

¿QUE TAN FACTIBLE ES PRODUCIR SOLANINA COMO BIOPESTICIDA?

Yinna A. Cristancho¹

RESUMEN

Los biopesticidas son productos que se derivan de materiales naturales como plantas, animales, microorganismos e incluso algunos minerales; la preocupación por la salud humana y ambiental, además de la necesidad por cumplir los estándares de residuos permisibles han impulsado la venta de biopesticidas que va en evidente crecimiento por la notable demanda de cultivos orgánicos, adicionado a la progresiva preocupación por proteger el medio ambiente y reducir al máximo el uso de organoclorados y organofosforados presentes en pesticidas industriales que contribuyen de manera activa a la contaminación ambiental; sin embargo, existe un número limitado de pequeñas industrias comercializadoras de estos productos para el control de artrópodos de mercados especializados [1], la principal causa de baja producción en cuanto a pesticidas de origen orgánico o natural se fundamenta en su bajo perfil toxicológico y sus bajos registros en comparación con los pesticidas químicos, en particular algunas industrias han optado por usar extractos glicoalcaloides de plantas como chaconina y solanina que en sinergismo constituyen compuestos de elevada toxicidad y su actividad biológica los hacen eficientes para ser usados en la elaboración de pesticidas naturales [2], así mismo se vienen elaborando pesticidas basados en bacterias naturales, hongos y virus constituyendo biopesticidas microbianos de elevada eficiencia. Si bien los biopesticidas se han usado desde hace décadas existen razones para creer que esta industria está creciendo, pues existe cierta consolidación en el mercado de algunas compañías internacionales que comercializan una amplia gama de productos agrícolas y empiezan a incluir productos de este tipo en sus catálogos [1]

Glicoalcaloides como biopesticidas

Los glicoalcaloides esteroideos constituyen una clase de compuestos biológicamente activos encontrados en la planta de papa siendo Chaconina y Solanina los principales, cuyo estudio es importante debido a su alta bioactividad [3], no obstante la papa no es la única planta que posee estos compuestos, pues una amplia variedad de vegetales posee dentro de sus componentes principales solanina [4] que representa un glicoalcaloide de metabolito

¹ Escuela de Ciencias Químicas. Facultad de Ciencias. Grupo Catálisis (GC-UPTC). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Avenida Central del norte, Tunja, Boyacá Colombia

secundario que consiste en un mecanismo de defensa de las plantas contra plagas y depredadores [3] lo que le adjudica propiedades insecticidas al presentar alta toxicidad; por ejemplo, la solanina manifiesta una alta acción en la disuasión alimentaria en caracoles debido al sabor amargo que otorga a la planta que protege, puesto que representa un compuesto altamente eficaz en la inhibición de la neurotransmisión en la enzima acetilcolinesterasa [2][5] igualmente el compuesto puede usarse como pesticida natural sin representar ningún tipo de riesgo puesto que su presencia en el suelo por efectos de lixiviación u otros factores no constituye una amenaza para el medio ambiente ni el suelo por su rápida degradación [6]. La actividad biológica de la solanina no se limita a sus propiedades tóxicas como pesticida natural sino que además se le han adjudicado propiedades farmacológicas, también extractos de solanina han mostrado propiedades antioxidantes y antibacteriales por lo que pueden ser usados como conservantes de alimentos; en definitiva, la solanina posee una diversa gama de actividades biológicas, entre las que se destacan actividad antiparasitaria contra efectos inhibitorios en el desarrollo de células cancerígenas de la piel humana [4] y otros efectos farmacológicos, ambientales y alimentarios [7], sin embargo la principal limitación para la obtención de este compuesto está basada en la elevada toxicidad de los solventes usados en su extracción lo cual ha provocado que se desarrollen nuevas alternativas para su obtención fundamentadas en técnicas cromatografías puesto que métodos más simples como los gravimétricos y colorimétricos carecen de especificidad y sufren contaminación por otros componentes del tubérculo [3].

Las cáscaras de papa constituyen desechos que contienen compuestos fenólicos y glicoalcaloides que son usados ampliamente en la industria alimentaria y farmacéutica después de su extracción y purificación. El rendimiento de extracción de sustancias bioactivas en la papa depende de la selección del método dada su diferente naturaleza [8][9], sin embargo los niveles de solanina en el tubérculo constituyen valores de rendimiento relativamente bajos que varían según las características de la planta aun cuando representa el tubérculo en el que los niveles de este glicoalcaloide son mayores respecto a otros vegetales [10]. La cantidad de solanina en la

papa se ve notablemente influenciada por el estado del tubérculo que cuanto más verde está más cantidad del glicoalcaloide posee [8], igualmente sus estructuras y concentraciones dependen en gran medida de las líneas de papa y los factores ambientales, encontrándose que los glicoalcaloides pueden acumularse a niveles elevados en tubérculos verdes, almacenados, dañados e irradiados [3], adicionalmente hay que contemplar partes de la planta donde los niveles de solanina son superiores como la cascara y la raíz, sin embargo las hojas y la pulpa aunque poseen el glicoalcaloide, éste se encuentra en proporciones casi despreciables [8]. Los métodos de extracción de solanina en la papa se basan en procedimientos simples gravimétricos y colorimétricos usando solventes como etanol y metanol, sin embargo dado su alta contaminación con otros componentes, se hace necesario estudiar nuevas alternativas de extracción que maximicen su rendimiento y su pureza[11].

Técnicas de extracción de solanina

Los métodos que implican la extracción e identificación de solanina de tubérculos por solventes como metanol, etanol, cloroformo e hidróxido de amonio ofrecen rendimientos de extracción aceptables, sin embargo se corre el riesgo de que el producto se contamine con otros componentes presentes en la papa como por ejemplo fenoles. Para la extracción de solanina [11] acondiciono tres métodos desarrollados para tubérculos de papa que son descritos a continuación: el primero está basado en licuar junto con una solución de ácido acético al 5 % y etanol la muestra fresca previamente cortada y homogenizada para posteriormente filtrar al vacío junto con piedras de diatomeas , calentar el filtrado para reducir su volumen y alcalinizar con hidróxido de amonio para filtrar y obtener un residuo al que se le evapora el solvente obteniendo finalmente el analito de interés; el segundo método se fundamenta en una extracción micro-soxhelt en la que la muestra fresca y tratada anteriormente con etanol es macerada en un frasco ambar junto con ácido acético por un tiempo de 48 horas que seguidamente se filtra con hidróxido de amonio para ajustar su pH a 9 y se somete a baño maría por 5 horas y refrigera por 24 horas obteniendo un precipitado que es puesto en la cámara de extracción del equipo micro soxhlet con etanol por 5 horas , tiempo después del cual

se retira el extracto y se evapora su disolvente; finalmente en el método 3 se macera con metanol la muestra fresca y se deja reposar por un tiempo de 24 horas para posteriormente poner el extracto en un baño de ultrasonido para después filtrar junto con etanol absoluto y calentar el filtrado para reducir su volumen y realizar extracciones sucesivas con cloroformo y amoniaco en un embudo de decantación donde se recoge la parte orgánica para evaporar el disolvente y finalmente obtener solanina, los tres métodos ofrecen un buen rendimiento de extracción sin embargo la metodología tres es la que representa mejores resultados cuando se identifica la presencia de solanina por métodos espectrofotométricos y pruebas físicas de punto de fusión, solubilidad y colorimétricas como la prueba de Lieberman-Buchard , además de una cromatografía de capa fina que se le realiza a los extractos obtenidos.

[12] identifiqué la eficacia relativa de la extracción asistida por ultrasonido (EAU) y la extracción sólido-líquido (SLE), utilizando un método de extracción que usa como solvente metanol para obtener alcaloides esteroideos de desechos de cáscara de papa e identificando las condiciones óptimas de EAU para solanina y chaconina. La metodología consiste en extender las cáscaras del tubérculo sobre bandejas de aluminio y enfriadas a -40°C realizando una liofilización sobre la cáscara congelada, posteriormente se pulverizan las muestras y se envasan al vacío y mantienen a -20°C para su extracción en dos semanas. Para la sonificación se colocan las cáscaras de papa secas y pulverizadas en un recipiente a través del cual se hace circular agua y se añade el solvente de extracción en el que se sumerge la sonda de ultrasonido a una profundidad de 25 mm en el disolvente, procesando las muestras a una frecuencia constante. Para comparar la condición óptima de los EAU con una técnica de extracción convencional se llevan a cabo extracciones sólido-líquidas mezclando muestras secas y en polvo con metanol para después filtrar y mantener el extracto a 20°C para su posterior análisis; los alcaloides esteroideos se analizan usando cromatografía líquida de ultra rendimiento junto con espectrometría de masas con un volumen de inyección para todas las muestras de $5\ \mu\text{l}$. El método deja ver que la extracción de glicoalcaloides por EAU se ve notablemente influenciada por el tiempo de extracción sin embargo, muestra buenas eficiencias para la obtención de solanina mostrando

que estos extractos tienen un contenido de alcaloides considerablemente mayor que usando la extracción convencional sólido líquido lo que lo convierte en un método económico y amigable con el medio ambiente para extracción de solanina en la cascara de papa que puede ampliarse hasta nivel industrial.

El estudio realizado por [8] evaluó el efecto de diferentes solventes para la extracción de sustancias bioactivas de la cáscara y brote de la papa, definiendo la mejor extracción con solventes como agua, hidróxido de amonio y etanol-ácido, realizando un estudio fotoquímico y antimicrobiano donde se analizan diferentes bacterias. Inicialmente usa residuos de cascara y brotes de papa lavándolos con agua destilada, estos extractos son evaluados contra cuatro cepas bacterianas. Las muestras de cáscara y brote son secadas en un horno a una temperatura de 45°C por 24 horas y pulverizadas en una licuadora para después disolverse en agua realizando un macerado por un día, finalmente la muestra se liofiliza y almacena a -20°C hasta su análisis. Para la obtención de los extractos etanólicos- acidificados se dejan las muestras en el disolvente ácido bajo agitación constante por 12 horas en completa oscuridad, evaporando el disolvente a vacío. Para la obtención de los extractos con hidróxido de amonio se sigue un procedimiento similar al anterior salvo que el concentrado es resuspendido en ácido acético y posteriormente disuelto en hidróxido de amonio para obtener un precipitado que posteriormente se seca. Los extractos se someten a pruebas de precipitación y coloración para determinar la presencia de alcaloides y se evalúa la susceptibilidad antimicrobiana. La metodología permite evidenciar que el tipo de tejido de la planta y el solvente son factores que influyen en la abundancia de compuestos químicos con actividad biológica en la cáscara de papa, mostrando mayor actividad antimicrobiana el extracto con etanol acidificado y siendo el más ineficiente el de agua destilada, en adición, todos los extractos de cáscara de papa obtenidos presentan actividad antimicrobiana contra las cepas evaluadas, sin embargo, las concentraciones inhibitorias y bactericidas encontradas son demasiado elevadas.

Para la determinación de la concentración de glicoalcaloides estereoidales totales en extractos y evaluación de su actividad antimicrobiana [4] utiliza hojas de la especie *S. habrochaites* S. como

muestra para la extracción de solanina que constituye su principal glicoalcaloide, la muestra seca y tamizada se hidrata con agua destilada durante una hora, posteriormente se realiza la extracción con Etanol:Cloroformo en una proporción 2:1 agitando a una baja velocidad , posteriormente se filtra y se lleva el filtrado a rotaevapor concentrándose y disminuyendo el volumen de la solución , paso seguido, la solución acuosa se decanta junto con una solución de ácido acético y éter de petróleo, fracción 40-60, agitando vigorosamente y lavando varias veces hasta que no se evidencie la coloración verde característica de la clorofila. A continuación, se separa y se filtra la fase acuosa, la cual se transfiere a una fiola de 50 mL y se enraza con la mezcla de agua - ácido acético (98:2 v/v). La solución se almacena en un frasco ámbar de vidrio refrigerado, además, del extracto se toma una alícuota y se coloca en un erlenmeyer donde se le adiciona gota a gota hidróxido de amonio concentrado hasta un pH de 9, colocándolo luego el erlenmeyer en baño María 85°C por 10 minutos y enfriando a 5°C por 30 minutos, donde los glicoalcaloides son floculados. Finalmente, se centrifuga el contenido del erlenmeyer a 15000 rpm por 40 minutos, y luego se descarta el sobrenadante, se seca el precipitado y se guarda en un frasco de color ámbar bajo refrigeración.

La identificación cualitativa para los glicoalcaloides puede ser llevada a cabo mediante la metodología de [4] haciendo uso de los reactivos de Dragendorff, Wagner, Mayer y Lieberman Burchard, además la cuantificación de glicoalcaloides puede ser efectuada mediante métodos espectrofotométricos expresados como solanina, utilizando un patrón estándar en la elaboración de una curva de calibración. Los ensayos microbianos se pueden llevar a cabo con cepas microbianas tipificadas, preparando tres concentraciones de glicoalcaloides estereoidales disueltas en dimetil sulfóxido. Sobre las placas sembradas, se colocan en la superficie del agar inoculado los discos de papel de filtro previamente impregnados con las concentraciones de glicoalcaloides estereoidales y del control negativo dimetilsulfóxido (DMSO). También se colocan los discos estándares de antibiótico de referencia para cada microorganismo en particular como controles positivos. Posteriormente, los medios de cultivos inoculados se incuban a 37 °C durante 24 horas, realizándose lecturas de los halos de inhibición a las 24 horas para bacterias y

48 horas para hongos. Cabe destacar que el método permite evidenciar que las hojas de la especie de *Solanum habrochaites* presentan glicoalcaloides esteroideos totales expresados como solanina en una concentración considerable de hojas secas, asimismo, estos compuestos tienen actividad antimicrobiana frente *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* a todas las concentraciones ensayadas siendo más efectivos para *Staphylococcus aureus* para el que presenta una mayor selectividad.

[13] llevaron a cabo un estudio de los principales glicoalcaloides presentes en la cascara de papa enfocándose principalmente en la solanina que al poseer diferentes propiedades farmacéuticas es una buena opción para ser usada como tratamiento en algunos tipos de cáncer pero enfocándose principalmente en el cáncer de piel. Son usados brotes de papa secos para obtener el glicoalcaloide solanina; la extracción se efectúa mediante el uso de solventes como ácido acético, metanol y etanol bajo distintas proporciones y por separado teniendo en cuenta una proporción respecto a la materia prima de 1:20, la extracción se llevó a cabo en un equipo de reflujo controlando una temperatura de ebullición para cada solvente y después de dejar pasar un tiempo de 120 minutos se recolectaron muestras de cada matraz para su análisis después de ser sometidos a filtración y de hidrolizar el tercer extracto con ácido clorhídrico y enseguida todos los extractos fueron cuantificados respecto al número de glucoalcaloides mediante el uso de una curva estándar. Es importante notar que a la muestra que fue hidrolizada se le practicaron diferentes extracciones sucesivas usando cloroformo y triclorometano que a pesar de que son solventes con elevado índice de toxicidad permiten obtener un rendimiento mejor en la extracción y una pureza más elevada cuando el producto de interés es caracterizado por técnicas espectrofotométricas.

Técnicas actuales para la producción de solanina (Cell cultures)

Cultivos de células y tejidos de *S. laciniatum* son utilizados actualmente para la producción de compuestos esteroideos como solanina y chaconina; estudios realizados por [14] permiten

comprobar la acumulación de glicoalcaloides como solasolina en células de *S. hainanense* cuando se establece un cultivo en suspensión de dichas células. Para la producción de glicoalcaloides se hace uso del método de callus donde son extirpados segmentos de tallo de plantas de *S. hainanense* cultivadas *in vitro* suplementadas con sacarosa y ácido indolilbutírico [15], colocándolos en un medio complementado con ácido diclorofenoxiacético, teniendo especial cuidado en ajustar el pH del medio a 5,8 para ser sometido a autoclave a una temperatura de 121°C y un tiempo aproximado de 15 minutos, para posteriormente realizar la incubación de los cultivos a una intensidad de luz controlada; el cultivo de suspensión celular se inicia con la agitación de los segmentos extirpados y tratados en un medio líquido suplementado donde se varía la intensidad de luz para que se ocasione la formación y suspensión de células libres. Para medir el peso de la célula nueva, las células en el cultivo en suspensión se filtran, y lavan con agua destilada para luego pesar [16]. El peso de la célula seca es determinada secando la biomasa de células frescas a 40°C hasta un peso constante, para finalmente determinar el índice de crecimiento. La biomasa obtenida se tritura hasta obtener un polvo fino que es tratado mediante extracción con Soxhlet, el extracto de solasodina se disuelve en metanol a 10 ml, se filtra a través de membranas Minisart y se diluye 5 veces y se somete a cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) a temperatura ambiente, para el análisis de HPLC se hace uso de un patrón de glicoalcaloides para la determinación de la concentración.

El uso de la planta medicinal *Solanum lyratum* (Solanaceae) es una alternativa eficaz para la extracción de glicoalcaloides como solanina, sin embargo la disposición de la planta es limitada y sus cultivos son relativamente escasos, en vista a ello, [17] estudia la posibilidad de cultivar células de esta especie de planta como alternativa para la producción masiva de metabolitos secundarios de la planta con propiedades activas como glucoalcaloides y fenoles, usando para ello un cultivo de suspensión celular junto con diferentes ingredientes químicos para potencializar la proliferación de células que darán como resultado una cantidad elevada de solanina solasodina y solanidina que se hace necesario caracterizar como alcaloides

esteroideos y son especialmente de género *Solanum* que desempeñan un papel importante en las actividades de la planta cuando necesita defenderse de depredadores, patógenos microbianos y plagas y que en adición pueden ser usados como antibióticos antivirales [18][17].

Estudio la producción sintética de alcaloides esteroideos haciendo uso de sistemas *in vitro* a fin de optimizar la biosíntesis de los mismos, haciendo uso de colesterol y una serie de esteroides vegetales como precursores en la inducción del crecimiento masivo de los cultivos celulares. Para el cultivo se hace necesaria la recolección de la planta *S. lyratum* de las cuales se utiliza un segmento de tallo que es incubado bajo condiciones de poca luz para permitir su germinación y esterilización, cuando el cultivo en suspensión se suspende sobre una solución de sacarosa bajo agitación constante, subcultivando las células de esta manera por un periodo de dos semanas, tiempo después del cual se adicionan los precursores que consistían en colesterol y una mezcla de esteroides vegetales a condiciones apropiadas para garantizar el correcto crecimiento celular. El seguimiento al cultivo se lleva a cabo a intervalos de 3 días durante 21 días para posteriormente liofilizar las muestras y registrar el peso de cada una y determinando la curva de crecimiento del cultivo haciendo uso del método de células empaquetadas; finalmente las células se diluyen en soluciones metanolicas para su análisis por HPLC identificando la presencia de alcaloides esteroideos y comparándolos con soluciones estándar de solanina y solanidina, de este modo se identifica un método eficiente para la producción artificial de alcaloides con propiedades activas que pueden ser usados en un amplio número de actividades donde destacan sus propiedades como insecticidas y compuestos de elevada actividad en lo que se refiere a compuestos diana para la elaboración de productos farmacéuticos[19].

En su estudio de las propiedades activas de los compuestos en la cascara de papa hace uso de métodos diferentes para la extracción de los mismos en papas de diferente clase, de este modo identifica que el contenido de glicoalcaloides y compuestos fenólicos presenten en la cascara varían de acuerdo a su clase y modo de almacenamiento [20]. La extracción de glicoalcaloides, se realiza partiendo de la cascara de papa que anteriormente es liofilizada, a los que se le realiza la extracción con ácido acético acompañado de un baño ultrasonido por un periodo de 60

minutos, al que posteriormente se le realiza un lavado con hidróxido de amonio concentrado que dará origen a una precipitación de los glicoalcaloides solanina y chaconina; el análisis para todos los componentes activos presentes en el tubérculo se realiza usando HPLC que usa como fase móvil acetronitrilo, las concentraciones de α -chaconina y α -solanina en los extractos se calculan por comparación con las áreas de pico integradas de cantidades conocidas de los estándares mediante un sistema de HPLC de Hitachi. Los resultados que aporta el estudio son de fundamental interés y aporta ayuda al momento de seleccionar las cascara de las variedades de papa que tienen efectos beneficiosos, medicinales, nutricionales, biológicos e industriales, en adición los métodos descritos podrían ser usados para evaluar la composición de las cáscaras de las cáscaras no orgánicas y orgánicas derivadas de diferentes variedades de papa para permitir que sus beneficios se maximicen para el consumidor.

Para potenciar la cantidad de glicoalcaloides presentes en la cascara de tuberculos y aumentar de esta manera la cantidad de solanina y chaconina obtenido en los extractos, [21] sugiere un pretratamiento para la materia prima haciendo uso de campos eléctricos pulsados y luces pulsadas a la papa por un tiempo prolongado a una intensidad de campo de pretratamiento de PEF de 0,75 kV / cm , lo que favorece en gran medida el rendimiento de extracción para glicoalcaloides esteroideos de función activa presente, luego de una extracción liquido- liquido. Para evidenciar la veracidad del procedimiento se usa una muestra control a la que no se le aplica campo eléctrico y de esta manera se comprueba que en efecto la realización de un pretratamiento a la papa aumenta casi que un 90 % el rendimiento de glicoalcaloides. La maximización de la extracción de estos compuestos es crucial para la utilización de alcaloides de cascara de patata para la industria fito-farmacéutica por ejemplo. La extracción asistida por campo eléctrico pulsado ofrece la ventaja de que es una técnica rápida, económica, eficiente y respetuosa con el medio ambiente que ayudaría a maximizar la extracción de alcaloides esteroideos en los tubérculos no obstante el pretratamiento de las cáscaras de patata con luz pulsada mejoraría aún más el nivel de alcaloides esteroideos como respuesta al estrés.

Los glicoalcaloides tóxicos producidos por la papa también pueden encontrarse en el suelo de extensos cultivos del tubérculo, para una mayor comprensión del destino del compuesto [6] realizo el seguimiento en la degradación del glucoalcaloide durante 42 días en tres suelos agrícolas diferentes , hallando un patrón de degradación similar en todos los suelos. La metodología está basada en extraer y aislar los compuestos glicoalcaloides del brote de la papa mediante una extracción solido líquido usando ácido acético como disolvente. Los suelos seleccionados poseen características arenosas y arcillosas aptas para el cultivo de papa, seguidamente se toman muestras de los tres suelos que posteriormente se mezclan con α -solanina de manera homogénea. En general se toman submuestras del suelo enriquecido con α -solanina y se incuban bajo condiciones de temperatura, humedad y presión específicas , igualmente se van tomando muestras cada tres días, tiempo después del cual se analiza su contenido de solanina de forma inmediata mediante HPLC . El estudio permite demostrar que la solanina se degrada rápidamente incluso a bajas temperaturas en suelos con diferentes propiedades de sorción, no obstante residuos del compuesto pueden persistir en los suelos por más de un mes y se deben estudiar más a fondo los riesgos y el peligro de lixiviación de solanina en aguas subterráneas.

Aplicaciones de la solanina como biopesticida

Los pesticidas de origen natural son una excelente alternativa para combatir productos de origen sintético específicamente cuando se trata de plagas de invertebrados. En vista a esto [1] realizo una revisión acerca de los principales productos de origen natural u orgánico que se encuentran en los bioplaguicidas registrados en la actualidad en Estados Unidos, identificando sus principales ingredientes activos dentro de los que se encuentran numerosos glucoalcaloides destacándose la presencia de chaconina y solanina en un número elevado de productos, no obstante el mercado de pesticidas basados en microbios etiquetados para invertebrados ha incentivado la inversión de empresas multinacionales interesados en el avance del cribado, la fermentación industrial y el almacenamiento de nuevos microorganismos que aumentan la cuota del mercado de microbios, estos productos muestran una elevada eficacia contra trips,

moscas blancas, áfidos u otras plagas chupadoras y nematodos fitoparásitos en invernaderos, viveros y cultivos de campo, sin embargo resultan poco eficientes cuando el tipo de cultivo se refiere a el campo y hortalizas de invernadero y plantas ornamentales , frutas y nueces de árboles, silvicultura y productos almacenados donde los glicoalcaloides juegan un papel fundamental pues están diseñados específicamente para el combate de plagas que atacan este tipo de cultivos.

El método de [2] amplía el estudio del efecto de la solanina en el organismo de caracoles para evaluar su eficiencia en la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa usando el organismo del molusco. El procedimiento uso extractos de solanina disuelto en un solvente metanolico; los caracoles se alimentan con papel filtro tratado con glicoalcaloides de papa solanina y chaconina solos y en conjunto. Inicialmente los caracoles se alimentan para posteriormente dejarlos en ausencia de comida por un tiempo de 48 horas, seguidamente el papel filtro impregnado con el extracto de alcaloides en solución metanolica a una proporción prudente para que el caracol no lo note por las propiedades organolépticas es puesto en la cámara donde están los moluscos, estos papeles filtro son pesados antes de entrar en contacto con los caracoles y después de 48 horas de contacto con ellos. El estudio permite comprobar que en forma pura los glucoalcaloides solanina y chaconina impidieron la alimentación de los moluscos siendo la chaconina el compuesto más activo; en sinergismo los glucoalcaloides igualmente causan la inhibición en la alimentación, sin embargo es necesario contemplar el hecho de que las sustancias que produce la papa como mecanismo de defensa contra plagas y depredadores también poseen dentro de sus estructuras compuestos fenólicos que carecen del suficiente estudio acerca de su inhibición en la alimentación de organismos como el del caracol.

Regulaciones impuestas a la solanina como biopesticida

De acuerdo a la revisión efectuada por [1] los requisitos para el registro de productos biopesticidas varían de acuerdo a cada país , sin embargo en todo el mundo estos productos se hallan regulados por la División de Prevención de Contaminación y Bioplaguicidas (BPPD),

además de la agencia de protección ambiental (EPA) , que velan frecuentemente por garantizar la calidad de estos productos y estudiar sus efectos adversos para la salud humana y ambiental y de esta manera permitir su venta y distribución; en este orden se distinguen principalmente tres clases de biopesticidas en los mercados que se describen a continuación: (1) microbianos basados en microorganismos y sus subproductos, (2) Bioquímicos derivados de sustancias naturales o equivalentes derivados sintéticamente que se consideran de muy bajo riesgo y tienen un modo de acción no tóxico para la plaga, y (3) Protectores incorporados a las plantas (PIP) que son sustancias plaguicidas fabricadas por las plantas como resultado de la manipulación genética. Los bioplaguicidas poseen compuestos que son activos contra una amplia gama de plagas de invertebrados, así como contra malezas y enfermedades de plantas y algunos vertebrados. A septiembre de 2017, había 356 ingredientes activos de bioplaguicidas (bioquímicos y microbianos) registrados por EPA que comprendían bioinsecticidas, acaricidas, nematocidas, fungicidas, bactericidas, herbicidas, bioquímicos modificadores del comportamiento y promotores de la salud de las plantas . Aunque el estudio realizado es bastante completo únicamente abarca el registro de productos avalados por las entidades reguladoras dejando de lado productos naturales que usan los pequeños agricultores para proteger sus cultivos y que igualmente poseen componentes activos que son necesarios estudiar, además no todos los registros están necesariamente aprobados ni tienen productos comerciales; adicionalmente, aunque el apoyo de programas facilitan los registros de bioplaguicidas en cultivos especializados el financiamiento de las entidades gubernamentales para los estudios de demostración de bioplaguicidas no es muy significativo.

Conclusiones

El uso de biopesticidas de origen natural que llevan dentro de sus componentes activos solanina y alcaloides de origen esteroideo presentan una elevada eficiencia al combatir plagas y depredadores que afectan a los cultivos de plantas, además las técnicas de extracción para su obtención consisten en métodos relativamente simples y ofrecen nuevas alternativas respecto a la implementación de técnicas como el cultivo celular para optimizar la producción de los

mismos y mejorar la obtención de solanina con un elevado porcentaje de pureza que pueden ser de gran utilidad en la industria de agroquímicos , sin embargo , aún coexisten dudas referentes a si los biopesticidas pueden lograr los cambios de transformación necesarios para desplazar a los pesticidas químicos que se han posicionado como productos dominantes de control de plagas en los mercados mundiales pues es bien sabido que sus características de vida útil y costos relativamente altos sumado a la falta de conciencia de la humanidad han relegado muchos biopesticidas a productos de despreciable aplicación [1].

REFERENCIAS

- [1] S. Arthurs and S. K. Dara, "Microbial biopesticides for invertebrate pests and their markets in the United States," *J. Invertebr. Pathol.*, no. August 2017, pp. 0–1, 2018.
- [2] D. B. Smith, J. G. Roddick, and J. L. Jones, "Synergism between the potato glycoalkaloids α -chaconine and α -solanine in inhibition of snail feeding," *Phytochemistry*, vol. 57, no. 2, pp. 229–234, 2001.
- [3] J. Attoumbéré, D. Lesur, P. Giordanengo, and S. Baltora-Rosset, "Preparative separation of glycoalkaloids α -solanine and α -chaconine by centrifugal partition chromatography," *J. Chromatogr. B Anal. Technol. Biomed. Life Sci.*, vol. 908, pp. 150–154, 2012.
- [4] K. S. Vásquez, M. R. S., & Vásquez, "Cuantificación de glicoalcaloides esteroidales totales de las hojas de *Solanum habrochaites* S. Knapp & DM Spooner (Solanaceae) y su actividad antimicrobiana," *Arnaldoa*, vol. 22, no. February, pp. 105–118, 2015.
- [5] W. Medina, D. García, and F. Sánchez, "Aves y mamíferos de bosque altoandino-páramo en el páramo de Rabanal (Boyacá-Colombia)," *Cienc. en Desarro.*, vol. 6, no. 2, pp. 185–198, 2015.

- [6] P. H. Jensen, R. B. Pedersen, B. Svensmark, B. W. Strobel, O. S. Jacobsen, and H. C. B. Hansen, "Degradation of the potato glycoalkaloid α -solanine in three agricultural soils," *Chemosphere*, vol. 76, no. 8, pp. 1150–1155, 2009.
- [7] V. Romanucci, G. Di Fabio, C. Di Marino, S. Davinelli, G. Scapagnini, and A. Zarrelli, "Evaluation of new strategies to reduce the total content of α -solanine and α -chaconine in potatoes," *Phytochem. Lett.*, vol. 23, no. November 2017, pp. 116–119, 2018.
- [8] G. Silva Beltran, Ruiz Cruz S, Marquez E, Ornelas J, Cira L, "DE EXTRACTOS DE SUBPRODUCTOS DE LA PAPA (*Solanum tuberosum*)," *Rev. Ciencias Biológicas y la Salud*, vol. XVII (2), pp. 20–25, 2015.
- [9] S. . Chaparro Acuña, A. . Lara Sandoval, A. Sandoval Amador, S. . Sosa Suarique, J. . Martínez Zambrano, and J. . Gil González, "Functional Characterization of Mango Seeds Kernel (*Mangifera indica* L.)," *Cienc. en Desarro.*, vol. 6, no. 1, pp. 67–75, 2015.
- [10] A. F. Sánchez Maldonado, E. Mudge, M. G. Gänzle, and A. Schieber, "Extraction and fractionation of phenolic acids and glycoalkaloids from potato peels using acidified water/ethanol-based solvents," *Food Res. Int.*, vol. 65, no. PA, pp. 27–34, 2014.
- [11] M. E. Hernández, "Art_6.Pdf," *REvista enseñanza Universitaria*, vol. N° 13; 79-. 1998.
- [12] M. B. Hossain, B. K. Tiwari, N. Gangopadhyay, C. P. O'Donnell, N. P. Brunton, and D. K. Rai, "Ultrasonic extraction of steroidal alkaloids from potato peel waste," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 21, no. 4, pp. 1470–1476, 2014.
- [13] N. C. Nikolic, M. Z. Stankovic, and D. Z. Markovic, "Liquid-liquid systems for acid hydrolysis of glycoalkaloids from *Solanum tuberosum* L. tuber sprouts and solanidine extraction.," *Med. Sci. Monit.*, vol. 11, no. 7, pp. BR200-R205, 2005.

- [14] N. H. Loc and L. T. H. Thanh, "Solasodine production from cell culture of *Solanum hainanense* hance," *Biotechnol. Bioprocess Eng.*, vol. 16, no. 3, pp. 581–586, 2011.
- [15] M. Armando and R. Villamil, "Some Remarks About the Cyclic Homology of Skew PBW Extensions Algunas observaciones sobre la homología cíclica de extensiones PBW torcidas," vol. 7, no. 2, pp. 99–107, 2016.
- [16] G. M. Cortés Díaz, G. A. Prieto Suárez, and W. E. Roza Nuñez, "Caracterización bromatológica y fisicoquímica de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) y su posible aplicación como alimento nutracéutico," *Cienc. en Desarro.*, vol. 6, no. 1, pp. 87–97, 2015.
- [17] M. H. Lee, J. J. Cheng, C. Y. Lin, Y. J. Chen, and M. K. Lu, "Precursor-feeding strategy for the production of solanine, solanidine and solasodine by a cell culture of *Solanum lyratum*," *Process Biochem.*, vol. 42, no. 5, pp. 899–903, 2007.
- [18] J. A. Rojas and A. Hormaza, "Evaluación del crecimiento y compatibilidad de hongos de la podredumbre blanca," *Rev. Cienc. en Desarro.*, vol. 5, no. 2, pp. 197–205, 2014.
- [19] M. Friedman, N. Kozukue, H. J. Kim, S. H. Choi, and M. Mizuno, "Glycoalkaloid, phenolic, and flavonoid content and antioxidative activities of conventional nonorganic and organic potato peel powders from commercial gold, red, and Russet potatoes," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 62, no. December 2016, pp. 69–75, 2017.
- [20] A. F. Cruz Pacheco and J. A. Gómez Cuaspud, "Synthesis and Characterization of the $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ System," *Cienc. en Desarro.*, vol. 6, no. 2, pp. 133–139, 2015.
- [21] M. B. Hossain, I. Aguiló-aguayo, J. G. Lyng, N. P. Brunton, and D. K. Rai, "Effect of pulsed electric field and pulsed light pre-treatment on the extraction of steroidal alkaloids from potato peels," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 29, pp. 9–14, 2015.