

COMPOSICIONES, ARTÍCULOS, DISPOSITIVOS Y MÉTODOS RELACIONADOS **CON GOTITAS QUE COMPRENDEN UN FLUIDO DE ENCUBRIMIENTO**

APLICACIONES RELACIONADAS

5 Esta solicitud reclama el beneficio de prioridad bajo 35 U.S.C. § 119(e) de la Solicitud Provisional de EE.UU. No. 63/273,500, presentada el 29 de octubre de 2021, y la Solicitud Provisional de EE.UU. No. 63/277,958, presentada el 10 de noviembre de 2021, cuyas divulgaciones se incorporan aquí por referencia en su totalidad.

CAMPO TÉCNICO

10 En el presente documento se describen composiciones y artículos relacionados con gotitas que comprenden un fluido portador y un fluido de encubrimiento, y métodos y dispositivos asociados para depositar las gotitas sobre superficies.

ANTECEDENTES

15 La contaminación por plaguicidas causa más de 20.000 muertes al año en todo el mundo y está relacionada con hasta 385 millones de casos de enfermedades agudas, entre las que se incluyen enfermedades como el cáncer, afecciones neurológicas y defectos congénitos. Los plaguicidas contaminan todas las partes del medio ambiente, especialmente el agua y el
20 suelo. Por ejemplo, los pesticidas se detectan el 90% de las veces en arroyos agrícolas, el 50% de las veces en pozos poco profundos y el 33% de las veces en los principales acuíferos profundos de Estados Unidos. Un estudio reciente ha demostrado que el 31% de todo el suelo agrícola mundial corre un alto riesgo de contaminación por plaguicidas. Este exceso de pesticidas no sólo afecta a la química del suelo, sino que también causa la muerte de
25 organismos no objetivo y daña los microbiomas del suelo, responsables de reponer los nutrientes de las plantas en el suelo. Además de tener un elevado coste humano y medioambiental, los plaguicidas representan una importante carga financiera para los agricultores, que gastan más de sesenta mil millones de dólares al año en plaguicidas en todo el mundo, ya que pueden contribuir al ~30% de los costes de producción de ciertos cultivos,
30 como el algodón. Por tanto, urge reducir el despilfarro y el uso excesivo de plaguicidas.

RESUMEN

En el presente documento se describen composiciones y artículos relacionados con gotitas que comprenden un fluido portador y un fluido de encubrimiento, así como métodos y

dispositivos asociados para depositar las gotitas sobre superficies. El objeto de la presente invención implica, en algunos casos, productos interrelacionados, soluciones alternativas a un problema particular, y/o una pluralidad de usos diferentes de uno o más sistemas y/o artículos.

De acuerdo con algunas realizaciones, se describe una composición, la composición que comprende un fluido portador, un fluido de encubrimiento, y una o más especies para la entrega a una superficie de un sustrato, en el que el fluido de encubrimiento está configurado para rodear al menos parcialmente el fluido portador, mientras que la composición se aplica a la superficie del sustrato.

En ciertas realizaciones, una composición comprende un fluido portador, un fluido de encubrimiento que rodea al fluido portador, y una o más especies para su entrega a una superficie de un sustrato, en el que un coeficiente de propagación de la composición es mayor o igual a 0, en el que el coeficiente de propagación se define por:

$$S = \sigma_{agua+especies,aire} - (\sigma_{agua+especies, fluido de encubrimiento} + \sigma_{fluido de encubrimiento, aire}),$$

donde σ es una tensión interfacial.

En algunas realizaciones, una composición comprende un fluido portador, un fluido de encubrimiento que rodea al menos parcialmente al fluido portador, y una o más especies para su entrega a una superficie de un sustrato, en el que la composición comprende el fluido de encubrimiento en una cantidad menor o igual al 5% en volumen respecto al volumen total de la composición.

Según ciertas realizaciones, una composición comprende un fluido portador, una pluralidad de fluidos de encubrimiento que rodean al menos parcialmente al fluido portador, y una o más especies para su entrega a una superficie de un sustrato, en el que la composición comprende la pluralidad de fluidos de encubrimiento en una cantidad menor o igual al 5% en volumen respecto al volumen total de la composición.

En algunas realizaciones, se describe un artículo, el artículo que comprende un sustrato que comprende una superficie, y una gotita depositada en la superficie, en el que la gotita comprende un fluido portador, un fluido de encubrimiento al menos parcialmente que rodea el fluido portador, y una o más especies para la entrega a la superficie del sustrato.

En ciertas realizaciones, se describe un método para depositar una gotita sobre una superficie de un sustrato, que comprende: exponer un fluido portador a un fluido de encubrimiento; rodear al menos parcialmente el fluido portador en el fluido de encubrimiento, formando así la gotita, en la que la gotita comprende el fluido de

encubrimiento en una cantidad inferior o igual al 5% en volumen frente al volumen total de la gotita, y la gotita comprende una o más especies para su entrega a la superficie del sustrato; y depositar la gotita sobre la superficie del sustrato.

Según algunas realizaciones, se describe un dispositivo, el dispositivo que comprende un primer compartimento que contiene un fluido portador, un segundo compartimento que contiene un fluido de encubrimiento, y una o más especies para la entrega a una superficie de un sustrato, en el que el dispositivo está configurado para exponer el fluido portador al fluido de encubrimiento de tal manera que el fluido de encubrimiento rodea al menos parcialmente el fluido portador, proporcionando así una composición que comprende el fluido de encubrimiento en una cantidad menor o igual al 5% en volumen frente al volumen total de la composición.

Otras ventajas y características novedosas de la presente invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de varias realizaciones no limitantes de la invención cuando se consideren en conjunción con las figuras adjuntas. En los casos en que la presente especificación y un documento incorporado por referencia incluyan una divulgación contradictoria y/o incoherente, prevalecerá la presente especificación. Si dos o más documentos incorporados por referencia incluyen divulgaciones contradictorias y/o incoherentes entre sí, prevalecerá el documento cuya fecha de entrada en vigor sea posterior.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las realizaciones no limitantes de la presente invención se describirán a modo de ejemplo con referencia a las figuras que se acompañan, que son esquemáticas y no pretenden ser dibujadas a escala. En las figuras, cada componente idéntico o casi idéntico ilustrado se representa típicamente por un solo número. En aras de la claridad, no todos los componentes están etiquetados en todas las figuras, ni se muestran todos los componentes de cada realización de la invención cuando la ilustración no es necesaria para permitir a los expertos en la materia comprender la invención. En las figuras:

La FIG. 1A muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático transversal de una gotita que comprende un fluido portador y un fluido de encubrimiento que rodea al menos parcialmente al fluido portador, en el que el fluido portador incluye una especie;

La FIG. 1B muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal de una gotita que comprende un fluido portador y un fluido de encubrimiento que rodea al menos parcialmente al fluido portador, en el que el fluido de encubrimiento incluye una especie;

La FIG. 1C muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal de una gotita que comprende un fluido portador y un fluido de encubrimiento que rodea al menos parcialmente al fluido portador, en el que el fluido portador y el fluido de encubrimiento incluyen una especie;

5 La FIG. 1D muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal de una gotita que comprende un fluido portador y un fluido de encubrimiento que rodea parcialmente al fluido portador;

La FIG. 2 muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal de una gotita que comprende un fluido portador y una pluralidad de fluidos de encubrimiento que rodean al menos parcialmente al fluido portador;

10

La FIG. 3A muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal de una gotita que comprende un fluido portador y un fluido de encubrimiento que rodea al menos parcialmente al fluido portador, en el que la gotita se deposita sobre una superficie de un sustrato, y en el que el fluido portador incluye una especie y el fluido de encubrimiento está en contacto con la superficie;

15

La FIG. 3B muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal de una gotita que comprende un fluido portador y un fluido de encubrimiento que rodea parcialmente al fluido portador, en el que la gotita se deposita sobre una superficie de un sustrato, y en el que el fluido portador incluye una especie y el fluido portador está en contacto con la superficie;

20

La FIG. 3C muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal de una gotita que comprende un fluido portador y un fluido de encubrimiento que rodea parcialmente al fluido portador, en el que la gotita se deposita sobre una superficie de un sustrato, y en el que el fluido portador incluye una especie y tanto el fluido portador como el fluido de encubrimiento están en contacto con la superficie;

25

Las FIGs. 4A-4D muestran, según ciertas realizaciones, un método para depositar una gotita sobre la superficie de un sustrato;

La FIG. 5A muestra, según ciertas realizaciones, un dispositivo que comprende una boquilla para suministrar una gotita que comprende un fluido portador y un fluido de encubrimiento que rodea al menos parcialmente al fluido portador, en el que el fluido portador incluye una especie;

30

La FIG. 5B muestra, según ciertas realizaciones, un dispositivo que comprende dos boquillas configuradas para generar una gotita que comprende un fluido portador y un fluido

de encubrimiento que rodea al menos parcialmente al fluido portador, en el que el fluido portador incluye una especie;

La FIG. 6A muestra, de acuerdo con ciertas realizaciones, un diagrama esquemático de agua pulverizada sobre hojas (izquierda) e imágenes de lapso de tiempo de agua

5 pulverizada sobre una hoja de col durante tres segundos (derecha);

La FIG. 6B muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático de gotitas de agua impregnadas de aceite pulverizadas sobre hojas (izquierda) e imágenes de lapso de tiempo de gotitas de agua impregnadas con ~ 1 vol.% de aceite de soja pulverizadas sobre una hoja de col durante un segundo (derecha);

10 La FIG. 7 muestra, según ciertas realizaciones, la cobertura de las gotitas expresada como porcentaje del área total de la hoja y normalizada por el tiempo de pulverización;

La FIG. 8A muestra, según ciertas realizaciones, un esquema de un montaje experimental utilizado para estudiar el impacto de una gotita de agua (izquierda) e imágenes de lapso de tiempo del impacto de una gotita de agua desde las vistas lateral (arriba) y de

15 arriba abajo (abajo) (derecha);

La FIG. 8B muestra, según ciertas realizaciones, un esquema de un montaje experimental utilizado para estudiar el impacto de una gotita de agua recubierta de aceite (izquierda) e imágenes de lapso de tiempo del impacto de una gotita de agua recubierta de aceite de soja al 1% vol. desde las vistas lateral (arriba) y de arriba abajo (abajo) (derecha);

20 La FIG. 9A muestra, según ciertas realizaciones, un gráfico del diámetro de contacto normalizado en función del tiempo para siete capas de aceite diferentes con una velocidad de impacto $\approx 1,25$ m/s;

La FIG. 9B muestra, según ciertas realizaciones, un gráfico del diámetro máximo normalizado en función de la función de correlación $f(Re, We)$;

25 La FIG. 9C muestra, según ciertas realizaciones, un gráfico de la altura de rebote del centro de masa de las gotitas (h_{cm}) normalizada por el diámetro de la gotita (D) para diferentes velocidades de impacto, aceites y viscosidades del aceite;

La FIG. 9D muestra, según ciertas realizaciones, un gráfico de la altura de rebote del centro de masa de las gotitas (h_{cm}) normalizada por el diámetro de la gotita (D) para

30 diferentes experimentos de impacto trazados en función de la fracción de volumen de aceite en las gotitas embozadas;

La FIG. 10 muestra, según ciertas realizaciones, un gráfico del ángulo de contacto dinámico medio medido durante la fase de retracción para gotitas de agua embebidas en aceite de silicona de 10 cSt a fracciones de volumen de aceite bajas (izquierda) e instantáneas

tomadas durante la retracción de gotitas embebidas en aceite con 0,10% (arriba a la derecha) y 0,03% (abajo a la derecha) de aceite en volumen;

La FIG. 11 muestra, según ciertas realizaciones, instantáneas de los puntos más altos de los centros de masa de las gotitas durante la retracción o el rebote para experimentos seleccionados;

La FIG. 12A muestra, según ciertas realizaciones, un esquema que representa una gotita de agua rebotando desde una superficie superhidrofóbica, en el que la flecha hacia arriba indica su movimiento alejándose de la superficie y la gotita de agua tiene una energía cinética que puede expresarse en términos del coeficiente de restitución (e_0), la velocidad de rebote (v) y la masa de la gotita (m);

La FIG. 12B muestra, según ciertas realizaciones, un esquema que representa una gotita de agua impregnada de aceite que se adhiere a una superficie, en la que la energía cinética se elimina de la gotita por el trabajo de adhesión (E_s) y la disipación viscosa ($E\mu_I + E\mu_{II} + E\mu_{III}$);

La FIG. 12C muestra, según ciertas realizaciones, un gráfico de la relación entre la energía cinética de rebote de una gotita de agua pura y la suma del trabajo de adhesión y la disipación viscosa en función de la velocidad de la gotita;

La FIG. 13A muestra, según ciertas realizaciones, ángulos de contacto de avance y retroceso de sólo agua o sólo aceite sobre una superficie superhidrofóbica;

La FIG. 13B muestra, según ciertas realizaciones, los ángulos de contacto de avance y retroceso de gotitas de agua recubiertas con 1 vol.% de aceite;

La FIG. 14A muestra, según ciertas realizaciones, una imagen del resultado de rociar una oblea superhidrofóbica con agua pura durante 3 segundos;

La FIG. 14B muestra, según ciertas realizaciones, una imagen del resultado de rociar una oblea superhidrofóbica con agua impregnada con 1 vol.% de aceite de soja;

La FIG. 14C muestra, según ciertas realizaciones, un gráfico de la masa retenida de gotitas en una superficie superhidrofóbica para diferentes tiempos de pulverización y diferentes capas de aceite;

La FIG. 14D muestra, según ciertas realizaciones, instantáneas de la cobertura alcanzable con 1 segundo de rociado con gotitas de agua recubiertas de aceite de soja sobre (a) col, (b) col rizada, (c) lechuga y (d) hojas de espinaca; y

La FIG. 14E muestra, según ciertas realizaciones, un gráfico de la masa de gotitas retenidas en la hoja normalizada por el área foliar y el tiempo de pulverización comparado en

4 hojas de cultivo para agua pura y gotitas de agua impregnadas de aceite de soja impregnadas con 1 vol.% de aceite de soja.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Una de las principales fuentes de residuos de plaguicidas y de su uso excesivo se debe a la escasa retención de las gotitas en las superficies hidrófobas de las plantas. Los recubrimientos cerosos de las superficies de las plantas (por ejemplo, las hojas) tienen propiedades superficiales hidrófobas que suponen una barrera fundamental para la retención de plaguicidas, ya que las pulverizaciones de plaguicidas consisten en moléculas de plaguicidas disueltas o suspendidas en gotitas de agua. Como resultado, las gotitas de agua rebotan y/o ruedan por la superficie de las plantas, lo que hace que la mayor parte de lo que se pulveriza acabe en el agua y el suelo del medio ambiente.

En las pulverizaciones agrícolas, el tamaño de las gotitas oscila entre 50 y 600 μm y la velocidad de impacto entre 1 y 8 m/s, lo que corresponde a un número de Weber entre 1 y 600. Durante el impacto, las gotitas sufren una expansión impulsada por las fuerzas inerciales y una retracción impulsada por la tensión superficial. Durante el impacto, estas gotitas sufren una expansión impulsada por las fuerzas de inercia y una retracción impulsada por la tensión superficial. El hecho de que la gotita se adhiera o rebote viene determinado por las propiedades de la superficie, como la energía superficial y la microtextura de la hoja, y por las propiedades de la gotita, como la tensión superficial, la viscosidad, la densidad y la velocidad de impacto. Los métodos convencionales para aumentar la retención de las gotitas en las superficies de las plantas incluyen el uso de: (i) adyuvantes para modificar las propiedades de las gotitas, como la tensión superficial, la viscosidad o la densidad; (ii) aditivos que pueden alterar localmente los revestimientos cerosos de las superficies de las hojas y promover la adhesión; (iii) productos químicos que generan sitios microscópicos de fijación para que las gotitas se adhieran; o (iv) interacciones físicas cargadas para promover la adhesión de las gotitas.

Los tensioactivos son los adyuvantes más utilizados para mejorar la cobertura y la retención de la pulverización. Mientras que su efecto en la mejora de la dispersión de las gotitas sobre las superficies de las plantas en condiciones estáticas está bien documentado, su capacidad para suprimir el rebote de las gotitas en impacto es más compleja. Sólo los tensioactivos especializados pueden difundirse hasta la interfaz de las gotitas con la rapidez suficiente para reducir la tensión superficial dinámica de las gotitas durante el impacto y detener el rebote. Además, los tensioactivos carecen de universalidad, ya que deben ser

químicamente estables con una amplia gama de productos químicos pesticidas. Al reducir la tensión superficial, también hacen que las gotitas pulverizadas sean más pequeñas, lo que agrava la deriva de los plaguicidas y la contaminación ambiental. Por último, algunos tensioactivos que se utilizan comercialmente pueden ser más tóxicos desde el punto de vista medioambiental y biológico que los ingredientes activos de los pesticidas. Por ejemplo, la adición de tensioactivos de etoxilato de amina grasa al Roundup® hace que estas formulaciones causen más daño mitocondrial y necrosis en las células humanas, y dichos tensioactivos son mucho más tóxicos para las poblaciones de anfibios que el ingrediente activo, el glifosato, por sí solo.

Los adyuvantes modificadores de la viscosidad que utilizan la disipación viscosa durante el impacto para evitar que las gotitas reboten en las superficies de las plantas ofrecen una mejora limitada de la eficacia de retención de la pulverización en las superficies de las plantas. Los adyuvantes basados en polímeros de alto peso molecular que pueden mejorar significativamente la reología extensional de las gotitas también han demostrado mejorar ligeramente la retención de la pulverización (por ejemplo, una mejora del ~2% en las superficies de las hojas). Además de su mejora moderada, la necesidad de un control cuidadoso del pH para tales formulaciones presenta una barrera significativa para una aplicación robusta. Además, los pulverizadores electrostáticos que cargan físicamente las gotitas de pulverización e introducen una fuerza de atracción hacia las superficies de las plantas conectadas a tierra tienen unos costes elevados que limitan su aplicabilidad.

A diferencia de los enfoques anteriores, que son insostenibles, tóxicos, no universales o caros, los aceites vegetales son muy prometedores como adyuvantes que pueden favorecer la retención de las gotitas. Los aceites se han utilizado en la agricultura durante siglos, ya que poseen propiedades insecticidas y fungistáticas. Los aceites vegetales son generalmente reconocidos como seguros, se entiende que no plantean riesgos para el medio ambiente, y son ampliamente utilizados en los productos alimenticios y en la agricultura. Al ser fácilmente degradables por los microbios del suelo, su huella medioambiental es mucho menor que la de los productos agroquímicos sintéticos. Su impacto en la salud de los cultivos es bien conocido, y no son fitotóxicos si se utilizan correctamente. Algunos aceites son más resistentes a la aparición de resistencias en las plagas, y algunos aceites vegetales tienen un impacto mínimo en los insectos no objetivo, como las abejas. Como coadyuvantes de pulverización, la menor energía superficial de los aceites hace que se adhieran más fácilmente a las hojas hidrófobas en comparación con el agua. Los aceites se formulan predominantemente como emulsiones de aceite en agua, lo que requiere el uso de

tensoactivos -que presentan los inconvenientes antes mencionados- y la necesidad de complejos métodos de agitación en el punto de uso. En comparación con las emulsiones de aceite en agua, las emulsiones de agua en aceite (>10% de aceite en volumen) tienen potencial fitotóxico, ya que un contenido de aceite tan elevado limita la aplicabilidad de dichas formulaciones.

Los inventores se han dado cuenta y han apreciado que las composiciones que comprenden una gotita de un fluido portador rodeada por cantidades mínimas (por ejemplo, menos o igual al 5% en volumen) de un fluido de encubrimiento pueden utilizarse para mejorar la retención de las gotitas en las superficies del sustrato (por ejemplo, superficies agrícolas como las hojas). En algunas realizaciones, el fluido portador puede comprender agua y el fluido de encubrimiento puede comprender un aceite, como un aceite de base vegetal inocuo para los alimentos y el medio ambiente. Aprovechando la dinámica de humectación y las tensiones superficiales del aceite y el agua, el aceite puede introducirse después de formar la gotita de agua, evitando así las complejidades de la emulsificación o el uso de tensoactivos perjudiciales para el medio ambiente.

Las gotitas encubiertas descritas en el presente documento ofrecen un enfoque sencillo, sostenible desde el punto de vista medioambiental, barato y eficaz para mejorar la retención de pulverizaciones (por ejemplo, pulverizaciones de pesticidas) en superficies hidrófobas. Los inventores han demostrado que la metodología aquí descrita proporciona una supresión robusta del rebote en superficies hidrófobas con una variedad de diferentes fluidos de encubrimiento que abarcan una amplia gama de viscosidades y tensiones superficiales en condiciones de impacto relevantes para la agricultura. La cantidad de fluido de encubrimiento para lograr la supresión del rebote puede ser ventajosamente baja (por ejemplo, tan poco como 0,1 vol%), evitando así la posibilidad de fitotoxicidad. También se describen en el presente documento dispositivos (por ejemplo, dispositivos pulverizadores) que pueden utilizarse para pulverizar las gotitas embozadas sobre superficies de sustrato hidrófobas y proporcionar una mejora en la retención de las gotitas, lo que conduce a una reducción significativa de los residuos. Como se explica en el presente documento, las mejoras en la retención de gotitas se han logrado utilizando fluidos portadores y fluidos de encubrimiento seguros para los alimentos y el medio ambiente (por ejemplo, agua y aceite, respectivamente), demostrando así una gran promesa en la reducción de la salud humana y el impacto ambiental de los plaguicidas.

Según algunas realizaciones, en el presente documento se describe una composición. La composición puede comprender un fluido portador, en ciertas realizaciones. Tal como se

utiliza en el presente documento, el término "fluido portador" se refiere generalmente a un fluido capaz de transportar una o más especies. En ciertas realizaciones, por ejemplo, y como se explicará con más detalle a continuación, el fluido portador puede incluir una especie para su entrega a una superficie de un sustrato. La FIG. 1A muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático transversal de una gotita. En referencia a la FIG. 1A, la composición 102a (por ejemplo, la gotita) comprende el fluido portador 104, en el que el fluido portador 104 incluye la especie 108.

Puede utilizarse cualquier fluido portador. En algunas realizaciones, por ejemplo, el fluido portador comprende agua, una solución acuosa, un aceite y/o un fluido no newtoniano. También son posibles otros fluidos portadores. En algunas realizaciones, puede utilizarse una mezcla de fluidos portadores (por ejemplo, una mezcla de agua y un fluido no newtoniano).

La composición puede contener el fluido portador en una variedad de cantidades adecuadas. Según algunas realizaciones, la composición comprende una cantidad relativamente alta del fluido portador. En ciertas realizaciones, por ejemplo, la composición comprende el fluido portador en una cantidad mayor o igual al 95% en volumen, mayor o igual al 96% en volumen, mayor o igual al 97% en volumen, mayor o igual al 98% en volumen, mayor o igual al 99% en volumen, mayor o igual al 99.1% en volumen, mayor o igual al 99.2% en volumen, mayor o igual al 99.1% en volumen, mayor o igual al 99.2% en volumen, mayor o igual que 99,2% en volumen, mayor o igual que 99,3% en volumen, mayor o igual que 99,4% en volumen, mayor o igual que 99,5% en volumen, mayor o igual que 99,6% en volumen, mayor o igual que 99,7% en volumen, o mayor o igual que 99,8% en volumen frente al volumen total de la composición. En algunas realizaciones, la composición comprende el fluido portador en una cantidad menor o igual al 99,9% en volumen, menor o igual al 99,8% en volumen, menor o igual al 99,7% en volumen, menor o igual al 99,6% en volumen, menor o igual al 99,5% en volumen, menor o igual al 99,4% en volumen, inferior o igual a 99,3% en volumen, inferior o igual a 99,2% en volumen, inferior o igual a 99,1% en volumen, inferior o igual a 99% en volumen, inferior o igual a 98% en volumen, inferior o igual a 97% en volumen, o inferior o igual a 96% en volumen con respecto al volumen total de la composición. Son posibles combinaciones de los rangos mencionados anteriormente (por ejemplo, la composición comprende el fluido portador en una cantidad mayor o igual al 95% en volumen y menor o igual al 99,9% en volumen con respecto al volumen total de la composición, la composición comprende el fluido portador en una cantidad mayor o igual al 99% en volumen y menor o igual al 99,5% en volumen con respecto al volumen total de la composición). También son posibles otros rangos. En

algunas realizaciones, la cantidad de fluido portador puede determinarse obteniendo imágenes de las gotitas mediante una lente microscópica, microespectroscopia o resonancia magnética nuclear (RMN). En algunas realizaciones, la cantidad de fluido portador puede determinarse analizando el caudal de entrada del fluido portador utilizado para generar la composición.

Según algunas realizaciones, la composición comprende un fluido de encubrimiento. Tal como se utiliza en el presente documento, el término "fluido de encubrimiento" se refiere generalmente a un primer fluido que está configurado para rodear al menos parcialmente un segundo fluido, de manera que una capa del primer fluido se extiende sobre el segundo fluido y lo rodea al menos parcialmente. En algunas realizaciones, por ejemplo, el fluido de encubrimiento está configurado para rodear al menos parcialmente el fluido portador. En algunas realizaciones, el fluido de encubrimiento rodea al menos parcialmente el fluido portador (por ejemplo, mientras la composición se aplica a una superficie, como se explica con más detalle en el presente documento). Haciendo referencia, por ejemplo, a la FIG. 1A, la composición 102a comprende el fluido de encubrimiento 106 que rodea al menos parcialmente al fluido portador 104. El fluido portador 104 está rodeado al menos parcialmente por la composición 102a.

En ciertas realizaciones, la presencia del fluido de encubrimiento (por ejemplo, rodeando al menos parcialmente al fluido portador) puede mejorar ventajosamente la retención de la composición cuando se dispone (por ejemplo, se pulveriza) sobre la superficie de un sustrato. En algunas realizaciones, por ejemplo, el fluido de encubrimiento puede estar configurado para fijar la composición a la superficie del sustrato durante la retracción de la composición, por ejemplo, cuando la composición se dispone (por ejemplo, se pulveriza) sobre la superficie del sustrato.

Puede utilizarse cualquier fluido de encubrimiento adecuado. En algunas realizaciones, por ejemplo, el fluido de encubrimiento comprende un aceite, un tensioactivo, una solución acuosa y/o un fluido no newtoniano. En algunas realizaciones en las que el fluido de encubrimiento comprende un aceite, el aceite puede ser un aceite vegetal y/o un aceite derivado del petróleo. Aunque puede utilizarse prácticamente cualquier aceite, algunos ejemplos no limitativos de aceites adecuados son el aceite de soja, el aceite de canola, el aceite de silicona, el aceite mineral, el aceite de linaza, el aceite de semilla de algodón, el aceite de anís, el aceite de bergamota, el aceite de ricino, el aceite de cedro, el aceite de citronela, el aceite de eucalipto, el aceite de jojoba, el aceite de lavandín, el aceite de hierba limón, el aceite de salicilato de metilo, el aceite de menta, el aceite de mostaza y/o el aceite

de naranja. También son posibles otros fluidos de encubrimiento. Según algunas realizaciones, se puede utilizar una mezcla de fluidos de encubrimiento (por ejemplo, una mezcla de aceite y un fluido no newtoniano, una mezcla de aceites, etc.).

El fluido de encubrimiento puede tener una variedad de viscosidades adecuadas. En algunas realizaciones, por ejemplo, el fluido de encubrimiento tiene una viscosidad mayor o igual a 1 cSt, mayor o igual a 25 cSt, mayor o igual a 50 cSt, mayor o igual a 75 cSt, mayor o igual a 100 cSt, mayor o igual a 150 cSt, mayor o igual a 200 cSt, mayor o igual a 250 cSt, mayor o igual a 300 cSt, mayor o igual a 350 cSt, mayor o igual a 400 cSt, o mayor o igual a 450 cSt. En ciertas realizaciones, el fluido de encubrimiento tiene una viscosidad menor o igual a 500 cSt, menor o igual a 450 cSt, menor o igual a 400 cSt, menor o igual a 350 cSt, menor o igual a 300 cSt, menor o igual a 250 cSt, menor o igual a 200 cSt, menor o igual a 150 cSt, menor o igual a 100 cSt, menor o igual a 75 cSt, menor o igual a 50 cSt, o menor o igual a 25 cSt. Son posibles combinaciones de los rangos mencionados (por ejemplo, el fluido de encubrimiento tiene una viscosidad mayor o igual a 1 cSt y menor o igual a 500 cSt, el fluido de encubrimiento tiene una viscosidad mayor o igual a 50 cSt y menor o igual a 75 cSt). También son posibles otros rangos.

El fluido de encubrimiento puede tener una variedad de tensiones superficiales adecuadas. En algunas realizaciones, por ejemplo, el fluido de encubrimiento tiene una tensión superficial mayor o igual a 1 mN/m, mayor o igual a 5 mN/m, mayor o igual a 10 mN/m, mayor o igual a 15 mN/m, mayor o igual a 20 mN/m, mayor o igual a 25 mN/m, mayor o igual a 30 mN/m, mayor o igual a 35 mN/m, mayor o igual a 40 mN/m, o mayor o igual a 45 mN/m. En ciertas realizaciones, el fluido de encubrimiento tiene una tensión superficial menor o igual a 50 mN/m, menor o igual a 45 mN/m, menor o igual a 40 mN/m, menor o igual a 35 mN/m, menor o igual a 30 mN/m, menor o igual a 25 mN/m, menor o igual a 20 mN/m, menor o igual a 15 mN/m, menor o igual a 10 mN/m, o menor o igual a 5 mN/m. Son posibles combinaciones de los rangos mencionados (por ejemplo, el fluido de encubrimiento tiene una tensión superficial mayor o igual a 1 mN/m y menor o igual a 50 mN/m, el fluido de encubrimiento tiene una tensión superficial mayor o igual a 20 mN/m y menor o igual a 25 mN/m). También son posibles otros rangos.

La composición puede contener el fluido de encubrimiento en una variedad de cantidades adecuadas. En determinadas realizaciones, la composición comprende una cantidad sustancialmente baja del fluido de encubrimiento. Según ciertas realizaciones, puede ser ventajoso emplear una cantidad baja del fluido de encubrimiento para evitar el potencial de composiciones fitotóxicas. En algunas realizaciones, por ejemplo, la

composición comprende el fluido de encubrimiento en una cantidad inferior o igual al 5% en volumen, inferior o igual al 4% en volumen, inferior o igual al 3% en volumen, inferior o igual al 2% en volumen, inferior o igual al 1% en volumen, inferior o igual al 0,9% en volumen, inferior o igual al 0,8% en volumen, inferior o igual al 0,7% en volumen, menos de o igual a 0,6% en volumen, menos de o igual a 0,5% en volumen, menos de o igual a 0,4% en volumen, menos de o igual a 0,3% en volumen, menos de o igual a 0,2% en volumen, menos de o igual a 0,1% en volumen, menos de o igual a 0,05% en volumen, o menos de o igual a 0,04% en volumen con respecto al volumen total de la composición. En determinadas realizaciones, la composición comprende el fluido de encubrimiento en una cantidad mayor o igual al 0,02% en volumen, mayor o igual al 0,04% en volumen, mayor o igual al 0,05% en volumen, mayor o igual al 0,1% en volumen, mayor o igual al 0,2% en volumen, mayor o igual al 0,3% en volumen, mayor o igual al 0,4% en volumen, mayor o igual al 0,5% en volumen, mayor o igual que 0,6% en volumen, mayor o igual que 0,7% en volumen, mayor o igual que 0,8% en volumen, mayor o igual que 0,9% en volumen, mayor o igual que 1% en volumen, mayor o igual que 2% en volumen, mayor o igual que 3% en volumen, o mayor o igual que 4% en volumen frente al volumen total de la composición. Son posibles combinaciones de los rangos mencionados anteriormente (por ejemplo, la composición comprende el fluido de encubrimiento en una cantidad mayor o igual al 0,02% en volumen y menor o igual al 5% en volumen con respecto al volumen total de la composición, la composición comprende el fluido de encubrimiento en una cantidad mayor o igual al 0,5% en volumen y menor o igual al 1% en volumen con respecto al volumen total de la composición). También son posibles otros rangos. En algunas realizaciones, la cantidad de fluido de encubrimiento puede determinarse obteniendo imágenes de las gotitas mediante una lente microscópica, microespectroscopia o resonancia magnética nuclear (RMN). En algunas realizaciones, la cantidad de fluido de encubrimiento puede determinarse analizando el caudal de entrada del fluido de encubrimiento utilizado para generar la composición.

La composición (por ejemplo, la gotita) puede tener una variedad de formas adecuadas. En algunas realizaciones, por ejemplo, y como se muestra en la FIG. 1A, la composición 102a (por ejemplo, la gotita) puede ser sustancialmente esférica. En otras realizaciones, la composición puede ser no esférica, ya que la divulgación no pretende ser limitativa a este respecto. En ciertas realizaciones, por ejemplo, y como se muestra en la FIG. 1A, la composición 102a (por ejemplo, la gotita) puede tener una dimensión característica máxima (por ejemplo, un diámetro máximo) 114. De acuerdo con algunas realizaciones, la composición 102a puede ser no esférica, ya que la divulgación no pretende

ser limitativa a este respecto. Según algunas realizaciones, la composición puede tener una dimensión característica máxima mayor o igual a 100 micrómetros, mayor o igual a 200 micrómetros, mayor o igual a 300 micrómetros, mayor o igual a 400 micrómetros, mayor o igual a 500 micrómetros, mayor o igual a 1 mm, mayor o igual a 2 mm, mayor o igual a 3 mm, o mayor o igual a 4 mm. En determinadas realizaciones, la composición puede tener una dimensión característica máxima inferior o igual a 5 mm, inferior o igual a 4 mm, inferior o igual a 3 mm, inferior o igual a 2 mm, inferior o igual a 1 mm, inferior o igual a 500 micrómetros, inferior o igual a 400 micrómetros, inferior o igual a 300 micrómetros, o inferior o igual a 200 micrómetros. Son posibles combinaciones de los rangos mencionados (por ejemplo, la composición tiene una dimensión característica máxima mayor o igual a 100 micrómetros y menor o igual a 5 mm, la composición tiene una dimensión característica máxima mayor o igual a 500 micrómetros y menor o igual a 1 mm). También son posibles otros rangos. En ciertas realizaciones, la dimensión característica máxima de la composición puede determinarse mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y/o microscopía electrónica de transmisión (TEM).

De acuerdo con ciertas realizaciones, la composición comprende una o más especies para la entrega a una superficie de un sustrato. Haciendo referencia, por ejemplo, a la FIG. 1A, la composición 102a comprende el fluido portador 104, el fluido de encubrimiento 106 que rodea al menos parcialmente al fluido portador 104, y la especie 108. En algunas realizaciones, las especies pueden estar al menos parcialmente disueltas y/o suspendidas en el fluido portador, como se muestra en la FIG. 1A. En otras realizaciones, las especies pueden estar al menos parcialmente disueltas y/o suspendidas en el fluido de encubrimiento. Por ejemplo, la FIG. 1B muestra, de acuerdo con ciertas realizaciones, un diagrama esquemático transversal de la composición 102b (por ejemplo, gotita) que comprende el fluido portador 104 y el fluido de encubrimiento 106 que rodea al menos parcialmente al fluido portador 104, en el que el fluido de encubrimiento 106 incluye especies 108 disueltas y/o suspendidas en el fluido de encubrimiento 106. En otras realizaciones, las especies pueden estar al menos parcialmente disueltas y/o suspendidas en el fluido de encubrimiento 106. En otras realizaciones, las especies pueden estar al menos parcialmente disueltas y/o suspendidas tanto en el fluido portador como en el fluido de encubrimiento. Por ejemplo, la FIG. 1C muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático transversal de la composición 102c (por ejemplo, gotita) que comprende fluido portador 104 y fluido de encubrimiento 106 que rodea al menos parcialmente al fluido portador 104, en el que tanto el fluido portador 104 como el fluido de encubrimiento 106 incluyen especies 108, que pueden estar disueltas y/o

suspendidas en el fluido portador 104 y en el fluido de encubrimiento 106. En otras realizaciones, las especies pueden estar disueltas y/o suspendidas tanto en el fluido portador 104 como en el fluido de encubrimiento 106.

Según ciertas realizaciones, la composición puede comprender más de una especie (por ejemplo, dos especies, tres especies, cuatro especies, cinco especies, etc.). En algunas realizaciones, por ejemplo, la composición puede comprender más de una especie disuelta y/o suspendida en el fluido portador y/o en el fluido de encubrimiento. En ciertas realizaciones, la composición puede comprender al menos una especie disuelta y/o suspendida en el fluido portador y al menos una especie disuelta y/o suspendida en el fluido de encubrimiento. En otras realizaciones, la composición puede comprender al menos una primera especie y una segunda especie disuelta y/o suspendida en el fluido portador. En otras realizaciones, la composición puede comprender al menos una primera especie y una segunda especie disuelta y/o suspendida en el fluido de encubrimiento.

Puede utilizarse cualquiera de las especies adecuadas. En algunas realizaciones, la especie es un producto químico agrícola. En ciertas realizaciones, la especie es un pesticida, fertilizante, compuesto agroquímico y/o surfactante. Ejemplos no limitantes de especies incluyen un insecticida, herbicida, fungicida, herbicida y/o fertilizante foliar. También son posibles otras especies.

Según algunas realizaciones, la composición puede tener un coeficiente de extensión definido por:

$$S = \sigma_{agua+soluto, aire} - (\sigma_{agua+soluto, fluido de encubrimiento} + \sigma_{fluido de encubrimiento, aire}),$$

donde σ es una tensión interfacial.

En algunas realizaciones, la composición puede configurarse de manera que el coeficiente de dispersión sea mayor o igual a 0. En algunas realizaciones, el fluido de encubrimiento puede rodear completamente el fluido portador (es decir, el fluido de encubrimiento cubre el 100% de la superficie del fluido portador). Refiriéndose, por ejemplo, a las FIGs. 1A-1C, el fluido de ocultamiento 106 rodea completamente al fluido portador 104.

En ciertas realizaciones, la composición puede configurarse de modo que el coeficiente de dispersión sea inferior a 0. En algunas de estas realizaciones, el fluido de encubrimiento puede rodear parcialmente al fluido portador. La FIG. 1D muestra, de acuerdo con ciertas realizaciones, un diagrama esquemático transversal de la composición 102d (por ejemplo, gotita) que comprende el fluido portador 104 y el fluido de encubrimiento 106 que

rodea parcialmente el fluido portador 104. En algunas realizaciones, por ejemplo, la composición puede estar configurada para que el coeficiente de dispersión sea inferior a 0. En algunas realizaciones, por ejemplo, la superficie 105a del fluido portador 104 puede ser una interfaz entre el fluido portador 104 y un medio externo (p. ej., aire, una superficie, etc.),
5 mientras que la superficie 105b del fluido portador 104 es una interfaz entre el fluido portador 104 y el fluido de encubrimiento 106. Aunque la FIG. 1D muestra que la especie 108 está disuelta y/o suspendida en el fluido portador 104, como se explicó anteriormente, el fluido de encubrimiento 106 puede incluir la especie 108 además o en lugar de que el fluido portador 104 incluya la especie 108.

10 El fluido de encubrimiento puede rodear cualquiera de las diversas superficies adecuadas del fluido portador. En ciertas realizaciones, por ejemplo, el fluido de encubrimiento rodea más del 50%, más del 60%, más del 70%, más del 80%, más del 90%, más del 95% o más del 99% de la superficie del fluido portador. En algunas realizaciones, el fluido de encubrimiento rodea menos de o igual al 100 %, menos de o igual al 99 %, menos
15 de o igual al 95 %, menos de o igual al 90 %, menos de o igual al 80 %, menos de o igual al 70%, o menor o igual al 60% del área superficial del fluido portador. Son posibles combinaciones de los rangos mencionados anteriormente (por ejemplo, el fluido de encubrimiento rodea más del 50% y menos del 100% de la superficie del fluido portador, el fluido de encubrimiento rodea más del 70% y menos del 80% de la superficie del fluido
20 portador). También son posibles otros rangos. La superficie del fluido portador rodeada por el fluido de encubrimiento puede determinarse utilizando métodos como SEM y/o TEM.

Según algunas realizaciones, la composición puede comprender una pluralidad de fluidos de encubrimiento que rodean al menos parcialmente al fluido portador. La FIG. 2 muestra, en algunas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal de la
25 composición 102e (por ejemplo, una gotita) que comprende el fluido portador 104 y una pluralidad de fluidos de encubrimiento 106 (por ejemplo, el primer fluido de encubrimiento 106a y el segundo fluido de encubrimiento 106b) que rodean al menos parcialmente al fluido portador 104. Aunque la FIG. 2 muestra un primer fluido de encubrimiento y un segundo fluido de encubrimiento, puede haber otros fluidos de encubrimiento. Aunque la FIG. 2
30 muestra un primer fluido de encubrimiento y un segundo fluido de encubrimiento, también son posibles fluidos de encubrimiento adicionales (por ejemplo, un tercer fluido de encubrimiento, un cuarto fluido de encubrimiento, un quinto fluido de encubrimiento, etc.), ya que la divulgación no pretende ser limitativa en este sentido. En algunas realizaciones, el primer fluido de encubrimiento 106a puede rodear al menos parcialmente al fluido portador

104, y el segundo fluido de encubrimiento 106b puede rodear al menos parcialmente al primer fluido de encubrimiento 106a.

Aunque la FIG. 2 muestra que la especie 108 está disuelta y/o suspendida en el fluido portador 104, el primer fluido de encubrimiento 106a y/o el segundo fluido de encubrimiento 106b pueden incluir la especie 108 además o en lugar de que el fluido portador 104 incluya la especie 108, ya que la divulgación no pretende ser limitativa a este respecto.

De acuerdo con ciertas realizaciones, y como se muestra en la FIG. 2, el primer fluido de encubrimiento 106a puede rodear completamente al fluido portador 104, y el segundo fluido de encubrimiento 106b puede rodear completamente al primer fluido de encubrimiento 106a. En algunas realizaciones, aunque no se muestra en las figuras, el primer fluido de encubrimiento puede rodear parcialmente el fluido portador de tal manera que una superficie del fluido portador es una interfaz entre el fluido portador y el segundo fluido de encubrimiento. En otras realizaciones, el segundo fluido de encubrimiento puede rodear parcialmente al primer fluido de encubrimiento de forma que una superficie del primer fluido de encubrimiento sea una interfaz entre el primer fluido de encubrimiento y un medio externo (por ejemplo, aire, una superficie, etc.). En otras realizaciones, tanto el primer fluido de encubrimiento como el segundo fluido de encubrimiento rodean parcialmente el fluido portador de manera que una superficie del fluido portador es una interfaz entre el fluido portador y un medio externo (por ejemplo, aire, una superficie, etc.).

En ciertas realizaciones, se describe un artículo. Por ejemplo, la FIG. 3A muestra, de acuerdo con ciertas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal del artículo 103a que comprende una gotita que comprende el fluido portador 104 y el fluido de encubrimiento 106 que rodea al menos parcialmente al fluido portador 104, en el que la gotita se deposita sobre la superficie 112 del sustrato 110, y en el que el fluido de encubrimiento 106 está en contacto con la superficie 112. La FIG. 3A muestra una realización no limitante del fluido de encubrimiento en contacto con la superficie del sustrato después de la deposición de la composición. La FIG. 3A muestra una realización no limitante del fluido de encubrimiento en contacto con la superficie del sustrato tras la deposición de la composición.

Según algunas realizaciones, dependiendo de los componentes de la composición, las propiedades de la composición, la composición del sustrato, y/o la velocidad a la que se deposita la composición, el fluido portador puede estar en contacto con la superficie del sustrato en lugar de o además del fluido de encubrimiento que está en contacto con la superficie del sustrato. Por ejemplo, la FIG. 3B muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal del artículo 103b que comprende una gotita que

comprende fluido portador 104 y fluido de encubrimiento 106 que rodea parcialmente el fluido portador 104, en el que la gotita se deposita sobre la superficie 112 del sustrato 110, y en el que el fluido portador 104 está en contacto con la superficie 112. La FIG. 3C muestra, según ciertas realizaciones, un diagrama esquemático en sección transversal del artículo 103c
5 que comprende una gotita que comprende fluido portador 104 y fluido de encubrimiento 106 que rodea parcialmente al fluido portador 104, en el que la gotita se deposita sobre la superficie 112, y en el que tanto el fluido portador 104 como el fluido de encubrimiento 106 están en contacto con la superficie 112.

Aunque las FIGs. 3A-3C muestran que el fluido portador 104 incluye especies 108,
10 como se ha explicado anteriormente, el fluido de encubrimiento 106 puede incluir especies 108 además o en lugar de que el fluido portador 104 incluya especies 108, ya que la divulgación no pretende ser limitativa a este respecto.

Según algunas realizaciones, se describe un método para depositar una gotita sobre la superficie de un sustrato. FIGs. 4A-4D muestran, de acuerdo con ciertas realizaciones, un
15 método de depositar una gotita sobre una superficie de un sustrato. Como se muestra en la FIG. 4A, el método puede, en algunas realizaciones, comprender la exposición del fluido portador 104 (por ejemplo, incluyendo especies 108) al fluido de encubrimiento 106. Aunque la FIG. 4A muestra que el fluido portador 104 incluye especies 108, como se ha explicado anteriormente, en algunas realizaciones el fluido de encubrimiento 106 puede
20 incluir especies 108 además de o en lugar de que el fluido portador 104 incluya especies 108, ya que la divulgación no pretende ser limitativa a este respecto.

Haciendo referencia a la FIG. 4B, como resultado de la exposición del fluido portador 104 al fluido de encubrimiento 106, el fluido de encubrimiento 106 puede, en algunas realizaciones, rodear al menos parcialmente al fluido portador 104, formando así la gotita
25 208. En ciertas realizaciones, como se muestra en las FIGs. 4C-4D, el método comprende además depositar la gotita 208 sobre la superficie 112 del sustrato 110. En algunas realizaciones, como se muestra en las FIGs. En algunas realizaciones, la gotita puede formarse in situ, de manera que el fluido de encubrimiento rodea al menos parcialmente al fluido portador mientras la gotita se deposita sobre la superficie del sustrato. La FIG. 4D
30 muestra que el fluido de encubrimiento 106 está en contacto con la superficie 112 del sustrato 110, sin embargo, la realización mostrada en la FIG. 3B, en la que el fluido portador 104 está en contacto con la superficie 112, o la realización mostrada en la FIG. 3C, en la que tanto el fluido portador 104 como el fluido de encubrimiento 106 están en contacto con la superficie 112, también son posibles, ya que la divulgación no pretende ser limitante en este sentido.

Puede emplearse cualquiera de una variedad de sustratos adecuados. En determinadas realizaciones, el sustrato es un sustrato agrícola. Ejemplos de sustratos agrícolas incluyen, pero no se limitan a, una planta o una porción de una planta. En determinadas realizaciones, por ejemplo, el sustrato puede ser una hoja (p. ej., hoja de árbol, hoja de col, hoja de col rizada, hoja de lechuga, hoja de espinaca, etc.), tallo, fruto, hortaliza, flor, raíz, semilla, fruto seco y/o similares. También son posibles otros sustratos. La superficie del sustrato puede, en ciertas realizaciones, ser al menos parcialmente hidrófoba (por ejemplo, tener un ángulo de contacto con el agua superior a 90 grados) o superhidrofóbica (por ejemplo, tener un ángulo de contacto con el agua superior a 150 grados).

En ciertas realizaciones, se describe un dispositivo. La FIG. 5A muestra, de acuerdo con ciertas realizaciones, el dispositivo 301a, que comprende la boquilla 206 para suministrar la gotita 208 que comprende un fluido portador y un fluido de encubrimiento que rodea al menos parcialmente el fluido portador, en el que el fluido portador incluye una especie. El dispositivo 301a puede, en ciertas realizaciones, comprender un primer compartimento 202 que contiene el fluido portador 104 y un segundo componente 204 que contiene el fluido de encubrimiento 106. En ciertas realizaciones, el dispositivo comprende una especie que, como se ha explicado anteriormente, puede estar al menos parcialmente disuelta y/o suspendida en el fluido portador y/o en el fluido de encubrimiento. La FIG. 5A muestra que el fluido portador 104 incluye especies 108, pero, como se ha explicado anteriormente, el fluido de encubrimiento 106 puede incluir especies 108 además o en lugar de que el fluido portador 104 incluya especies 108, ya que la divulgación no pretende ser limitativa a este respecto.

En ciertas realizaciones, aunque no se muestra en las figuras, las especies pueden estar separadas del fluido portador y del fluido de encubrimiento, de manera que las especies pueden estar contenidas dentro de un tercer compartimento separado del primer compartimento y del segundo compartimento. En algunas de estas realizaciones, el dispositivo puede estar configurado para exponer las especies al fluido portador y/o al fluido de encubrimiento a través de una boquilla, conducto y/o canal que conecta de forma fluida el primer compartimento y/o el segundo compartimento con el tercer compartimento.

En algunas realizaciones en las que la composición comprende una pluralidad de fluidos de encubrimiento (por ejemplo, un primer fluido de encubrimiento y un segundo fluido de encubrimiento), el dispositivo puede comprender compartimentos adicionales para contener los fluidos de encubrimiento adicionales.

Según algunas realizaciones, el dispositivo está configurado para exponer el fluido portador al fluido de encubrimiento de forma que el fluido de encubrimiento rodee al menos

parcialmente al fluido portador. Por ejemplo, en ciertas realizaciones el dispositivo comprende al menos una boquilla. Haciendo referencia, por ejemplo, a la FIG. 5A, el dispositivo 301a comprende la boquilla 206, que puede, en algunas realizaciones, estar configurada para rociar el fluido portador 104 y el fluido de encubrimiento 106

5 simultáneamente de tal manera que se forme la gotita 208 (por ejemplo, in situ a medida que la gotita se aplica a una superficie). En ciertas realizaciones, el dispositivo 301a puede estar configurado para depositar la gotita 208 sobre una superficie de un sustrato.

En otras realizaciones, el dispositivo puede comprender dos boquillas. La FIG. 5B muestra, de acuerdo con ciertas realizaciones, el dispositivo 301b que comprende la primera
10 boquilla 206a y la segunda boquilla 206b. De acuerdo con ciertas realizaciones, las dos boquillas pueden estar configuradas para exponer el fluido portador 104 al fluido de encubrimiento 106 de tal manera que el fluido de encubrimiento 106 rodea al menos parcialmente el fluido portador 104, generando así la gotita 208 que comprende el fluido portador y el fluido de encubrimiento que rodea al menos parcialmente el fluido portador, en
15 donde el fluido portador incluye una especie. En algunas realizaciones de este tipo, la primera boquilla 206a está conectada de forma fluida al primer compartimento 202 que contiene el fluido portador 104 (por ejemplo, incluyendo la especie 108) y la segunda boquilla 206b está conectada de forma fluida al segundo compartimento 204 que contiene el fluido de encubrimiento 106. Como se ha explicado anteriormente, aunque la FIG. 5B
20 muestra que el fluido portador 104 incluye especies 108, el fluido de encubrimiento 106 puede incluir especies 108 además de o en lugar de que el fluido portador 104 incluya especies 108, ya que la divulgación no pretende ser limitativa en este sentido. En ciertas realizaciones, el dispositivo 301b puede configurarse para depositar la gotita 208 sobre una superficie de un sustrato.

25 Según ciertas realizaciones, aunque no se muestra en las figuras, uno o más compartimentos y/o una o más boquillas del dispositivo pueden estar asociados con una fuente de presión. La fuente de presión puede, en ciertas realizaciones, presurizar el fluido (por ejemplo, el fluido portador, el fluido de encubrimiento) dentro de uno o más compartimentos y/o la una o más boquillas para que el fluido pueda ser dispensado (por
30 ejemplo, rociado) desde el dispositivo (por ejemplo, a través de la boquilla).

Según ciertas realizaciones, la una o más boquillas del dispositivo pueden configurarse para rociar la composición y/o componentes de la misma (por ejemplo, un fluido portador, un fluido de encubrimiento) a cualquiera de una variedad de velocidades adecuadas. En algunas realizaciones, por ejemplo, la una o más boquillas del dispositivo están

configuradas para pulverizar la composición y/o componentes de la misma a una velocidad mayor o igual a 1 m/s, mayor o igual a 2 m/s, mayor o igual a 3 m/s, mayor o igual a 4 m/s, mayor o igual a 5 m/s, mayor o igual a 6 m/s, mayor o igual a 7 m/s, mayor o igual a 8 m/s, mayor o igual a 9 m/s, mayor o igual a 10 m/s, o mayor o igual a 15 m/s. En ciertas

5 realizaciones, la una o más boquillas del dispositivo están configuradas para pulverizar la composición y/o componentes de la misma a una velocidad menor o igual a 20 m/s, menor o igual a 15 m/s, menor o igual a 10 m/s, menor o igual a 9 m/s, menor o igual a 8 m/s, menor o igual a 7 m/s, menor o igual a 6 m/s, menor o igual a 5 m/s, menor o igual a 4 m/s, menor o igual a 3 m/s, o menor o igual a 2 m/s. Son posibles combinaciones de los rangos
10 mencionados anteriormente (por ejemplo, una o más boquillas del dispositivo están configuradas para pulverizar la composición y/o sus componentes a una velocidad mayor o igual a 1 m/s y menor o igual a 20 m/s, una o más boquillas del dispositivo están configuradas para pulverizar la composición y/o sus componentes a una velocidad mayor o igual a 5 m/s y menor o igual a 10 m/s). También son posibles otros rangos.

15 Las composiciones, los artículos, los métodos y/o los dispositivos descritos en el presente documento pueden utilizarse para una variedad de aplicaciones adecuadas. Según algunas realizaciones, la composición puede comprender una cantidad ventajosamente baja de un fluido de encubrimiento (por ejemplo, aceite) que mejora la retención (por ejemplo, retención por pulverización) de la composición en una superficie del sustrato, como la
20 superficie de una parte de una planta, en comparación con composiciones convencionales que comprenden, por ejemplo, solo agua, emulsiones de aceite en agua (O/W), y/o emulsiones de agua en aceite (W/O). En ciertas realizaciones, por ejemplo, y como se describe en el presente documento, la composición puede comprender una o más especies (por ejemplo, plaguicidas), y la composición puede estar configurada para mejorar la retención de la una o
25 más especies en una superficie de un sustrato (por ejemplo, una porción de una planta).

Los siguientes ejemplos pretenden ilustrar ciertas realizaciones de la presente invención, pero no ejemplifican el alcance total de la invención.

EJEMPLO 1

30 El siguiente ejemplo describe el uso de cantidades mínimas de un fluido de encubrimiento para mejorar la retención de las gotitas de pulverización en las superficies del sustrato.

Los impactos de gotas compuestas han recibido un interés creciente en los últimos años. Sin embargo, no se han estudiado los impactos de gotitas compuestas de agua en aceite

en superficies superhidrofóbicas y a bajas concentraciones de aceite (por ejemplo, $\leq 1\%$ vol.). Como se explica con más detalle a continuación, al camuflar gotitas de agua en aceites vegetales, se fabricaron gotitas de compuestos que se adhieren a superficies vegetales hidrófobas.

La FIG. 6A muestra imágenes de lapso de tiempo de gotitas de agua rociadas con un pulverizador agrícola sobre una hoja de col durante 3 segundos. En este caso, la boquilla produjo gotitas con un diámetro medio volumétrico de entre 341-403 μm a velocidades de entre 5-10 m/s. Algunas gotitas se fijaron donde había defectos en la hoja, pero la mayor parte del agua pulverizada rebotó, lo que pone de manifiesto el problema de la escasa retención de gotitas en la pulverización convencional de productos agroquímicos. Por el contrario, la FIG. 6B demuestra la eficacia de cubrir las gotitas de agua con $\sim 1\%$ de aceite de soja, un aceite vegetal omnipresente, que: (i) se utiliza en productos alimenticios; (ii) está aprobado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) para uso agrícola; (iii) tiene un impacto mínimo en el medio ambiente; y (iv) es barato. Con un tercio del tiempo de pulverización, se consiguió una cobertura más uniforme. La capacidad de este enfoque para reducir el desperdicio de plaguicidas se cuantificó normalizando el tiempo de pulverización por el porcentaje de la superficie foliar cubierta con gotitas. Como se muestra en la FIG. 7, se observó que el recubrimiento con aceite reducía en 5,25 veces los residuos de pesticidas, lo que indica que este método sencillo, barato y sostenible desde el punto de vista medioambiental es muy prometedor.

Para comprender plenamente el potencial de esta técnica para mejorar la retención de gotitas, se estudió sistemáticamente con dos tipos de superficies superhidrofóbicas de nanoingeniería. Se examinó la dinámica de impacto de las gotitas a una variedad de velocidades de pulverización y números de Weber relevantes para la agricultura y se estudió sistemáticamente el efecto del recubrimiento con diferentes aceites de tensión superficial y viscosidad variables. Se exploró el efecto de la fracción de aceite y se presentó un marco de estado energético simple para explicar la supresión del rebote observada con las gotitas cubiertas de aceite. Se ensayó una aplicación práctica de este sistema y se demostraron mejoras significativas en la retención de la pulverización en superficies superhidrofóbicas de nanoingeniería y en hojas de cultivos vegetales.

Se crearon gotitas de agua individuales de diferentes diámetros forzando líquidos a través de agujas de diferentes calibres. Las capas de aceite se aplicaron utilizando una aguja secundaria, como se muestra en la FIG. 8B. Los caudales de todos los líquidos se controlaron utilizando bombas de jeringa. Para fracciones de aceite $< 1\%$ en volumen, las agujas de acero

inoxidable se hidrofobizaron para evitar pérdidas por mecha. Las velocidades de impacto se modificaron controlando la altura de liberación de las gotitas dispensadas. Se utilizaron superficies de nanograss de silicio como superficies superhidrofóbicas modelo. Las superficies tenían un tamaño medio de textura y un espaciado de unos 200 nm y estaban funcionalizadas con diferentes modificadores hidrófobos. Los ángulos de contacto de avance y retroceso del agua desionizada sobre este sustrato fueron de $163,9^\circ$ y $159,3^\circ$, respectivamente, en las superficies recubiertas con octadeciltriclorosilano (OTS) y de $166,6^\circ$ y $164,8^\circ$, respectivamente, en las superficies recubiertas con tricloro(1h,1h,2h,2h-perfluorooctil)silano (FS). Los experimentos de impacto se observaron con una cámara de alta velocidad Photron Fastcam SA1.1.

La FIG. 8A muestra imágenes de lapso de tiempo de una gotita de agua (diámetro ≈ 3 mm y velocidad de impacto $\approx 1,25$ m/s) impactando sobre una superficie de OTS-Nanograss desde las vistas lateral (arriba) y de arriba abajo (abajo). La gotita se comportó como se esperaba, pasando por una fase de retracción simétrica y rebotando completamente de la superficie. La FIG. 8B muestra impactos en condiciones idénticas (velocidad y diámetro) con gotitas que estaban impregnadas de aceite de soja al 1% en volumen. Mientras que la fase de expansión fue casi idéntica en términos de diámetro máximo y tiempo de expansión, la fase de retracción en el caso de las gotitas embozadas fue notablemente diferente. Durante la retracción, la línea de contacto de la gotita se fijó a la superficie debido al aceite. Esto redujo significativamente la velocidad de retracción y provocó que la gotita se adhiriera a la superficie. La configuración sigue la altura máxima del centro de masa de la gotita (h_{cm}), ofreciendo una medida cuantitativa para seguir la supresión del rebote. De forma ilustrativa, h_{cm} se marca en la FIG. 8B. Para confirmar que la fase de propagación de los impactos no se vio alterada, y para estudiar la dinámica de la supresión del rebote más a fondo, se llevaron a cabo experimentos de impacto de gotas con 9 aceites diferentes de distintas viscosidades y tensiones superficiales.

La FIG. 9A muestra la evolución temporal del diámetro de contacto de las gotitas ($D(t)$) normalizado por su diámetro inicial D_0 para 6 condiciones representativas de encubrimiento de aceite. Todos estos experimentos se llevaron a cabo con una fracción de aceite del 1% en volumen y a una velocidad de impacto de $\approx 1,25$ m/s sobre superficies de nanograss recubiertas de OET. Sólo la gotita de agua DI de control perdió el contacto con la superficie tras el rebote en estas condiciones, ya que todas las capas de aceite consiguieron suprimir el rebote. Las observaciones de las FIGs. 8A-8B se confirmaron aún más, ya que la fase de expansión fue aproximadamente idéntica en términos del diámetro máximo de la

gotita y el tiempo de expansión para todas las gotitas. Durante la fase de retracción, las líneas de contacto de las gotitas embozadas comenzaron a clavarse en la superficie. La FIG. 9B muestra el diámetro máximo normalizado de los experimentos de impacto con diferentes capas de aceite, tamaños de gotita y velocidades de impacto. Los números de Weber de las gotitas variaron de 45-639 y los números de Reynolds de 1972-7875 para abarcar condiciones relevantes desde el punto de vista agrícola. Para este régimen, el diámetro máximo normalizado a escalas de expansión completa se muestra en la ecuación 1:

$$D_{max}/D_0 = f(Re, We) = \frac{We^{\frac{1}{2}}}{1.24 + We^{\frac{1}{2}}Re^{-\frac{1}{5}}} \text{ (ecuación 1),}$$

donde We es el número de Weber y Re es el número de Reynolds. Una vez más, se observó que los diámetros máximos eran casi idénticos para los casos con y sin manto de aceite y seguían la tendencia indicada por la ecuación 1. Esto demuestra que la fase de expansión de los impactos de las gotitas no se ve afectada en gran medida por la presencia de una capa de aceite a distintas velocidades de impacto y para distintos aceites.

La altura máxima del centro de masa de la gotita (h_{cm}), definida anteriormente, se revisó para centrar la atención en la fase de retracción y el comportamiento de rebote de las gotitas embozadas. Utilizando vídeos de alta velocidad de los impactos de las gotitas, se midió h_{cm} de las gotitas y se normalizó por el diámetro inicial de la gotita D_0 . En la FIG. 9C se representa la altura de rebote normalizada para varias velocidades de impacto, condiciones de encubrimiento del aceite y superficies. En estos experimentos, la fracción de aceite se mantuvo constante al 1% en volumen para las gotitas embozadas. El gráfico demuestra la solidez del método para promover la retención de las gotitas. Independientemente del tipo de aceite, de su viscosidad o de su tensión superficial, las gotitas se adhieren a las superficies superhidrofóbicas a velocidades comprendidas entre 0,8 y 2,3 m/s, que corresponden a los números We de 81-646, relevantes para la agricultura. Las viscosidades del aceite variaron entre 1,3 cst y 68 cst. Las tensiones superficiales del aceite variaron entre 16 mN/m y 32 mN/m.

En estos experimentos se observó una tendencia general de menor h_{cm} para mayores tensiones superficiales y viscosidades. En el extremo superior de las velocidades de impacto, se observaron salpicaduras tanto de las gotitas de agua desionizada como de las gotitas embebidas en aceite. Curiosamente, mientras que las gotitas satélite del caso de control se dispersaron por la superficie, casi todas las gotitas satélite del caso de recubrimiento de aceite se adhirieron a la superficie. Normalmente, para mejorar la cobertura en las superficies de las plantas se eligen tamaños de gotita más pequeños que son más propensos a la deriva, pero

estos resultados indican que la metodología podría permitir el uso de gotitas grandes que son resistentes a la deriva, al tiempo que se benefician de la cobertura mejorada que ofrecen las gotitas satélite.

La FIG. 9D muestra el efecto de la fracción de aceite para dos aceites representativos de baja y alta viscosidad. Ambos aceites fueron eficaces para evitar la retención al 0,1% en volumen, lo que refuerza la solidez práctica del enfoque. Este volumen de aceite es comparable a la cantidad total de adyuvantes utilizados en la pulverización agrícola convencional, incluso cuando se emplean emulsiones de aceite en agua.

La FIG. 10 indica algunas de las complejidades que surgen a fracciones de aceite más bajas. A medida que la fracción volumétrica alcanza el 0,1%, se observa que el borde de aceite que delimita la gotita se vuelve discontinuo. Este borde desaparece posteriormente a medida que las fracciones de aceite descienden por debajo del 0,1%. Con estas fracciones de volumen, el ángulo de contacto medio durante la fase de retracción también cambió drásticamente, pasando de unos 30° a unos 140°. Con una fracción de volumen del 0,01%, la fase de retracción fue comparable a la de una gotita de agua desionizada, lo que indica que se necesita una cantidad mínima de aceite para que el método sea eficaz. La FIG. 11 muestra algunos ejemplos de la altura de rebote máxima normalizada para diferentes condiciones de impacto, a fin de destacar la distinción entre los regímenes de rebote, adherencia y salpicadura.

Se ha demostrado que el recubrimiento de aceite ofrece un enfoque sencillo pero sólido para mejorar la retención de gotitas en superficies superhidrofóbicas en una serie de condiciones de impacto relevantes para la agricultura, para una amplia gama de aceites, viscosidades del aceite y fracciones de volumen de aceite. Sin embargo, de estos impactos también se desprende claramente que los mecanismos que rigen la dinámica de retracción son bastante complejos. Hay varios fenómenos macroscópicos y microscópicos de pinzamiento que provocan pérdidas de energía durante la retracción. Los vídeos de alta velocidad indican que la formación de un borde de aceite contribuye a fijar las gotitas a la superficie. Sin embargo, también es evidente que el grosor, la continuidad y la simetría de los bordes son muy variables. Una complicación añadida surge cuando la fracción volumétrica del aceite desciende por debajo del 0,1%. En este caso, la escasez de aceite en la interfaz debe tenerse en cuenta en cualquier modelo que intente captar con precisión la dinámica de estos impactos de gotitas compuestas. Aunque para explicar la dinámica explícita de este sistema habrá que examinar más a fondo las interacciones fluídicas e interfaciales en juego, puede utilizarse un análisis sencillo de los estados energéticos para explicar la retención de las gotitas.

Una gotita que impacta puede considerarse en dos estados: (i) en el diámetro máximo durante el impacto; y (ii) después de que la gotita haya rebotado. Centrándonos primero en este último estado, cuando una gotita de agua rebota en una superficie superhidrofóbica, su energía cinética puede expresarse como un producto de su energía cinética de entrada y el coeficiente de restitución (e_0), que se muestra en la FIG. 12A. En el caso de las gotitas de agua, el coeficiente de restitución en una superficie superhidrofóbica es función del número de Weber. Utilizando esta tendencia, para cualquier gotita de agua de un tamaño y velocidad de entrada dados, se puede estimar la energía cinética de rebote que llevaría la gotita. Para que cualquier técnica suprima este rebote, habría que eliminar esta energía de la gotita.

Volviendo al otro estado de interés, cuando la gotita alcanza su diámetro máximo, se pueden considerar dos tipos de mecanismos de disipación de energía, uno debido a la tensión superficial y otro debido a la viscosidad.

El trabajo de adherencia (E_s), el término que recoge la cantidad de trabajo necesario para retirar una gotita de una superficie, puede escribirse en términos de la tensión superficial del fluido en contacto con la superficie ($\sigma_{externa}$), el ángulo de contacto de retroceso de la gotita (θ_r) y el radio máximo de la gotita sobre la superficie (R_{max}), como se muestra en la ecuación 2:

$$E_s \sim \sigma_o (1 + \cos(\theta_r)) \pi R_{max}^2 \text{ (ecuación 2)}$$

En los casos de encubrimiento, se supuso que toda el área de contacto con la superficie estaba cubierta por petróleo durante el evento de impacto. Se trata de una suposición razonable, dado que el aceite se humedece preferentemente en la superficie en comparación con el agua. El segundo mecanismo de disipación sólo está presente en los casos cubiertos de aceite y se debe a la viscosidad de la propia capa de aceite. La disipación viscosa E_μ puede expresarse como una suma de tres términos, disipación de la capa de aceite ($E_{\mu I}$), disipación en la película de aceite bajo la gotita ($E_{\mu II}$) y la disipación en la cresta de aceite ($E_{\mu III}$) como se muestra en la FIG. 12B y en las ecuaciones 3-5:

$$E_\mu \sim E_{\mu I} + E_{\mu II} + E_{\mu III} \text{ (ecuación 3)}$$

$$E_\mu \sim \mu_w U_r^2 R_{max} + \frac{\mu_w^2}{\mu_o} \mu_o U_r^2 t + \mu_o U_r^2 R_{max} \text{ (ecuación 4)}$$

$$E_\mu \sim \mu_o U_r^2 R_{max} \text{ (ecuación 5)}$$

Comparando la magnitud relativa de estos términos, se vio que la disipación viscosa en la cresta de aceite en la línea de contacto de la gota que retrocede sería el término dominante. Cabe señalar que la disipación en la gotita de agua no necesita considerarse en este balance energético, puesto que ya se tiene en cuenta en el coeficiente de restitución.

Utilizando este marco, si la suma del trabajo de adhesión y la disipación viscosa es igual a la energía cinética de rebote, la gotita se pegará, y si la energía cinética de rebote es mucho mayor que la suma de estos términos, la gotita rebotará.

La FIG. 12C muestra la energía cinética de rebote normalizada por la suma del trabajo de adhesión y la disipación viscosa para cada condición experimental a la que se aplica el modelo. Para cada gotita, la energía cinética de rebote que sería transportada por una gotita de agua de tamaño y velocidad de entrada similares se estimó utilizando el coeficiente de restitución. El trabajo de adhesión y la disipación viscosa se estimaron utilizando el diámetro de contacto máximo observado durante el impacto de cada gotita. El ángulo de contacto utilizado en este caso es el ángulo de retroceso cuasiestático de las gotitas de compuesto sobre la superficie superhidrofóbica, como se indica en las FIGs. 13A-13B. Dadas estas aclaraciones, se vio que la suma del trabajo de adhesión y la disipación viscosa escala bien con la energía cinética de rebote para todas las gotitas cubiertas de aceite, lo que ilustra por qué son capaces de adherirse. En cambio, las gotitas de agua pura (que son los únicos experimentos en los que la gotita rebotó) tienen energías cinéticas aproximadamente 3 veces mayores que la suma de los términos disipativos.

Dado que el modelo de disipación de energía es capaz de captar con precisión el comportamiento de rebote de las gotitas, merece la pena comentar las viscosidades más elevadas y el efecto de la escala de tiempo de encubrimiento. El impacto de una gotita embozada en aceite de silicona de 500 cSt con una fracción de volumen de aceite del 1% se observó mediante vídeo de alta velocidad. Aunque este aceite de alta viscosidad afectó ligeramente a la fase de retracción, en comparación con el caso de agua pura, fue mucho menos eficaz para suprimir el rebote que los otros casos de gotitas embozadas en los que la viscosidad del aceite era inferior a 70 cSt. Así pues, este experimento con un aceite de alta viscosidad permitió comprender mejor las escalas de tiempo de la ocultación y su importancia en la supresión del rebote. De hecho, el modelo de estado energético simple presentado anteriormente habría predicho que la gotita se pegaría siempre que se cumplieran todos los demás supuestos. Sin embargo, las escalas de tiempo de ocultación de aceites de distintas viscosidades sobre gotitas de agua sugieren que la hipótesis de que el aceite cubra toda la superficie interfacial no se cumpliría en este caso de ocultación con un aceite muy viscoso. En concreto, todos los demás aceites que se utilizaron en el estudio tienen viscosidades < 70 cSt, lo que sugiere que también deberían poder cubrir las gotitas de agua y la interfaz entre la gotita y la superficie superhidrofóbica (SHS) debido a su baja viscosidad en unos 0,5 ms. En cambio, el aceite de alta viscosidad tardaría unos 50 ms en cubrir toda la

gotita y unas decenas de milisegundos en cubrir la zona interfacial entre la gotita y la SHS. Dado que toda la fase de retracción se produce en unos 10-20 ms, este tiempo podría no ser suficiente para que un aceite de alta viscosidad sea capaz de suprimir el rebote.

Una vez explorado un amplio régimen de parámetros fluídicos e interfaciales con impactos de una sola gotita, se implementó un dispositivo práctico que pudiera utilizarse para demostrar mejoras prácticas en la retención de la pulverización. Se desarrolló un prototipo con dos boquillas, una para el agua y otra para el aceite.

Para comprobar la capacidad del dispositivo de pulverización de mejorar la retención en el caso más extremo, se pulverizaron gotitas de agua y de agua impregnadas de aceite de soja sobre una gran superficie de OTS-nanograss. Para medir el rendimiento de retención en términos de masa, se pesó la masa retenida de gotitas en ambos casos. La FIG. 14A muestra una fotografía del resultado de rociar gotitas de agua sobre la superficie durante 3 segundos. Como era de esperar, casi todas las gotitas de agua pulverizadas sobre la superficie superhidrofóbica rebotan. La FIG. 14B muestra una fotografía del resultado de rociar gotitas de agua embebidas en $\sim 1\%$ en peso de aceite de soja durante 3 segundos. Casi inmediatamente después de comenzar la pulverización, las gotitas de agua comienzan a adherirse a la superficie y al final de los 3 segundos, se midió un aumento de 96 veces en la masa retenida (FIG. 14C) para el caso del aceite de soja. La FIG. 14C también muestra los datos de retención de los experimentos en los que las gotitas embebidas en aceite sólo se rociaron durante 1 y 2 segundos. Se encontró que esta tendencia es consistente para otros aceites vegetales que se utilizan comúnmente en la agricultura como el aceite de canola o de semilla de algodón, lo que ilustra la robustez del enfoque. Estos experimentos muestran el potencial de esta tecnología para reducir en gran medida la cantidad de pesticidas pulverizados, ya que incluso con un tercio del tiempo de pulverización, la técnica permite mejoras de 7,3x-14x en la retención de masa en función del aceite utilizado. Y lo que es más importante, estas mejoras se consiguen con aceites baratos, ampliamente utilizados y seguros para el medio ambiente, los trabajadores agrícolas y los cultivos. También se sabe que estos aceites son ampliamente compatibles con los productos químicos de los pesticidas, retrasan la evaporación de las gotitas de pulverización de agroquímicos y favorecen la absorción foliar de los pesticidas.

En las FIGs. 6A-7, se demostró la capacidad del prototipo de dispositivo pulverizador para reducir los residuos de pulverización en términos de cobertura de la superficie sobre las hojas. Para demostrar la capacidad del dispositivo pulverizador para mejorar la masa retenida, se pulverizaron otras tres hojas de cultivo (col rizada, espinaca y lechuga) y el

resultado de 1s de pulverización en todas las hojas se muestra en la FIG. 14D. La masa total retenida de gotitas se normaliza por el área de la hoja y el tiempo de pulverización tanto para las gotitas embebidas en agua como en aceite de soja y se presenta en la FIG. 14E. Se observó una mejora $>3x$ en la masa retenida normalizada en las hojas, lo que demuestra la amplia aplicabilidad práctica del enfoque para mejorar la retención de gotitas.

En conclusión, se ha demostrado un método sencillo, sostenible desde el punto de vista medioambiental, barato y eficaz para mejorar la retención de los aerosoles en superficies hidrófobas y superhidrofóbicas. Al cubrir las gotitas con cantidades mínimas de aceite ($<1\%$ en volumen), se ha demostrado una supresión robusta del rebote en dos tipos de superficies superhidrofóbicas con 9 aceites diferentes que abarcan una amplia gama de viscosidades y tensiones superficiales en condiciones de impacto relevantes para la agricultura. También se ha demostrado la supresión del rebote con tan sólo un $0,1\%$ de aceite en volumen por gotita. Mediante la modelización de la disipación viscosa y basada en la energía superficial durante los impactos de estas gotitas embozadas, se proporcionó una comprensión física de la supresión del rebote. Por último, estos resultados se tradujeron en un prototipo de pulverizador capaz de mejorar hasta 102 veces la retención en superficies superhidrofóbicas y reducir hasta 5,25 veces los residuos al pulverizar sobre hojas de cultivos. Estas mejoras se lograron utilizando aceites vegetales inocuos para la alimentación y el medio ambiente, y la metodología presentada resulta muy prometedora para reducir el impacto de los pesticidas en la salud humana y el medio ambiente.

Estimación de la velocidad de impacto, el centro de masa y el coeficiente de restitución : Los datos sobre la velocidad de impacto y el centro de masa (COM) se extrajeron de los vídeos de alta velocidad mediante el análisis de imagen de cada fotograma. Al iluminar el fondo y la superficie se tuvo cuidado de que los bordes de la gotita fueran los más oscuros del vídeo. Esto permitió utilizar un sencillo método de umbralización para crear una máscara del contorno de la gotita. Para cada fila de píxeles de la máscara de la gotita, la anchura de la máscara se tomó como el diámetro local de la gotita, bajo el supuesto de que la gotita permanecía axisimétrica en todo momento. La masa parcial de cada fila se calculó como la masa de un disco de un píxel de grosor. La masa media de estas masas parciales ponderada por su posición vertical dio como resultado el COM. La velocidad de impacto se calculó diferenciando la COM vertical fotograma a fotograma con respecto al tiempo y tomando la velocidad justo antes del impacto. Dado que la velocidad de rebote de una gotita es muy variable a lo largo del proceso de rebote, se estableció una definición alternativa del

coeficiente de restitución, donde $e_o = \frac{\sqrt{2gh_{COM}}}{V_i}$. Utilizando la altura COM máxima de la gotita tras el rebote para calcular una velocidad equivalente, se obtiene un valor mucho más fiable.

Configuración práctica : Para probar la cobertura de las superficies de las hojas por un pulverizador de interés agrícola, se presurizó un depósito de agua desionizada a 2 atm (30 psi) y se hizo fluir a través de una punta de pulverización de cono completo TeeJet TG-1 (Spray Smarter), con el pulverizador resultante dirigido a la hoja. Se mantuvo una distancia de aproximadamente 75 cm entre el pulverizador y la hoja. Se instaló una boquilla de pulverización automática AA250AUH (Spraying Systems) justo aguas arriba de la punta de pulverización para controlar el tiempo de pulverización encendiéndola y apagándola. Las gotitas de agua de la boquilla primaria se cubrieron de aceite con un pulverizador secundario de aerógrafo. Se tuvo cuidado de que el ángulo de solapamiento de las dos boquillas garantizara que nada del aceite del pulverizador secundario contaminara directamente las superficies. Los caudales de ambos fluidos se controlaron para garantizar un recubrimiento del 1 % en peso.

Hidrofobización de las agujas : Las agujas de acero inoxidable se hidrofobizaron sumergiéndolas durante 24 horas en una solución de ácido fluoroalquil(C10) fosfónico 5 mM (SP-06-003, obtenida de Specific Polymers) disuelto en metanol. Una superficie plana de control de acero inoxidable sometida a las mismas condiciones presentaba un ángulo de contacto agua-aire de $>90^\circ$, lo que confirmaba el éxito de la hidrofobización.

Mediciones del ángulo de contacto : Los ángulos de contacto se midieron utilizando un goniómetro de ángulo de contacto Ramé-Hart.

Confirmación de fracciones de bajo volumen de aceite : Todas las fracciones de volumen de aceite se confirmaron midiendo los pesos de los líquidos dispensados a lo largo del tiempo.

Aunque se han descrito e ilustrado en el presente documento varias realizaciones de la presente invención, los expertos en la materia imaginarán fácilmente una variedad de otros medios y/o estructuras para realizar las funciones y/o obtener los resultados y/o una o más de las ventajas descritas en el presente documento, y cada una de tales variaciones y/o modificaciones se considera dentro del alcance de la presente invención. En términos más generales, los expertos en la materia apreciarán fácilmente que todos los parámetros, dimensiones, materiales y configuraciones descritos en el presente documento se entienden a modo de ejemplo y que los parámetros, dimensiones, materiales y/o configuraciones reales

dependerán de la aplicación o aplicaciones específicas para las que se utilicen las enseñanzas de la presente invención. Los expertos en la materia reconocerán, o podrán determinar mediante experimentación rutinaria, muchos equivalentes a las realizaciones específicas de la invención descritas en el presente documento. Por lo tanto, debe entenderse que las

5 realizaciones anteriores se presentan únicamente a modo de ejemplo y que, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes, la invención puede practicarse de forma distinta a la descrita y reivindicada específicamente. La presente invención está dirigida a cada característica individual, sistema, artículo, material, kit y/o método descrito en el presente documento. Además, cualquier combinación de dos o más de dichas características, sistemas, artículos, materiales, kits y/o métodos, si dichas características, sistemas, artículos, materiales, kits y/o métodos no son mutuamente inconsistentes, se incluye dentro del alcance de la presente invención.

Debe entenderse que todas las definiciones, tal y como se definen y utilizan en el presente documento, prevalecen sobre las definiciones de diccionario, las definiciones de documentos incorporados por referencia y/o los significados ordinarios de los términos definidos.

Los artículos indefinidos "un" y "una", tal como se utilizan aquí en la especificación y en las reivindicaciones, a menos que se indique claramente lo contrario, deben entenderse en el sentido de "al menos uno".

20 La expresión "y/o", tal como se utiliza en la especificación y en las reivindicaciones, debe entenderse en el sentido de "uno o ambos" de los elementos así combinados, es decir, elementos que están presentes conjuntamente en algunos casos y disyuntivamente en otros. Los elementos múltiples enumerados con "y/o" deben interpretarse de la misma manera, es decir, "uno o más" de los elementos así unidos. Opcionalmente, pueden estar presentes otros elementos además de los elementos específicamente identificados por la cláusula "y/o", ya estén relacionados o no con los elementos específicamente identificados. Así, como ejemplo no limitativo, una referencia a "A y/o B", cuando se utiliza junto con un lenguaje abierto como "que comprende" puede referirse, en una realización, sólo a A (incluyendo opcionalmente elementos distintos de B); en otra realización, sólo a B (incluyendo 25 opcionalmente elementos distintos de A); en otra realización, tanto a A como a B (incluyendo opcionalmente otros elementos); etc.

Tal como se utiliza en la presente especificación y en las reivindicaciones, debe entenderse que "o" tiene el mismo significado que "y/o", tal como se ha definido anteriormente. Por ejemplo, al separar elementos en una lista, "o" o "y/o" se interpretará

como inclusivo, es decir, la inclusión de al menos uno, pero también incluyendo más de uno, de un número o lista de elementos y, opcionalmente, elementos adicionales no incluidos en la lista. Sólo los términos que indiquen claramente lo contrario, como "sólo uno de" o

"exactamente uno de", o, cuando se utilice en las reivindicaciones, "consistente en", se

referirán a la inclusión de exactamente un elemento de un número o lista de elementos. En general, el término "o", tal como se utiliza en el presente documento, sólo se interpretará en el sentido de que indica alternativas exclusivas (es decir, "uno u otro pero no ambos") cuando vaya precedido de términos de exclusividad, como "o bien", "uno de", "sólo uno de" o "exactamente uno de". "Consistente esencialmente en", cuando se utilice en las

reivindicaciones, tendrá su significado ordinario tal como se utiliza en el campo del derecho de patentes.

Tal como se utiliza en la presente especificación y en las reivindicaciones, la expresión "al menos uno", en referencia a una lista de uno o más elementos, debe entenderse en el sentido de al menos un elemento seleccionado de entre uno o más de los elementos de la

lista de elementos, pero sin incluir necesariamente al menos uno de todos y cada uno de los elementos específicamente enumerados en la lista de elementos y sin excluir ninguna combinación de elementos de la lista de elementos. Esta definición también permite que,

opcionalmente, puedan estar presentes elementos distintos de los elementos específicamente identificados dentro de la lista de elementos a los que se refiere la frase "al menos uno", ya

estén relacionados o no con los elementos específicamente identificados. Así, como ejemplo no limitativo, "al menos uno de A y B" (o, equivalentemente, "al menos uno de A o B", o, equivalentemente "al menos uno de A y/o B") puede referirse, en una realización, a al menos

uno, incluyendo opcionalmente más de uno, A, sin B presente (y opcionalmente incluyendo elementos distintos de B); en otra realización, al menos uno, que opcionalmente incluya más

de uno, B, sin que esté presente A (y que opcionalmente incluya elementos distintos de A); en otra realización, al menos uno, que opcionalmente incluya más de uno, A, y al menos uno, que opcionalmente incluya más de uno, B (y que opcionalmente incluya otros elementos); etc.

También debe entenderse que, a menos que se indique claramente lo contrario, en cualquier método reivindicado en el presente documento que incluya más de un paso o acto, el orden de los pasos o actos del método no se limita necesariamente al orden en que se recitan los pasos o actos del método.

En las reivindicaciones, así como en la especificación anterior, todas las frases transicionales tales como "que comprende", "que incluye", "que lleva", "que tiene", "que

contiene", "que implica", "que posee", "compuesto de" y similares deben entenderse como abiertas, es decir, que significan que incluyen pero no se limitan a. Únicamente las frases transicionales "consiste en" y "consiste esencialmente en" serán frases transicionales cerradas o semicerradas, respectivamente, tal y como se establece en el Manual de Procedimientos de

- 5 Examen de Patentes de la Oficina de Patentes de los Estados Unidos, Sección 2111.03.

