, así como la falta de nutrientes y las condiciones climáticas, es decir, estrés biótico y abiótico (Majeed, 2018).

Una gran cantidad de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, pesticidas y fungicidas) son compuestos tóxicos y químicamente estables que permanecen dispersos en el medio ambiente y con potencial para volverse dañinos para todas las formas de vida. En el ser humano, la exposición a estos productos se ha asociado a anomalías congénitas, problemas de aprendizaje, supresión inmune, trastornos hormonales, disfunciones reproductivas y cáncer (Polanco *et al.*, 2019).

Debido a los daños provocados por los agroquímicos tanto a la salud como al medio ambiente, grupos sociales han protestado durante años para exigir el uso responsable e informado de agroquímicos para mitigar sus efectos negativos (Chiappe, 2020). Estas demandas se han traducido en el endurecimiento de las regulaciones, la cancelación de permisos a productos nocivos y la formulación de compuestos más eficaces, selectivos y sustentables (Sparks & Lorschach, 2017).

La sustentabilidad consiste en el uso equilibrado de los recursos del entorno a través del tiempo, de manera que las generaciones humanas presentes y futuras puedan desarrollarse plenamente (Ben-Eli, 2018). Además, la agricultura está sujeta a la vigilancia de la bioética, esta promueve el respeto a la vida en todas sus formas y en conjunto con los ecosistemas (García & Ángelo, 2017).

Por lo tanto, la atención a los problemas de la agricultura, como la reducción del espacio disponible para cultivos, la decadencia de los recursos naturales y el cambio climático (Pereira *et al.*, 2019; Salas-Zapata & Ortiz-Muñoz, 2019), no debe desvincularse de la protección a la biodiversidad, los recursos naturales y la distribución de alimentos de calidad, libres de tóxicos, que conlleven al deterioro de la salud de los consumidores (Caicedo-López *et al.*, 2021).

Desde 1930, la agricultura ha recurrido al uso de reguladores de crecimiento vegetal (compuestos químicos de origen natural o sintético) para manipular el desarrollo y la tolerancia al estrés. Estos compuestos cuentan con actividad biológica, similar a la ejercida por fitohormonas endógenas (Alcántara *et al.*, 2019; Tadeu, 2019).

El ácido giberélico es un regulador de crecimiento vegetal que desempeña roles importantes en la germinación de semillas, elongación de tallos, inducción de la floración, incremento del crecimiento de frutos y manejo del estrés abiótico (Peng *et al.*, 2020). Su importancia comercial ha aumentado en los últimos años, al igual que las técnicas de producción con las cuales se pretende un alza en la disponibilidad, distribución y aplicación en la agricultura (Camara *et al.*, 2020).

Estudios recientes en mamíferos indican la asociación entre el daño celular en tejidos blandos (mama, pulmón, riñón, corazón, estómago y bazo) y la exposición al ácido giberélico por forma ocupacional (contacto dérmico e inhalación) y por consumo de productos frescos (frutas y vegetales) (El-Beltagi *et al.*, 2017; Hassan *et al.*, 2019), de manera que una mayor disponibilidad de ácido giberélico podría resultar en el incremento de problemas de salud. Por esta razón, se considera necesario realizar una revisión documental sobre el uso de ácido giberélico, su interacción con el medio ambiente y los efectos en la salud de los trabajadores y consumidores.

El objetivo de este trabajo es identificar, desde la bioética y la sustentabilidad, los beneficios y perjuicios del uso del ácido giberélico mediante la cartografía conceptual y la socioformación para crear conciencia de los riesgos presentes y futuros.

Materiales y métodos

Tipo de estudio

Se realizó una revisión documental con enfoque cualitativo de los conceptos *bioética*, *sustentabilidad* y *ácido giberélico*, por medio de los ejes de la cartografía conceptual: noción, categorización, caracterización, diferenciación, clasificación, vinculación, metodología y ejemplificación (Tobon *et al.*, 2018).

Técnica de análisis

Se buscaron, en Google Académico, Scielo y Scopus, artículos, libros, revistas y tesis doctorales que abordaran (en español e inglés) los conceptos *bioética*, *sustentabilidad* y *ácido giberélico*, además de sus combinaciones por medio del término booleano AND. Todo el material literario debió cumplir con lo siguiente (Tobon *et al.*, 2018):

- Haberse publicado posterior al año 2015.
- Ser de naturaleza académica o científica.
- Abordar los conceptos bioética, sustentabilidad y/o ácido giberélico.
- Contribuir al desarrollo conceptual de los ejes de la cartografía conceptual.

Los documentos obtenidos se gestionaron con el programa Mendeley Desktop®; una vez analizados, se seleccionaron los que abordaron las interrogantes de la cartografía conceptual (Tabla 1).

Tabla 1. Ejes de la cartografía conceptual aplicados a la bioética, sustentabilidad y ácido giberélico.

Categoría	Pregunta central
Noción	¿Cuál es el concepto de bioética, sustentabilidad y ácido giberélico?
Categorización	¿Dentro de qué proceso mayor o clase general están los conceptos de bioética, sustentabilidad y ácido giberélico?
Caracterización	¿Cuáles son las características esenciales de bioética, sustentabilidad y ácido giberélico?
Diferenciación	¿De qué otros conceptos cercanos y que estén en la misma categoría difieren la bioética, sustentabilidad y ácido giberélico?
Clasificación	¿En qué subclases o tipos se clasifican los conceptos bioética, sustentabilidad y ácido giberélico?
Vinculación	¿Con qué procesos sociales, históricos, económicos y políticos se relacionan con la bioética, sustentabilidad y ácido giberélico?
Metodología	¿Cuál es la metodología de aplicación de la bioética y sustentabilidad para solucionar el problema del ácido giberélico desde la socioformación?
Ejemplificación	¿Cuál podría ser un ejemplo relevante y pertinente de aplicación de los conceptos bioética, sustentabilidad y ácido giberélico?

Fuente: Adaptado de Ortega-Carbajal *et al.* (2015).

Fases del estudio

La investigación documental se llevó a cabo de la siguiente forma (Ortega-Carbajal *et al.*, 2015):

- Fase 1: Se buscaron fuentes que abordaran los conceptos bioética, sustentabilidad y ácido giberélico.
- Fase 2: Se analizó la información y relaciones entre los conceptos bioética, sustentabilidad y ácido giberélico.
- Fase 3: Se seleccionaron ideas de diversos enfoques para contrastar los conceptos.
- Fase 4: Se desarrollaron los conceptos siguiendo los ocho ejes de la cartografía conceptual.
- Fase 5: Se discutieron los resultados con la perspectiva de otros autores.

Resultados

Noción de bioética, sustentabilidad y ácido giberélico

La bioética se define, según la Real Academia Española (RAE), como el “estudio de los problemas éticos originados por la investigación biológica y sus aplicaciones” y la ética como el “conjunto de normas morales que rigen la conducta de la persona en cualquier ámbito de la vida”.

El término bioética fue introducido para la medicina por el oncólogo Van Renssealer Potter en 1970. Desde su perspectiva, los procesos médicos debían adquirir un enfoque integral de mayor alcance que la autonomía del paciente y su participación en las decisiones de los procedimientos médicos, por lo que añadió al bien social el reconocimiento de interacciones ambientales y a la adopción de consideraciones éticas (Avci, 2017).

En consecuencia, la bioética promueve el respeto a la vida, el ecosistema y el medio ambiente; no responde exclusivamente al campo de la medicina, pero sí incluye áreas de la ciencia y la tecnología donde participen la manipulación de la vida (biotecnologías, ingeniería genética), la preservación de especies (animales y vegetales) y la gestión del entorno (Cassinelli, 2017; García & Angelo, 2017).

El término sustentable o sostenible se define por la RAE como aquello que “se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente”. En general, la sustentabilidad se puede considerar como una estabilidad en la que una cantidad permanece invariable, como la dinámica observada en la interacción de una población y la capacidad de carga de su entorno (Ben-Eli, 2018). Así mismo, tiene implicaciones que traspasan las fronteras temporales y espaciales asociadas con las naciones; por ello, se relaciona con la gestión y conservación de los bienes comunes de la humanidad, áreas y recursos fuera de la jurisdicción soberana de los países (Valera & Salazar, 2020).

En las últimas décadas, se ha expuesto en foros mundiales el avance del deterioro ambiental. En 1987, la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED, por sus siglas en inglés) señaló que “el desarrollo solamente puede ser sustentable cuando satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras” (Arora *et al.*, 2018).

Entonces, la producción de alimentos, fibras, combustibles y otros servicios ambientales que se originan de componentes biofísicos y socioeconómicos no deben atenderse desde una lógica económica de corto plazo, por el contrario, tienen que integrarse a la agricultura sustentable para mantener o aumentar la producción demandada por la población sin comprometer los recursos naturales y sociales futuros (Tonolli, 2019).

El ácido giberélico es un producto biotecnológico de alto valor económico, es utilizado en la agricultura como fitohormona natural, sola o en conjunto con otras (Da Silva *et al.*, 2021). La aplicación en cultivos, como el maíz, tomate, caña de azúcar, entre otros, muestra beneficios favorables al crecimiento y desarrollo vegetal, tales como el rompimiento de la dormancia, la inducción de la floración y la actividad enzimática, la respuesta al estrés abiótico y el retraso de la maduración poscosecha de frutos (Camara *et al.*, 2018; Da Silva *et al.*, 2021; Werle *et al.*, 2020).

Categorización de bioética, sustentabilidad y ácido giberélico

La bioética es un campo de la filosofía práctica, un área interdisciplinaria apoyada en disciplinas biológicas, económicas, religiosas, filosóficas, políticas y legislativas para producir el bien social presente y futuro. Con su idea central de respeto a la vida, aborda conflictos éticos surgidos en las ciencias biológicas, incluyendo la contaminación con productos químicos y el uso excesivo de insecticidas (Cassinelli, 2017; Hardy & Rovelo, 2015).

La sustentabilidad cuenta con un núcleo inter y transdisciplinario que reorganiza las relaciones entre la ciencia y la práctica (Nagatsu *et al.*, 2020), se enfrenta a las decisiones sobre la vida y el medio ambiente por medio de la armonización de la ética y la razón con un componente cultural (Rivera-Hernández *et al.*, 2017) y con apego a los tres pilares de la sustentabilidad: ecología, economía y sociedad (Salas-Zapata & Ortiz-Muñoz, 2019).

Los promotores de crecimiento vegetal son un grupo de hormonas constituidos por auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico y etileno. Actúan generalmente a bajas dosis (del orden de mg Kg⁻¹), sin aporte nutrimental y, en la mayoría de las veces, sin presentar fitotoxicidad (Rademacher, 2015).

El ácido giberélico (GA₃) es una de las más de 130 giberelinas que han sido aisladas a partir de plantas, hongos y bacterias. A pesar de ser un grupo extenso, solamente poseen actividad biológica GA₁, GA₃, GA₄ y GA₇; el resto actúan como precursores o metabolitos desactivados (Binenbaum *et al.*, 2018).

Caracterización de bioética, sustentabilidad y ácido giberélico

La bioética incorpora conceptos amplios como la supervivencia en general, el respeto a la vida en sus diversas manifestaciones, el medio ambiente y el ecosistema, sus referenciales se inscriben a las bases conceptuales de (García & Ángelo, 2017):

- No universalización de situaciones diferentes.
- Respeto al pluralismo moral.
- Actitud para constituir un nuevo núcleo de conocimientos multi, inter y transdisciplinarios.
- Ser una aplicación de la ética.
- Análisis de hechos a partir del pensamiento complejo y de la totalidad concreta.

Estructuración del discurso con base en la comunicación y lenguaje con la conveniencia pacífica para diferentes visiones morales.

Para la sustentabilidad, el tiempo desempeña un papel importante y establece vínculos entre el ser humano y los problemas que enfrentarán las generaciones futuras (Zarta, 2018). Contempla la coevolución de sistemas sociales y ecología, sus interacciones y mutuas transformaciones, así como arreglos socioecosistémicos sin degradación de funciones y estructura básica (Acevedo *et al.*, 2020).

Entonces, se entiende a la sustentabilidad como un acuerdo normativo cuyo marco conceptual guía tres elementos (Valera & Salazar, 2020):

- Preservar lo que se considera valioso y que, de presentar deterioro, pondría en desventaja a generaciones futuras.
- Establecer la forma en que se resuelven dilemas globales y criterios que permitan alcanzar la sustentabilidad.
- Reconocer la responsabilidad del ser humano en la interacción con otras formas de vida y su ecosistema; el no hacerlo implicaría la disminución en la calidad de vida en términos de biodiversidad, integridad y adaptabilidad.

El ácido giberélico es un ácido carboxílico tetracíclico dihidroxi- γ -lactónico con masa molecular de $346.37 \text{ g mol}^{-1}$. En su forma pura, es un polvo cristalino blanco con punto de fusión entre $233 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $235 \text{ }^{\circ}\text{C}$, soluble en alcohol, acetona, acetato de etilo, acetato de butilo y ligeramente soluble en agua (5 g L^{-1}). Se degrada fácilmente en soluciones acuosas, alcalinas y a altas temperaturas (Camara *et al.*, 2018; Da Silva *et al.*, 2021).

Las plantas, en general, presentan bajas concentraciones de ácido giberélico (del orden de $\mu\text{g Kg}^{-1}$), por lo cual, la producción industrial se realiza mediante microorganismos o síntesis química (Da Luz-Costa *et al.*, 2018). La fermentación sumergida con el hongo *Fusarium fujikuroi* es la principal vía de obtención del producto con fines comerciales (Camara *et al.*, 2018).

Las aplicaciones exógenas de ácido giberélico a diversos cultivos han mostrado resultados positivos en el desarrollo y tolerancia al estrés abiótico. Los efectos varían de acuerdo con la especie, el momento de aplicación y la concentración (Al Mahmud *et al.*, 2019; De Oliveira *et al.*, 2017). En cultivos hortícolas y frutales, la aplicación poscosecha aumenta la tolerancia al estrés por congelamiento durante el almacenamiento (Hu *et al.*, 2018).

Otro ejemplo es la aplicación por aspersión de ácido giberélico (50 ppm – 100 ppm) en tomate para incrementar el crecimiento vegetal y reproductivo, así como la reducción de la caída de flores y frutos. Con esto, los agricultores hacen frente a las adversidades climáticas para lograr buenos rendimientos con frutos de calidad (Pramanik *et al.*, 2017).

Diferenciación de conceptos cercanos a bioética, sustentabilidad y ácido giberélico

La bioética es una herramienta multidisciplinaria que pasó de atender problemas específicamente en el ámbito médico a estudiar factores naturales, tecnológicos y sociales (Hardy & Rovelo, 2015). Debido a esa expansión, se acerca a otros conceptos que reflejan la realidad actual.

Aunque la bioética y el bioderecho tienen el mismo objeto de estudio, este último aplica su óptica jurídica con el propósito de estudiar, comprender y regular las prácticas biocientíficas y las nuevas tecnologías. Su contexto trasciende a lo internacional para defensa de los bioderechos de quienes pudieran ser dañados por las biociencias (humanos y vida extrahumana), así como la tutela de bienes jurídicos más allá del genotipo (Valdés, 2020).

La biopolítica describe la relación del poder ejercido sobre la vida (individuos y poblaciones). Mantiene una relación de contrapeso con la bioética desde la cual se vigilan las políticas delineadas y delimitadas por los Estados para que funcionen de acuerdo con las necesidades actuales de globalización y multiculturalidad (González-Campos, 2019).

El concepto de sustentabilidad se refiere a los tipos de arreglos o interacciones socioecosistémicas cuyas dinámicas de existencia no comprometen su futuro por la degradación de sus funciones y estructuras básicas (Acevedo *et al.*, 2020). El desarrollo sustentable busca que los procesos productivos perduren en el tiempo con equilibrio ecológico, económico y social (Rivera-Hernández *et al.*, 2017).

La resiliencia es un concepto clave para la sustentabilidad. Se refiere a la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones, mantener sus funciones, renovarse y reorganizarse según las condiciones de los recursos naturales (suelo, agua y biodiversidad), el nivel de conocimiento, la capacidad de aprender y de gestionar los grupos humanos y sus instituciones (Balvanera *et al.*, 2017).

Todas las giberelinas activas cuentan con un esqueleto de 19 carbonos; a pesar de las similitudes químicas, se distinguen diferencias en sus efectos metabólicos. Sin embargo, la complejidad de los procesos de extracción solamente permite tener en el mercado mezclas de ácido giberélico con GA₄ y GA₄₊₇, ambas considerablemente más costosas que solamente el ácido giberélico (Camara *et al.*, 2018; Lale & Gadre, 2010).

Clasificación de bioética, sustentabilidad y ácido giberélico

La bioética contemporánea se organiza de acuerdo con las escuelas teóricas más influyentes, el análisis de un hecho puede realizarse desde cada una de esas posturas (Escobar-Picasso & Escobar-Cosme, 2010):

-La bioética utilitarista: Requiere de un cuidadoso cálculo del costo-beneficio de las decisiones y los resultados que se obtendrían de su probable aplicación.

-La bioética universalista: Las decisiones deben considerar la opinión subjetiva de la mayoría de las personas involucradas en el dilema ético para llegar al consenso. Es decir, deben exponerse los puntos de vista de todos los participantes para llegar a un acuerdo común.

-La bioética personalista: El eje de todo el debate es la persona y su cualidad de ser digna, el bien recae sobre el individuo. Es por esto que los derechos humanos pueden ser exigidos por una persona sin que importe su condición social o económica.

-El principalísimo bioético: En la actualidad se consideran cuatro principios como núcleo teórico de esta visión:

-El principio de beneficencia: Consiste en ofrecer siempre un bien al usuario. La beneficencia no discrimina, procura alcanzar a todos.

-El principio de autonomía: Es la facultad de gobernarse a uno mismo, la capacidad de tomar decisiones sobre lo que puede suceder con nuestro propio cuerpo.

-El principio de no maleficencia: Este principio expresa la obligación de no producir un daño de manera voluntaria.

-El principio de justicia: Contempla que todo individuo tiene derecho al trato igualitario como los demás seres humanos, sin importar las condiciones de su vida, salud, creencias o posición económica.

La sustentabilidad se ordena de acuerdo con la complejidad y alcance de su objetivo (Tonolli, 2019):

-Sustentabilidad ambiental: El propósito es la obtención de una producción constante o en ascenso a través del tiempo bajo la condición de mantener la cantidad y calidad de recursos naturales.

-Sustentabilidad económica: Está orientada a obtener, a lo largo del tiempo, un ingreso que permita a los actores sociales involucrados mantenerse o escalar en el campo económico del que participan, eficientizar económicamente el proceso productivo y promover la distribución equitativa de los factores de producción.

-Sustentabilidad social: Se pretende el desarrollo de un modo de producción que, a través del tiempo, otorgue beneficios y reproduzca en forma ampliada el capital social puesto en funcionamiento bajo condiciones dignas de trabajo, además de contemplar el criterio de equidad en la búsqueda de prosperidad y oportunidades sociales.

El ácido giberélico como agroquímico se clasifica de acuerdo con su concentración como ingrediente activo o como parte de otros ingredientes en las formulaciones, por el contenido de excipientes (antioxidantes, antiespumantes, agentes de encapsulamiento, aglutinantes, antiapelmazantes, diluyentes, protectores UV, surfactantes) y, finalmente, por la presentación en la que es distribuido (gránulos y polvos solubles, líquidos o tabletas) (Camara *et al.*, 2018).

Vinculación de la bioética, sustentabilidad y ácido giberélico

Desde la década de 1930, la agricultura hace uso de químicos para el control de plagas y enfermedades. Con la Revolución Verde (1960), el uso de agroquímicos se intensificó con el objetivo de combatir la crisis alimentaria mundial. La aplicación masiva de fertilizantes, pesticidas y herbicidas sigue presente, incluso se considera imprescindible para potenciar la producción agrícola (Lazo, 2017).

Las voces que advertían de los daños a la salud y el medio ambiente se levantaron poco después de la Revolución Verde; al mismo tiempo, se manifestaron quienes estaban a favor, promoviendo que, de existir elementos tóxicos, estos solamente afectarían a los trabajadores agrícolas que los manipularan de forma incorrecta, descartando todo riesgo para los consumidores. Posteriormente, se reconocería que la residualidad sí provoca daños a la salud a la población en general (Vargas & Coto, 2016).

Actualmente, el uso de agroquímicos como los plaguicidas sigue siendo excesivo. Sus efectos negativos se manifiestan de acuerdo con la magnitud y frecuencia en exposición ocupacional o por exposición crónica a pequeñas cantidades en la población en general. En este caso, las consecuencias se presentan a largo plazo, por ejemplo, cáncer, disfunciones endocrinas, neurológicas, reproductivas, entre otras (Silveira-Gramont *et al.*, 2018).

Los plaguicidas más utilizados pertenecen a los grupos de los carbamatos, organofosforados y piretroides. Los carbamatos y organofosforados inhiben la acetilcolinesterasa, lo que provoca el aumento del neurotransmisor acetilcolina que conduce a la contracción rápida de músculos voluntarios e involuntarios, algún tipo de parálisis y la muerte (Marrero *et al.*, 2017; Sánchez *et al.*, 2016).

Además de los efectos neurotóxicos, los carbamatos inducen inmunodepresión en el ser humano, contribuyendo a la predisposición a ciertos tipos de cáncer, alergias, enfermedades autoinmunes e infecciosas (Dhouib *et al.*, 2016). Los compuestos organofosforados se relacionan con daños hepáticos por alteraciones en el metabolismo y daño oxidativo, influenciando el desarrollo de problemas de obesidad y diabetes tipo 2 (Czajka *et al.*, 2019; Karami-Mohajeri *et al.*, 2017).

Los piretroides son un grupo de insecticidas que se agrupan en dos clases (I y II), de acuerdo a su toxicidad y a la adición de un grupo ciano (clase II). En general, se consideran de baja toxicidad debido a que los efectos negativos se manifiestan a dosis altas en mamíferos. Los experimentos con ratas permiten distinguir síntomas como conducta excitada, agresividad, pequeños temblores que progresan a todo el cuerpo y postración para los compuestos de la clase I y salivación profusa, fuertes temblores que evolucionan a coreoatetosis y convulsiones crónicas para los piretroides de la clase II (Costa, 2015).

La asociación de piretroides con organofosforados incrementa la toxicidad en seres humanos por la incapacidad del cuerpo para desintoxicarse, los síntomas predominantes corresponderán al insecticida de mayor concentración. El consumo de dosis extremadamente altas de piretroides o la combinación con organofosforados podría requerir de cuidados intensivos con consecuencias mortales (Ramchandra *et al.*, 2019).

En México, la presencia de residuos de plaguicidas en frutas y hortalizas es frecuente. Los problemas de exposición ocupacional, residualidad y contaminación del medio ambiente están ligados a los conocimientos y prácticas de los agricultores, el uso de equipo de protección personal y la disposición final de empaques y envases (Beyer-Arteaga *et al.*, 2019).

En los países subdesarrollados y en vías de desarrollo, la falta o incumplimiento de normativas para el uso de agroquímicos permite su manipulación indiscriminada. En cambio, en la Unión Europea y Estados Unidos, las autoridades han prohibido más de 500 agroquímicos, además, establecen límites seguros de los permitidos, de manera que no haya afectación a la salud humana y al medio ambiente (Caicedo-López *et al.*, 2021).

Por esta razón, la bioética busca la distribución de las responsabilidades en un marco amplio, con la participación de un número mayor de individuos (agricultores, académicos, científicos, tecnólogos y población en general) que puedan, por medio del consenso, desarrollar una agricultura sustentable, de acuerdo a los principios de beneficencia, no maleficencia, justicia y autonomía (Arriaga & Linares, 2013).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de EE. UU. considera al ácido giberélico como un compuesto de baja toxicidad (Categoría III y IV), por lo que las medidas ocupacionales preventivas básicas son suficientes, es decir, protección ocular/ facial (respiratoria en caso de polvos) y descarte de prendas en caso de derrame. En productos tratados con ácido giberélico, la concentración máxima permitida es de 0.15 ppm y 0.5 ppm para mezcla de giberelinas (EPA, 1995).

Sin embargo, estudios recientes demuestran que el consumo de frutas y verduras tratadas con ácido giberélico induce, en humanos y animales, al estrés oxidativo, alteraciones patológicas del cerebro, pulmón, bazo, estómago, hígado, aparato reproductor y al desarrollo de efectos genotóxicos y cancerígenos (Ahmed & Nofal, 2021).

La administración de ácido giberélico a ratas macho durante ocho días mostró cambios histopatológicos y ultraestructurales en el tejido cortical renal de los sujetos tratados con dosis bajas ($100 \text{ mg Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$), mientras que el aumento a dosis altas ($200 \text{ mg Kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$) provocó daño severo de la corteza renal (El-Mancy, 2020). Por otro lado, manifestaciones nefrotóxicas se observaron en ratas en periodo de gestación y lactancia por consumo de $55 \text{ g}_{\text{ác. giberélico}} \text{ Kg}^{-1} \text{ rata}$ (Husseiny *et al.*, 2020).

En este sentido, el tratamiento de ratas por 30 días con ácido giberélico (2 mg Kg^{-1} - 20 mg Kg^{-1}) influenció el balance de citoquinas, responsable del desarrollo o aumento de enfermedades inflamatorias y tumores malignos (Öztürk *et al.*, 2019). La exposición *in vitro* entre semen humano y ácido giberélico mostró la pérdida de movilidad de los espermatozoides, por lo tanto, reducción de la fertilidad (Xu *et al.*, 2019).

Por otro lado, el uso de aceite de oliva como agente protector en ratones en estado prenatal redujo los daños histológicos e inmunohistoquímicos de hígado, riñón y piel provocados por el ácido giberélico (Abu Amra *et al.*, 2020). En ratas macho, la administración de jugo de granada limitó los daños oxidativos en tubos seminíferos y células espermatogénicas (Khalaf *et al.*, 2019).

Metodología de aplicación de la bioética y la sustentabilidad para solucionar el problema del ácido giberélico desde la socioformación

En la Tabla 2, se describen los pasos metodológicos para abordar el uso del ácido giberélico con enfoque bioético y sustentable desde la socioformación, así como la construcción de una estrategia didáctica y de investigación (Bermeo-Yaffar *et al.*, 2016).

Tabla 2. Elementos para abordar el uso del ácido giberélico desde la socioformación.

Elemento metodológico	Descripción
Identificación y descripción del problema	-Establecimiento de una necesidad, dificultad o vacío de conocimiento personal, organizacional o de varios entornos. -Establecimiento de una meta o propósito que se pretende alcanzar con un proceso de rigurosidad científica mediante pasos lógicos, fundamentados y articulados entre sí.
Recuperación del conocimiento	-Recuperar las herramientas, conceptos, definiciones y teorías pertinentes que aborden el problema en su integridad, incluir las palabras clave necesarias para realizar el proceso de codificación selectivo para análisis de contenido.
Gestión del conocimiento	-Considerar herramientas, procesos, conceptos, definiciones y teorías para abordar el problema. -Identificar los aportes realizados por otros autores, los vacíos de información y los aspectos débiles para contribuir a su mejoramiento.
Planteamiento de la resolución del problema	-Realizar la identificación, análisis, interpretación y aplicación de datos, convertir en conocimiento que contribuya a la mejora del entorno social y científico para la resolución del problema establecido inicialmente.
Resolución del problema	-Integrar la información de acuerdo con la construcción del conocimiento a partir de la interpretación y argumentación de los elementos revisados. -El conocimiento en proceso de construcción debe cumplir con criterios de relevancia, pertinencia, practicidad y validez para lograr la resolución al problema de manera integradora, innovadora y con aportes sistemáticos.

Fuente: Adaptado de Bermeo-Yaffar *et al.* (2016) y Ortega-Carbajal *et al.* (2015).

Ejemplificación de la aplicación de la socioformación para el uso del ácido giberélico con enfoque bioético y sustentable

Se expone el caso de aplicación de la metodología socioformativa para los conceptos bioética, sustentabilidad y ácido giberélico. Se desarrolló el proyecto formativo "El uso del ácido giberélico con enfoque bioético y sustentable" y se presentó en noviembre de 2021:

Identificación y descripción del problema

-Necesidad: A pesar de las regulaciones sobre el uso de agroquímicos, existe desinformación sobre los riesgos de estar en contacto de forma reiterada con el ácido giberélico y las consecuencias por no contar con el equipo de protección personal adecuado, la aplicación de concentraciones mayores a las necesarias y el traslado a los consumidores de productos frescos.

-Propósito: Generar acciones de impacto, desde el contexto académico, para promover la concientización sobre el uso del ácido giberélico y estimular la investigación desde la bioética y sustentabilidad para resolver el problema de exposición al ácido giberélico.

Recuperación de conocimientos

Se desarrolló una cartografía con los conceptos bioética, sustentabilidad y ácido giberélico como ejes para la resolución del problema.

Se emplearon criterios de selección de la información en buscadores de revistas indexadas con las palabras clave "bioética", "sustentabilidad" y "ácido giberélico".

Se organizaron las fuentes documentales de acuerdo con los criterios de codificación selectiva obtenida a partir de las preguntas de cada eje de la cartografía conceptual.

Gestión del conocimiento

Se encontraron vacíos en el abordaje del uso bioético del ácido giberélico. Si bien existen trabajos en los cuales se plantean los tres pilares de la sustentabilidad (economía, sociedad y medio ambiente) y las ventajas de su aplicación como elemento para la mejora de rendimientos productivos, no se hace mención de los principios bioéticos de beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia.

La evidencia muestra relación entre el contacto con el ácido giberélico (ocupacional y por consumo de productos tratados) y problemas de salud relacionados al deterioro de cerebro, corazón, pulmón, hígado, riñón y aparato reproductor, por lo cual, debe informarse a la sociedad para que en el uso de su autonomía puedan decidir libremente la forma en que deseen protegerse.

Planteamiento de la resolución del problema

Como primer paso, debe darse a conocer la información obtenida por investigaciones relacionadas a los efectos del ácido giberélico en la salud, aplicar los criterios de bioética y sustentabilidad desde la formación de los nuevos profesionales, buscando que la comunicación sea inter, multi y transdisciplinar.

El segundo paso consiste en fomentar el interés de nuevos investigadores enfocados en la creación de nuevas fórmulas más eficientes y selectivas para la contención de los daños ecológicos y en la salud desde los trabajadores agrícolas hasta el consumidor final.

Resolución del problema

Se convocó por medio de redes sociales (Facebook® y Whatsapp®), en grupos dedicados a temas agrícolas, a los interesados en la charla "El uso del ácido giberélico con enfoque bioético y sustentable".

Se presentaron las características principales del ácido giberélico, el creciente interés en su producción y aplicación sustentables; así mismo, se enfatizó la falta del enfoque bioético en las regulaciones que permiten su aplicación y el desarrollo de más investigación que aborde los problemas de la salud y medio ambiente.

Se evaluó la participación de acuerdo con el número de preguntas realizadas, la cual fue de 80%. Las dudas principales fueron entorno a las condiciones de degradación del ácido giberélico, las regulaciones a las que se sujeta, a la existencia de mecanismos de control y las formas en que pudiera inactivarse en los productos.

Discusión

El ácido giberélico es uno de los promotores vegetales más importantes, su actividad biológica permite hacer frente a los problemas actuales de la agricultura. Por ejemplo, la aspersión foliar (ácido giberélico 10 mM) en plántulas de pimienta y tomate ha permitido reducir el estrés salino (hasta 50 mM de NaCl) (Miceli *et al.*, 2020); en trigo, se ha reducido el estrés oxidativo causado por la sequía (Al Mahmud *et al.*, 2019); incluso en sistemas de hidroponía, con la adición (ácido giberélico 1 M) a la solución nutritiva, se ha logrado mayor crecimiento y calidad (acumulación de biomasa, expansión de hojas, aprovechamiento de nitrógeno y agua) (Miceli *et al.*, 2019).

La producción mundial de ácido giberélico es cercana a las 100 t año⁻¹ con precios de 200-350 USD Kg⁻¹ (Alibaba, 2022; Camara *et al.*, 2020). El incremento en su demanda ha promovido investigaciones enfocadas al desarrollo de técnicas que permitan obtenerlo de formas más económicas y, recientemente, sustentables. Por lo cual, la fermentación de estado sólido surge como la herramienta más adecuada, ya que mediante el uso de microorganismos (mayormente *Fusarium fujikuroi*) se revalorizan residuos agroindustriales como cáscaras de café, fibras de trigo, raquis de maíz y, en general, cualquiera que represente una fuente de nutrientes, con lo cual, se contribuye a la reducción de la contaminación ambiental (Ben-Rhouma *et al.*, 2020; Camara *et al.*, 2018)

La presentación del ácido giberélico como sustentable desde su origen, no debe quitar importancia a los efectos negativos que podría desencadenar en la salud humana y el medio ambiente. Aunque las normas lo clasifiquen como elemento no tóxico, pudo comprobarse durante la realización de esta revisión que la literatura especializada en los daños a la salud provocados por el ácido giberélico no es muy extensa, y los estudios a la exposición por residualidad y consumo crónico son aún insuficientes; por ello, Hassan *et al.* (2019) recomiendan usarlo con cautela.

El ácido giberélico y los subproductos de su descomposición conservan su toxicidad en el suelo y el agua, estos últimos en mayor grado (Zhang *et al.*, 2021). Los estudios sobre aspectos negativos del ácido giberélico en el medio ambiente se han realizado mayormente en mamíferos y peces. Para esta revisión, no se encontraron investigaciones sobre los daños causados a la flora; a pesar de ello, puede intuirse que favorecen el crecimiento acelerado de las plantas con síntomas similares a los provocados por la enfermedad de las plantas tontas (bakanae) causada por *Fusarium spp.* (Matic *et al.*, 2017).

Por lo tanto, el empleo de ácido giberélico en la agricultura debe adherirse a los criterios de la bioética y contar con la apertura académica, social y política necesaria para afrontar y dirimir los cuestionamientos que surjan, sin importar su complejidad (Fonti *et al.*, 2017). En este sentido, se debe considerar que los efectos tóxicos del ácido giberélico en la salud humana y el medio ambiente no provienen exclusivamente del manejo ocupacional inadecuado, sino que trasciende a una problemática compleja y multidimensional en donde intervienen las cadenas productivas y comerciales de alimentos y agroquímicos (Landini *et al.*, 2019).

El encapsulamiento de agroquímicos permite aprovechar los beneficios de los ingredientes activos sin comprometer el medio ambiente y la salud. Con el nanoencapsulamiento del ácido giberélico se asegura la estabilidad fisicoquímica, y la preservación de la actividad biológica permite una mayor biodisponibilidad y eficiencia a concentraciones menores. Por esta razón, estudios recientes evalúan protocolos de nanoformulación que ayuden a garantizar la inocuidad y seguridad alimentaria (Hafez *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2017; Sinha *et al.*, 2019).

Conclusiones

De acuerdo con lo abordado en este trabajo, se considera que, ante la importancia y alza en la aplicación del ácido giberélico en la agricultura, deben realizarse estudios más detallados sobre sus efectos en la salud humana y el medio ambiente, abordar desde la bioética y la sustentabilidad la problemática económica, ecológica y social que podría desencadenarse por el uso inadecuado del ácido giberélico.

Así mismo, deben promoverse normativas acordes a la defensa de la vida en todas sus formas e incentivar investigaciones que permitan formular agroquímicos con ácido giberélico de liberación controlada y encapsulados para evitar la residualidad y garantizar la inocuidad alimentaria. De igual forma, se deben implementar controles de vigilancia para el ácido giberélico y sus subproductos de descomposición.

Finalmente, la sociocformación juega un papel importante en la preparación de los profesionales agrícolas, quienes deberán estar listos para integrar su conocimiento a un entorno dinámico que les requerirá la generación de nuevos conocimientos y la capacidad de comunicarlos para mantener el equilibrio entre el uso benéfico del ácido giberélico y el bienestar social y ecológico.

Conflictos de interés

No existe conflicto de interés.

Referencias

- Abu Amra, E., Lashein, F., Seleem, A. A., & Saleh, M. M. (2020). The protective role of olive oil against gibberellic acid-induced embryotoxicity at prenatal stages of mice. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, *81*(1). doi: <https://doi.org/10.1186/s41936-020-00182-y>
- Acevedo, A., Ortíz-Przychodzka, S., & Ortíz-Pinilla, J. (2020). Aportes de la agrobiodiversidad a la sustentabilidad de la agricultura familiar en Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *23*(2), 1–18. http://fox.leuphana.de/portal/files/16176476/2992_14054_2_PB.pdf
- Ahmed, R., & Nofal, A. (2021). Ameliorating impact of *Phoenix dactylifera* L. leaves oil extract on testicular toxicity induced by gibberellic acid: Histomorphometric and immunohistochemical studies. *The Egyptian Journal of Histology*, *44*(1), 128–143. doi: <https://doi.org/10.21608/EJH.2020.23396.1250>
- Al Mahmud, J., Biswas, P. K., Nahar, K., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2019). Exogenous application of gibberellic acid mitigates drought-induced damage in spring wheat. *Acta Agrobotanica*, *72*(2), 1–18. doi: <https://doi.org/10.5586/aa.1776>
- Alcántara, J. S., Acero, J., Alcántara, J. D., & Sánchez, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, *17*(32), 109–129. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v17n32/1794-2470-nova-17-32-109.pdf>
- Alibaba. (s.f.). [*Ácido giberélico*]. Alibaba.com. https://spanish.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=gibberellic+acid&tab=rts
- Arora, N., Fatima, T., Mishra, I., Verma, M., Mishra, J., & Mishra, V. (2018). Environmental sustainability: challenges and viable solutions. In *Environmental Sustainability*, *1*, 309-340. Springer Singapore. doi: <https://doi.org/10.1007/s42398-018-00038-w>
- Arriaga, E., & Linares, J. (2013). La evaluación del riesgo de las plantas transgénicas: De la regulación a la bioética. *Revista de Bioética y Derecho*, (27), 38–57. doi: <https://doi.org/10.4321/s1886-58872013000100005>
- Avcı, E. (2017). Drawing on other disciplines to define quality in bioethics education. *Quality in Higher Education*, *23*(3), 201–212. doi: <https://doi.org/10.1080/13538322.2017.1407394>

- Balvanera, P., Astier, M., Gurri, F. D., & Zermeño-Hernández, I. (2017). Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 141–149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.005>
- Ben-Eli, M. (2018). Sustainability: definition and five core principles, a systems perspective. *Sustainability Science*, 13, 1337–1343. doi: <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0564-3>
- Ben-Rhouma, M., Kriaa, M., Ben-Nasr, Y., Mellouli, L., & Kammoun, R. (2020). A new endophytic *Fusarium oxysporum* gibberellic acid: Optimization of production using combined strategies of experimental designs and potency on tomato growth under stress condition. *BioMed Research International*, 2020, 1–14. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/4587148>
- Bermeo-Yaffar, F., Hernández-Mosqueda, J., & Tobón-Tobón, S. (2016). Análisis documental de la V heurística mediante la cartografía conceptual. *Ra Ximhai*, 12(6), 103–122. doi: <https://doi.org/10.35197/rx.12.01.e3.2016.05.fb>
- Beyer-Arteaga, A., Joyo-Coronado, G., Rodríguez-Quispe, P., Collantes-González, R. D., & Paz-Zagaceta, F. (2019). Inocuidad de los alimentos y riesgo para la salud: el problema del manejo y uso de agroquímicos por pequeños agricultores de costa central en Perú. *Revista Killkana Técnica*, 3(2), 23–30. doi: https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v3i2.572
- Binenbaum, J., Weinstain, R., & Shani, E. (2018). Gibberellin localization and transport in plants. *Trends in Plant Science*, 23(5), 410–421. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.02.005>
- Caicedo-López, L. H., Villagómez, A. L., Sáenz, D., Zavala, C. E., Espinoza, E., & Romero, H. (2021). Elicitors: Bioethical implications for agriculture and human health. *Revista Bioética*, 29(1), 76–86. doi: <https://doi.org/10.1590/1983-80422021291448>
- Camara, M. C., Vandenberghe, L. P. S., Rodrigues, C., de Oliveira, J., Faulds, C., Bertrand, E., & Soccol, C. R. (2018). Current advances in gibberellic acid (GA₃) production, patented technologies and potential applications. *Planta*, 248, 1049–1062. doi: <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2959-x>
- Camara, M. C., Vandenberghe, L. P. S., Sextos, G. C., Tanobe, V. O. A., Magalhães, A. I., & Soccol, C. R. (2020). Alternative methods for gibberellic acid production, recovery and formulation: A case study for product cost reduction. *Bioresource Technology*, 309, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123295>
- Cassinelli, M. (2017). Introducción a la bioética. *Revista Uruguaya de Cardiología*, 32(3), 240–248. doi: <https://doi.org/10.29277/ruc/32.3.4>
- Chiappe, M. (2020). Conflictos por uso de agroquímicos. El papel de las mujeres rurales en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 2(1), 1–15. doi: <https://doi.org/10.31285/agro.24.352>
- Costa, L. G. (2015). The neurotoxicity of organochlorine and pyrethroid pesticides. In M. Lotti & M. L. Bleeker (eds.), *Handbook of Clinical Neurology* (pp. 135–148). Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62627-1.00009-3>
- Czajka, M., Matysiak-Kucharek, M., Jodłowska-Jędrych, B., Sawicki, K., Fal, B., Drop, B., Kruszewski, M., & Kapka-Skrzypczak, L. (2019). Organophosphorus pesticides can influence the development of obesity and type 2 diabetes with concomitant metabolic changes. *Environmental Research*, 178, 1–16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108685>
- Da Luz-Costa, J., Lopes, A. L., Gollo, A., Ebling, G., Freire, L., Rodrigues, C., Porto de Souza, L., & Soccol, C. R. (2018). Crude fermented extract containing gibberellic acid produced by *Fusarium moniliforme* is an alternative to cost reduction in biofactories. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 61, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2018170214>
- Da Silva, L., De Andrade, C. J., De Oliveira, D., & Lerin, L. A. (2021). Solid-state fermentation in brewer's spent grains by *Fusarium fujikuroi* for gibberellic acid production. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(5), 13042–13052. doi: <https://doi.org/10.33263/BRIAC115.1304213052>
- De Oliveira, J., Rodrigues, C., Vandenberghe, L. P. S., Câmara, M. C., Libardi, N., & Soccol, C. R. (2017). Gibberellic acid production by different fermentation systems using citric pulp as substrate/support. *BioMed Research International*, 2017, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/5191046>
- Dhouib, I., Jallouli, M., Annabi, A., Marzouki, S., Gharbi, N., Elfazaa, S., & Lasram, M. (2016). From immunotoxicity to carcinogenicity: The effects of carbamate pesticides on the immune system. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 9448–9458. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6418-6>

- El-Beltagi, E. M., Elwan, W. M., Mohsen, N. A., & Salah, E. F. (2017). Histological and immunohistochemical study on the effect of gibberellic acid on the seminiferous tubules of testis of adult albino rat and the possible protective role of grape seeds proanthocyanidin extract. *Tanta Medical Journal*, 45(2), 79. doi: https://doi.org/10.4103/tmj.tmj_38_16
- El-Mancy, E. M. (2020). Histopathological and ultrastructural changes induced in the renal cortex of male rats by gibberellic acid. *Indian Journal of Science and Technology*, 13(1), 1–15. doi: <https://doi.org/10.17485/ijst/2020/v13i01/149213>
- EPA. (1995). [Gibberellic acid. EPA-738-F-95-005]. <https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/4110fact.pdf>
- Escobar-Picasso, E., & Escobar-Cosme, A. L. (2010). Principales corrientes filosóficas en bioética. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México*, 67(3), 196–203. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-11462010000300003
- Fonti, D. O., Heinzmann, M., & Stauber, J. C. (2017). Poner el cuerpo. La bioética pensada desde las víctimas y la crisis ambiental. *Revista Redbioética*, 1(15), 73–80. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/81063>
- García, R., & Ángelo, M. (2017). Epistemología de la bioética: extensión a partir de la perspectiva latinoamericana. *Revista Latinoamericana de Bioética*, 17(2), 107–122. doi: <https://doi.org/10.18359/rubi.2256>
- González-Campos, J. S. (2019). La bioética como contrapeso a la biopolítica. *Bioethics Update*, 5, 34–49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bioet.2019.02.002>
- Hafez, I. H., Osman, A. R., Sewedan, E. A., & Berber, M. R. (2018). Tailoring of a potential nanoformulated form of gibberellic acid: Synthesis, characterization, and field applications on vegetation and flowering. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(31), 8237–8247. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02761>
- Hardy, A. E., & Roveló, J. (2015). Moral, ética y bioética. Un punto de vista práctico. *Medicina e Investigación*, 3(1), 79–84. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/49590>
- Hassan, S. A. S., Abdel-Aziz, H. A. M., Mohamed, H. K., & Adly, M. E. (2019). Effects of exposure to gibberellic acid during pregnancy and lactation on the postnatal development of the renal cortex in the albino rat. *Journal of Current Medical Research and Practice*, 4(2), 121. doi: https://doi.org/10.4103/jcmrp.jcmrp_67_18
- Hu, Z., Weijian, L., Yali, F., & Huiquan, L. (2018). Gibberellic acid enhances postharvest toon sprout tolerance to chilling stress by increasing the antioxidant capacity during the short-term cold storage. *Scientia Horticulturae*, 237, 184–191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.018>
- Husseiny, N., Farag, A. I., & Mohammed, H. O. (2020). Histological and immunohisto-chemical study of toxic effect of gibberellic acid postnatally on renal cortex of albino rats. *Egyptian Journal of Histology*, 43(4), 1070–1086. doi: <https://doi.org/10.21608/EJH.2020.21044.1214>
- Karami-Mohajeri, S., Ahmadipour, A., Rahimi, H., & Abdollahi, M. (2017). Adverse effects of organophosphorus pesticides on the liver: A brief summary of four decades of research. *Arh Hig Rada Toksikol*, 68, 261–275. doi: <https://doi.org/10.1515/aiht-2017-68-2989>
- Khalaf, H. A., Arafat, E. A., & Ghoneim, F. M. (2019). A histological, immunohistochemical and biochemical study of the effects of pomegranate peel extracts on gibberellic acid induced oxidative stress in adult rat testes. *Biotechnic and Histochemistry*, 94(8), 569–582. doi: <https://doi.org/10.1080/10520295.2019.1602884>
- Landini, F., Beramendi, M., & Vargas, G. L. (2019). Uso y manejo de agroquímicos en agricultores familiares y trabajadores rurales de cinco provincias argentinas. *Revista Argentina Salud Pública*, 10(38), 22–28. <http://www.scielo.org.ar/pdf/rasp/v10n38/1853-810X-rasp-10-38-22.pdf>
- Lale, G., & Gadre, R. (2010). Enhanced production of gibberellin A₄ (GA₄) by a mutant of *Gibberella fujikuroi* in wheat gluten medium. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 37(3), 297–306. doi: <https://doi.org/10.1007/s10295-009-0673-1>
- Lazo, E. (2017). Efecto del uso de agroquímicos en vertebrados silvestres. *II Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología*, 1(1), 1140–1148. <https://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/195/165>
- Majeed, A. (2018). Application of agrochemicals in agriculture: Benefits, risks and responsibility of stakeholders. *Journal of Food Science and Toxicology*, 2(1), 1–2.

- Marrero, S., González, S., Guevara, H., & Eblen, A. (2017). Evaluación de la exposición a organofosforados y carbamatos en trabajadores de una comunidad agraria. *Comunidad y Salud*, 15(1), 30–41. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-32932017000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1690-32932017000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Matic, S., Gullino, M. L., & Spadaro, D. (2017). The puzzle of bakanae disease through interactions between *Fusarium fujikuroi* and rice. *Frontiers in Bioscience*, 9(2), 333–344. doi: <https://doi.org/10.2741/e806>
- Miceli, A., Moncada, A., Sabatino, L., & Vetrano, F. (2019). Effect of gibberellic acid on growth, yield, and quality of leaf lettuce and rocket grown in a floating system. *Agronomy*, 9(7). doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy9070382>
- Miceli, A., Vetrano, F., & Moncada, A. (2020). Effects of foliar application of gibberellic acid on the salt tolerance of tomato and sweet pepper transplants. *Horticulturae*, 6(4), 1–20. doi: <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040093>
- Nagatsu, M., Davis, T., DesRoches, C. T., Koskinen, I., MacLeod, M., Stojanovic, M., & Thorén, H. (2020). Philosophy of science for sustainability science. *Sustainability Science*, 15(6), 1807–1817. doi: <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00832-8>
- Ortega-Carbajal, M. F., Hernández-Mosqueda, J. S., & Tobón-Tobón, S. (2015). Análisis documental de la gestión del conocimiento mediante la cartografía conceptual. *Ra Ximhai*, 11(4), 141–160. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46142596009>
- Öztürk, H., Erin, N., & Balci, M. (2019). Effect of gibberellic acid on the levels of tumor necrosis factor- α , interleukin-4 and interleukin-10 in rats. *Turkish Journal of Endocrinology and Metabolism*, 23(3), 150–157. doi: <https://doi.org/10.25179/tjem.2019-65107>
- Peng, X., Zhao, W., Wang, Y., Dai, K., Cen, Y., Liu, Z., & Zheng, Y. (2020). Enhancement of gibberellic acid production from *Fusarium fujikuroi* by mutation breeding and glycerol addition. *3 Biotech*, 10(312), 1–10. doi: <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02303-4>
- Pereira, A., Oliveira, H. C., & Fraceto, L. (2019). Polymeric nanoparticles as an alternative for application of gibberellic acid in sustainable agriculture: a field study. *Scientific Reports*, 9(7135), 1–10. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43494-y>
- Pereira, A., Silva, P. M., Oliveira, J. L., Oliveira, H., & Fernandes, L. (2017). Chitosan nanoparticles as carrier systems for the plant growth hormone gibberellic acid. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 150, 141–152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.11.027>
- Polanco, A., Magaña, T., Cetz, J., & Quintal, R. (2019). Uso de agroquímicos cancerígenos en la región agrícola de Yucatán, México. *Centro Agrícola*, 46(2), 72–83. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0253-57852019000200072&script=sci_arttext&tlng=pt
- Pramanik, K., Priyadarshinee, S., Kumar, L., & Jayapuria, D. (2017). Role of gibberellic acid on growth, yield and quality of tomato: A Review. *International Journal of Chemical Studies*, 5(6), 826–830. <http://www.chemijournal.com/archives/2017/vol5issue6/PartL/5-6-25-374.pdf>
- Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34, 845–872. doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>
- Ramchandra, A. M., Chacko, B., & Victor, P. J. (2019). Pyrethroid Poisoning. *Indian Journal of Critical Care Medicine: Peer-reviewed, official publication of Indian Society of Critical Care Medicine*, 23(4), 267–271. doi: <https://doi.org/10.5005/jip-journals-10071-23304>
- Rivera-Hernández, J., Blanco-Orozco, N., Alcántara-Salinas, G., Houbron, E. P., & Pérez-Sato, J. A. (2017). ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto. *Revista Posgrado y Sociedad*, 15(1), 57–67. doi: <https://doi.org/10.22458/rpys.v15i1.1825>
- Salas-Zapata, W. A., & Ortiz-Muñoz, S. M. (2019). Analysis of meanings of the concept of sustainability. *Sustainable Development*, 27(1), 153–161. doi: <https://doi.org/10.1002/sd.1885>
- Sánchez, V. G., Gutiérrez, C. A., Gomez, D. S., Loewy, M., & Guiñazú, N. (2016). Residuos de plaguicidas organofosforados y carbamatos en aguas subterráneas de bebida en las zonas rurales de Plottier y Senillosa, Patagonia Norte, Argentina. *Acta Toxicológica Argentina*, 24(1), 48–57. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432016000100006

- Silveira-Gramont, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A. I., Jasa-Silveira, G., & Rodríguez-Olibarria, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: Un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 7–21. doi: <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.01>
- Sinha, T., Bhagwatwar, P., & Krishnamoorthy, C. (2019). Polymer based micro- and nano-encapsulation of agrochemicals. In T. J. Gutiérrez (ed.), *Polymers for agri-food applications* (pp. 5–28). Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19416-1>
- Sparks, T. C., & Lorsbach, B. A. (2017). Perspectives on the agrochemical industry and agrochemical discovery. *Pest Management Science*, 73(4), 672–677. doi: <https://doi.org/10.1002/ps.4457>
- Tadeu, J. P. (2019). Plant growth regulators in horticulture: Practices and perspectives. *Biotecnología Vegetal*, 19(1), 3–14.
- Tobon, S., Martínez, J., Valdez, E., & Quiriz, T. (2018). Prácticas pedagógicas: Análisis mediante la cartografía conceptual. *Revista Espacios*, 39(53). <https://cutt.ly/ckvXej>
- Tonolli, A. J. (2019). Propuesta metodológica para la obtención de indicadores de sustentabilidad de agroecosistemas desde un enfoque multidimensional y sistémico. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 51(2), 381–399. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1853-86652019000200030
- Valdés, E. (2020). ¿Qué es bioderecho? *Vestigium Ire*, 18(1), 9–11. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/iaveritatem/article/view/2271/1931>
- Valera, L., & Salazar, G. (2020). Challenging sustainability. From deconstruction to reconstruction. *Cosmos and History*, 16(1), 298–315. <https://www.cosmosandhistory.org/index.php/journal/article/view/846>
- Vargas, Y., & Coto, W. I. (26-29 de octubre de 2016). Alimentos con sabor a agroquímicos. Contaminación agrotóxica de alimentos y sus efectos en la salud de la población costarricense, 1950-2015. *VI Conferencia de La Tierra, Foro de Medio Ambiente: Naturaleza, Biodiversidad y Sustentabilidad* (Foro). https://www.researchgate.net/publication/315737692_Alimentos_con_sabor_a_agroquimicos_Contaminacion_agrotoxica_de_alimentos_y_sus_efectos_en_la_salud_de_la_poblacion_costarricense_1950-2015
- Werle, L. B., Abaide, E. R., Felin, T. H., Kuhn, K. R., Tres, M. V., Zobot, G. L., Kuhn, R. C., Jahn, S. L., & Mazutti, M. A. (2020). Gibberellic acid production from *Gibberella fujikuroi* using agro-industrial residues. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25, 1–5. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101608>
- Xu, C. S., Zhou, Y., Jiang, Z., Wang, L. E., Huang, J. J., Zhang, T. Y., Zhao, Y., Shen, W., Zou, S. H., & Zang, L. L. (2019). The in vitro effects of gibberellin on human sperm motility. *Aging*, 11(10), 3080–3093. doi: <https://doi.org/10.18632/aging.101963>
- Zarta, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: Un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, (28), 409–423. doi: <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>
- Zhang, L., Sun, Y., Xu, Z., Zhang, W., Huang, G., Liu, F., & Chen, L. (2021). Insights into pH-dependent transformation of gibberellic acid in aqueous solution: Transformation pathway, mechanism and toxicity estimation. *Journal of Environmental Sciences*, 104, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.11.009>