

PROCESO DE REFINADO HIDROTHERMAL

SOLICITUDES RELACIONADAS

[0001] Esta solicitud reivindica prioridad sobre la solicitud de patente provisional de EE.UU. n° 63/445402 presentada anteriormente, titulada "PROCESO DE REFINADO HIDROTHERMAL". Esta solicitud comparte cierto objeto en común con la Patente de EE.UU. n° 10.071.322 presentada anteriormente, titulada "PROCESO DE LIMPIEZA HIDROTHERMAL". Esta solicitud de patente comparte cierto objeto en común con la Patente de EE.UU. n° 11.781.075 presentada anteriormente, titulada "PROCESO DE PURIFICACIÓN HIDROTHERMAL". Esta solicitud de patente comparte cierto objeto en común con la solicitud de patente de EE. UU. presentada anteriormente, Publicación n.º 2014/0109465, titulada "SISTEMA REACTOR DE ALTA VELOCIDAD." Las patentes y solicitudes de patente mencionadas anteriormente se incorporan mediante referencia en su totalidad a la presente solicitud.

ANTECEDENTES

1. CAMPO

[0002] Las modalidades de la invención se refieren a la eliminación de contaminantes de materias primas de grasas y aceites de calidad alimentaria, como grasas extraídas, aceites crudos o crudos desgomados de soja, canola, maíz, girasol, cacahuate, oliva, linaza, palma, coco, sésamo, aguacate, colza, semilla de algodón, o una mezcla de estos. Más concretamente, las modalidades de la invención se refieren a un proceso de refinado hidrotermal que utiliza agua, temperatura, presión, flujo turbulento y ácido débil para lograr una rápida reducción de fósforo y metales mediante reacciones de hidrólisis y acidulación y transferencia de masa de contaminantes inorgánicos de aceites crudos o aceites crudos desgomados de calidad alimentaria a una fase acuosa.

2. TÉCNICA RELACIONADA

[0003] Los fosfolípidos son componentes esenciales de la estructura de las células vegetales, comúnmente denominadas gomas. Estas gomas se extraen de las semillas oleaginosas junto con el aceite vegetal crudo y, al ser solubles en aceite, permanecen en el aceite crudo extraído. Uno de los principales objetivos del refinado del aceite vegetal crudo es reducir el contenido de fosfolípidos del aceite a un nivel muy bajo, normalmente inferior a 3 partes por millón en peso (ppmw). Un contenido de fosfolípidos superior a cierto nivel puede hacer que el aceite no funcione satisfactoriamente en muchas aplicaciones. En el refinado convencional de aceites vegetales, el aceite crudo se desgoma para reducir el contenido de fósforo del aceite a un nivel muy bajo, ya que el contenido de fósforo del aceite influye profundamente en el sabor y la estabilidad del aceite refinado, blanqueado y desodorizado. Además, se experimentan varios problemas relacionados con el proceso cuando el aceite contiene mucho fósforo pasada la fase de blanqueo. En la industria de transformación del aceite, el contenido de fosfolípidos en el aceite se expresa en términos de ppmw de fósforo. Esto se debe a que existe una relación definida entre el contenido de fosfolípidos y el correspondiente nivel de fósforo en

el aceite. Hay aproximadamente 300 ppmw de fósforo por porcentaje de fosfolípido en los aceites vegetales.

[0004] En la industria del aceite vegetal se utilizan varios procesos de desgomado. Estos procesos incluyen el desgomado con agua, el acondicionamiento con ácido, el desgomado con ácido, el superdesgomado y el ultradesgomado. El desgomado con agua elimina la mayor parte de los fosfolípidos hidratables del petróleo crudo. Las gomas hidratables del petróleo crudo se separan fácilmente de éste a una temperatura de 60 a 65 grados centígrados utilizando agua desionizada. El aceite y el agua se mezclan suavemente en un tanque de hidratación durante 30 a 40 minutos. Las gomas hidratadas se separan y aglomeran. A continuación, las gomas hidratadas se centrifugan para extraerlas del aceite. El desgomado con ácido es muy similar al desgomado con agua, salvo que se añade una cantidad de ácido clorhídrico o ácido cítrico a la mezcla de agua y aceite, que se mezcla después en el tanque de hidratación durante 30 a 40 minutos a baja temperatura, por ejemplo por debajo de 275°C. Ni el desgomado con agua ni el desgomado con ácido reducen el contenido de fósforo hasta las especificaciones del aceite comestible. Es necesario un blanqueo adicional para eliminar el fósforo residual. El desgomado químico convencional de aceites vegetales o de algas con alto contenido en fosfolípidos da lugar a una importante pérdida de rendimiento, ya que se elimina todo el diglicérido fosfolípido del aceite tratado.

[0005] El proceso Colgate-Emery es un proceso de flujo continuo en contracorriente que suele funcionar a 250-260 °C y 725 psig y que se utiliza para la separación de grasas. El aceite se introduce en la parte inferior de una torre de separación y el agua desmineralizada se introduce en la parte superior de la torre. Los ácidos grasos se descargan por la parte superior de la torre y una solución de agua y glicerina (agua dulce) se extrae por la parte inferior de la torre. El tiempo de procesamiento es de 2 a 3 horas, lo que requiere recipientes a presión muy grandes y calentados para grandes aplicaciones comerciales. Varios factores limitan el rendimiento de un proceso Colgate-Emery: 1) la necesidad de funcionar por debajo de la temperatura de descomposición de la glicerina, que es de aproximadamente 290 °C; 2) la necesidad de proporcionar un tiempo de permanencia prolongado para la hidrólisis y permitir la separación por gravedad de las fases de ácido graso libre y glicerina-agua; 3) la necesidad de utilizar materias primas relativamente limpias y desgomadas para evitar la formación de emulsiones; y 4) el compromiso económico entre la temperatura de funcionamiento, la presión y el tiempo de permanencia. El funcionamiento del proceso Colgate-Emery a mayor temperatura requiere una presión más elevada y entraña el riesgo de descomposición de la glicerina debido al largo tiempo de permanencia a temperaturas cercanas a los 290 °C. El gran equipo necesario hace que este proceso tenga un coste prohibitivo para la producción de combustibles alternativos debido a los grandes volúmenes de petróleo que deben procesarse para lograr la viabilidad económica. El agua dulce (una solución diluida de glicerina) puede formar una emulsión debido a la presencia de ácidos grasos libres residuales y triglicéridos parcialmente hidrolizados. Para recuperar el producto de glicerina diluida, el agua dulce debe sedimentarse normalmente hasta 24 horas a 80-90°C con agentes demulsificantes. También se puede utilizar la destilación al vacío para separar aún más los ácidos grasos de cadena larga de los de cadena corta.

[0006] Los ácidos grasos libres presentes en los aceites vegetales y los producidos en el refinado de aceites vegetales deben eliminarse del aceite para cumplir las especificaciones de los aceites comestibles. Las reservas de jabón se forman durante el refinado de aceites comestibles, en el que se utiliza hidróxido de sodio para eliminar los ácidos grasos libres de los aceites vegetales en forma de jabones de sodio. Las reservas de jabón contienen jabones de sodio, fosfolípidos y glicéridos. Dado que los ácidos grasos libres limpios son mucho más valiosos como materias primas para la producción química y otras aplicaciones que los jabones, se utiliza la acidulación con ácidos fuertes, como el ácido sulfúrico, para invertir la reacción a 90 °C y recuperar los ácidos grasos libres y las sales de sodio. Además de la necesidad y el uso de un ácido fuerte, el proceso da lugar a la producción de efluentes ácidos que contienen fosfolípidos y otros compuestos.

COMPENDIO

[0007] Las modalidades de la invención resuelven los problemas mencionados anteriormente proporcionando sistemas, métodos y dispositivos para un proceso de refinado hidrotermal que consigue una rápida reducción del fósforo y los metales de los aceites de calidad alimentaria. El proceso incluye la etapa de combinar el aceite con agua y al menos uno de los secuestrantes de metales y/o reactivos, en donde los secuestrantes de metales o reactivos comprenden soluciones salinas o ácidas, antes o durante la alimentación de la mezcla de aceite y agua a un reactor hidrotermal. Las condiciones dentro del reactor se mantienen para provocar una hidrólisis rápida de los compuestos fosfolipídicos y la reacción de los contaminantes inorgánicos con los secuestrantes de ácidos y/o sales, evitando al mismo tiempo que el aceite sufra reacciones secundarias indeseables como la isomerización de ácidos grasos cis a trans, la polimerización o el craqueo térmico, y minimizando la hidrólisis de tri- y diglicéridos en ácidos grasos libres. En algunos casos, el proceso y el sistema se caracterizan por un tiempo de permanencia muy corto bajo flujo turbulento y temperatura y presión controladas para mantener las condiciones hidrotermales (agua saturada).

[0008] Este compendio se proporciona para introducir una selección de conceptos en una forma simplificada que se describen con más detalle a continuación en la descripción detallada. Este compendio no pretende identificar características clave o características esenciales del objeto reivindicado, ni pretende utilizarse para limitar el alcance del objeto reivindicado. Otros aspectos y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de las modalidades y las figuras de los dibujos adjuntos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[0009] Las modalidades de la invención se describen en detalle a continuación con referencia a las figuras de los dibujos adjuntos, en donde:

[0010] La Figura 1 ilustra una vista esquemática ejemplar de un sistema hidrotermal con acidulación de acuerdo con una modalidad de la presente divulgación para reducir los contaminantes contenidos en la materia prima renovable que incorpora un reactor tubular y un separador de agua-aceite para la recuperación de un aceite renovable purificado;

- [0011] La Figura 2 ilustra un método típico de refinado;
- [0012] La Figura 3 ilustra un método ejemplar de refinado hidrotermal relacionado con algunas modalidades; y
- [0013] La Figura 4 ilustra una reacción de hidrólisis ejemplar relacionada con algunas modalidades.
- [0014] Las figuras no limitan la invención a las modalidades específicas divulgadas y descritas en la presente. Los dibujos no están necesariamente a escala; en cambio, se hace énfasis en ilustrar claramente los principios de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0015] La siguiente descripción detallada hace referencia a los dibujos adjuntos que ilustran las modalidades específicas en las que se puede poner en práctica la invención. Las modalidades tienen la intención de describir los aspectos de la invención con suficiente detalle para permitir que aquellos expertos en la técnica pongan en práctica la invención. Otras modalidades pueden ser utilizadas, y se pueden realizar cambios sin apartarse del alcance de la invención. Por lo tanto, la siguiente descripción detallada no debe tomarse en un sentido limitativo. El alcance de la invención se define solamente por las reivindicaciones adjuntas, junto con todo el alcance de equivalencias a que dan derecho dichas reivindicaciones.

[0016] En esta descripción, las referencias a "una modalidad", "modalidad", o "modalidades" significan que la o las características a las que se hace referencia están incluidas en al menos una modalidad de la tecnología. Referencias independientes a "una modalidad", "modalidad", o "modalidades" en esta descripción no necesariamente se refieren a la misma modalidad y tampoco son mutuamente excluyentes, a menos que así se indique y/o salvo que resulte evidente para aquellos expertos en la técnica a partir de la descripción. Por ejemplo, una característica, estructura, acto, etc. descrito en una modalidad también puede ser incluida en otras modalidades pero no necesariamente está incluida. Por lo tanto, la tecnología puede incluir una variedad de combinaciones y/o integraciones de las modalidades descritas en la presente.

[0017] Los procesos de refinado hidrotermal utilizados como etapa de pretratamiento para eliminar los contaminantes de los residuos de lípidos, aceites y grasas para su uso en la producción posterior de grasas y aceites renovables utilizan condiciones de alta temperatura, normalmente por encima de 225°C para hidrolizar completamente los fosfolípidos de la materia prima. Sin embargo, el funcionamiento a alta temperatura da lugar a la producción de ácidos grasos libres, que contribuyen directamente a la pérdida de rendimiento en la producción de aceite de calidad alimentaria. Como tal, las modalidades de la presente divulgación contemplan el uso de temperaturas relativamente más bajas y velocidades de flujo más altas para hidrolizar los fosfolípidos, lo que puede disminuir la eliminación total de fósforo del aceite, pero minimiza la producción de ácidos grasos libres de la hidrólisis de los glicéridos. Los procesos típicos de refinado dan prioridad a la eliminación del fósforo y, por tanto, no limitarían la hidrólisis de los fosfolípidos reduciendo la temperatura y/o aumentando el flujo para reducir la hidrólisis de los glicéridos en ácidos grasos libres. Los caudales más altos contemplados producen

un flujo más turbulento, una mejor mezcla del aceite y el agua y tiempos de permanencia más bajos que impiden la hidrólisis posterior de los glicéridos en los ácidos grasos libres no deseados. Las condiciones suaves contempladas producen un aceite de materia prima refinada que es adecuado para aplicaciones posteriores de refinado de grado alimentario, en contraposición a los productos de materia prima que contienen casi nada de fósforo y una cantidad sustancial de ácidos grasos libres.

[0018] Las modalidades de la presente divulgación se dirigen a un proceso y sistema para el refinado de materias primas de aceites de calidad alimentaria. Esta divulgación tiene numerosas ventajas sobre otros procesos de refinado como el desgomado con agua, el desgomado químico, el desgomado enzimático, la neutralización, el blanqueo y otros procesos químicos, de extracción y de filtración. Las ventajas incluyen, entre otras: 1) un equipo que ocupe poco espacio y pueda ubicarse junto a las instalaciones convencionales de trituración de semillas oleaginosas; 2) un proceso de flujo continuo en fase líquida; 3) la reducción del fósforo a niveles inferiores a los de otros procesos de desgomado; 4) la reducción de metales y silicio; 5) la reducción de la producción de residuos sólidos como la arcilla de blanqueo y otros medios de filtración; 6) y la reducción de la pérdida de rendimiento del producto del 3-5 % o más a menos del 0,5 %. El sistema es específicamente deseable para su uso en el procesamiento de materias primas de aceites de calidad alimentaria. A la temperatura empleada en el refinado hidrotermal, las fases de aceite renovable y agua son parcialmente miscibles. Además, en las condiciones de flujo turbulento y elevado número de Reynolds empleadas durante el refinado hidrotermal, las fases de aceite renovable y agua se mezclan íntimamente y se dispersan bien en gotas de pequeño tamaño. Esto da lugar a una rápida transferencia de masa entre las fases, una rápida hidrólisis de los fosfolípidos y la conversión de los jabones metálicos de los ácidos orgánicos en sales que se separan rápidamente a la fase acuosa durante la posterior separación aceite-agua. La adición de secuestrantes de metales y/o reactivos, en donde los secuestrantes de metales y reactivos comprenden soluciones salinas o ácidas, junto con agua, antes o durante la alimentación de la materia prima en el reactor hidrotermal acelera la conversión de jabones metálicos en sales, lo que da como resultado un aceite de producto refinado que contiene menos de 10 partes por millón (ppm) de contenido total de metales. Las condiciones dentro del reactor de refinado se mantienen de manera que se consigan estas reacciones en un espacio-tiempo inferior a 10 minutos, al tiempo que se minimizan las reacciones secundarias indeseables, como la hidrólisis de mono-, di- y triglicéridos, la isomerización de grasas cis a trans, la polimerización y el craqueo térmico.

[0019] El diglicérido residual producido por la hidrólisis de los fosfolípidos no sólo se recupera en la fase oleosa, con un rendimiento superior al 99,5 %, sino que las fases oleosa y acuosa pueden separarse más fácilmente sin que se forme la capa de trapo ni se genere el efluente residual que provoca la presencia de fosfolípidos.

[0020] De acuerdo con una modalidad de la divulgación, un proceso para reducir los contaminantes contenidos en las materias primas de aceites de calidad alimentaria comprende proporcionar al menos uno de los secuestrantes de metales o reactivos, en donde los secuestrantes de metales o reactivos comprenden soluciones ácidas o salinas, o una combinación de soluciones ácidas y salinas. El

proceso incluye mezclar los secuestrantes de metales o reactivos con agua y las materias primas de aceites de calidad alimentaria para formar una mezcla de aceite-agua-reactivo e introducir la mezcla de aceite-agua-reactivo en un reactor hidrotermal, en donde la mezcla se somete a calor, presión y condiciones de flujo turbulento. El proceso incluye además el mantenimiento de la temperatura, la presión y las condiciones de flujo turbulento de la mezcla de aceite-agua-reactivo, en el reactor hidrotermal, de manera que se produzca una reacción rápida de los contaminantes inorgánicos con el secuestrante de metales o reactivos para formar sales inorgánicas que se separan en una fase acuosa. El proceso incluye además el mantenimiento de la temperatura, la presión y las condiciones de flujo turbulento de la mezcla de aceite-agua-reactivo en el reactor hidrotermal para evitar que la parte orgánica de la materia prima de la mezcla sufra hidrólisis de mono-, di- y triglicéridos, isomerización de compuestos insaturados del isómero "cis-" al isómero "trans-", craqueo térmico de los enlaces carbono-carbono de los lípidos en fragmentos de menor peso molecular y polimerización en hidrocarburos de mayor peso molecular. El efluente del reactor hidrotermal se separa en una fase acuosa que contiene sales de los contaminantes inorgánicos y una fase orgánica refinada que contiene una concentración muy baja de fósforo y metales en relación con el petróleo crudo sin refinar.

[0021] Las materias primas de aceites de calidad alimentaria pueden estar compuestas por aceites de tipo lipídico, incluidos, entre otros, aceites vegetales, aceites vegetales vírgenes; tri-, di- y monoglicéridos; ácidos grasos libres; lecitina, gomas y fosfolípidos; jabones de ácidos grasos; destilados desodorizantes; aceite ácido; aceite de tallo crudo y derivados; lípidos, aceites y grasas de desecho; aceite de maíz de destilería; aceites de algas; aceites microbianos; bioaceites, o mezclas o emulsiones acuosas de estos. Se puede apreciar que los diferentes aceites se pueden mezclar en proporciones que mejoren la procesabilidad, el rendimiento y la economía.

[0022] El aceite sin refinar y los secuestrantes de metales o reactivos, que comprenden soluciones salinas o ácidas o mezclas de estas, pueden mezclarse combinando las corrientes mediante conexiones en T, mezcladores estáticos, bombas, válvulas mezcladoras y similares, mientras la mezcla se mantiene en flujo turbulento para formar una mezcla de aceite-agua-reactivo. Los secuestrantes de metales y/o los reactivos pueden añadirse a la corriente de agua antes de mezclarse con el aceite o pueden añadirse a la mezcla de aceite y agua antes de entrar en el reactor hidrotermal o pueden añadirse en cualquier punto del proceso, incluso en un punto posterior al procesamiento en el reactor hidrotermal. Puede apreciarse que los secuestrantes de metales o reactivos pueden incluir ácidos fuertes, ácidos débiles, incluido el ácido carbónico, ácidos orgánicos, sales y mezclas de estos.

[0023] El reactor hidrotermal puede comprender un reactor tubular diseñado para mantener condiciones de flujo turbulento a números de Reynolds iguales o superiores a 4.000. En algunas modalidades, flujo turbulento se refiere a una condición de flujo caracterizada por la disrupción entre capas de un fluido fluyente. Además, la disrupción entre las capas del fluido fluyente facilita la mezcla entre las capas en comparación con el flujo laminar que consiste en capas paralelas de fluidos fluyentes con poca o ninguna mezcla entre las capas. La mezcla de aceite-agua-reactivo puede calentarse hasta una temperatura de reacción dentro de un

rango de 150 °C a 350 °C. La presión en el reactor hidrotermal puede mantenerse dentro de un rango de 100 psig a 2.500 psig y se controla para mantener la mezcla en una fase líquida, hidrotermal. En estas condiciones, el tiempo de permanencia de la mezcla de materia prima-agua-reactivo en el reactor hidrotermal puede oscilar de aproximadamente 10 segundos a 15 minutos, 10 segundos a 10 minutos, o 10 segundos a 5 minutos.

[0024] Alternativamente, el reactor hidrotermal puede operar a una presión dentro de un rango de 100 psig a 1500 psig, una temperatura dentro de un rango de 150 °C a 300 °C, y un espacio-tiempo de 10 segundos a 5 minutos. Puede apreciarse que la presión, la temperatura y el tiempo de permanencia utilizados en el reactor hidrotermal pueden determinarse en función de diversas variables, incluido el aceite concreto que se refina, la concentración de fósforo y metales en el aceite, y los secuestrantes de metales o reactantes concretos, que comprenden soluciones ácidas o salinas, que se mezclan con el agua y el aceite sin refinar. También se puede apreciar que las presiones, temperaturas y tiempos de permanencia particulares pueden estar fuera de los parámetros descritos anteriormente en función de las variables enumeradas anteriormente y del nivel de reducción de fósforo y metales requerido. Puede apreciarse que el espacio-tiempo se utiliza comúnmente en relación con los reactores de flujo en los que las reacciones, las densidades de los fluidos o las fases cambian dentro del reactor.

[0025] El espacio-tiempo se define como el tiempo necesario para procesar un volumen de fluido del reactor en función de las condiciones de entrada (temperatura y presión estándar). Dado que se mantienen las condiciones hidrotermales (fase líquida), la densidad de la mezcla aceite-agua-reactivo a temperaturas de funcionamiento entre 150 °C y 300 °C es inferior a la densidad en condiciones de entrada. Esto significa que el tiempo de permanencia real de la mezcla aceite-agua-reactivo es inferior al espacio-tiempo a la temperatura de funcionamiento.

[0026] La mezcla aceite-agua-reactivo puede existir como solución monofásica, como emulsión o como mezcla bifásica aceite-agua-reactivo, dependiendo de la temperatura de funcionamiento y de la solubilidad del aceite en agua a la temperatura de funcionamiento. La concentración de agua de la mezcla de aceite-agua-reactivo se controla para mantener el subproducto de sal inorgánica en soluciones en la fase acuosa. El proceso de separación del efluente del reactor en la corriente acuosa y la corriente de producto orgánico incluye las etapas de enfriamiento, despresurización y separación para producir una corriente de aceite refinado limpio y una corriente de agua. La separación de la fase oleosa de la fase acuosa puede realizarse utilizando al menos un separador por gravedad, un separador por gravedad que incluya elementos electrostáticos o coalescentes, un hidrociclón, una centrifugadora y/o cualquier combinación de estos, y puede acelerarse mediante el uso de agentes desemulsionantes. La separación puede realizarse antes o después del enfriamiento y la descarga de presión. Dado que las materias primas de aceites de calidad alimentaria pueden contener volátiles que afectan al sabor del aceite, el refinado de aceite tradicional utiliza una etapa de desodorización separada para eliminar los volátiles del aceite, que consiste en vaporizar el aceite para vaporizar y eliminar los volátiles del aceite. Si la separación se realiza antes de la descarga de presión, el separador puede funcionar a un nivel

en el que se permita que una parte del agua del separador parpadee y realice el rociado del aceite y la eliminación de volátiles.

[0027] Las modalidades también incluyen un sistema de refinado hidrotermal para refinar aceites renovables compuesto por un sistema de reactor hidrotermal operado a temperatura, presión y condiciones de flujo turbulento para mantener una fase líquida, hidrotermal que da como resultado una hidrólisis rápida de los fosfolípidos sin causar el craqueo termal de los enlaces carbono-carbono de los lípidos, la polimerización o la isomerización del aceite no refinado y un sistema de separación para eliminar una corriente de producto de aceite refinado limpio y una corriente de agua que contiene contaminantes inorgánicos.

[0028] En algunas modalidades, el sistema de reactor hidrotermal se hace funcionar en condiciones de flujo turbulento con un número de Reynolds (Re) de al menos 4.000. En algunas de estas modalidades, un mayor número de Reynolds, como más de 10.000 o más de 20.000, logra una mayor transferencia de masa de contaminantes entre las fases de aceite y agua. El aumento del número de Reynolds puede resultar más crítico a temperaturas de funcionamiento más bajas, como las inferiores a 250 °C, en las que la solubilidad del agua en la fase oleosa y la solubilidad del aceite en la fase acuosa es mucho menor que a temperaturas de funcionamiento más altas. El sistema de reactor hidrotermal puede funcionar a una presión comprendida dentro del rango de 100 psig a 2.500 psig y a una temperatura dentro del rango de 150 °C a 350 °C y en donde la limpieza de los aceites se produce en un espacio-tiempo de aproximadamente 10 segundos a 15 minutos, 10 segundos a 10 minutos, o 10 segundos a 5 minutos. Alternativamente, el reactor hidrotermal puede operarse a una presión dentro de un rango de 100 psig a 1500 psig, una temperatura dentro de un rango de 150 °C a 300 °C, y un espacio-tiempo de 10 segundos a 2 minutos. En algunas modalidades, el reactor hidrotermal puede operarse a una presión dentro de un rango de 100 psig a 1500 psig, una temperatura dentro de un rango de 150 °C a 275 °C, y un espacio-tiempo de 10 segundos a 2 minutos. Puede apreciarse que la proporción de agua/aceite, presión, temperatura y tiempo de permanencia del sistema de reactor hidrotermal pueden determinarse en función de diversas variables, incluido el aceite concreto que se refina, la concentración de metales y fósforo en el aceite sin refinar y los secuestrantes de metales y/o reactantes concretos, en donde los secuestrantes de metales o reactivos comprenden soluciones ácidas o salinas que se mezclan con el agua y el aceite sin refinar. También puede apreciarse que la presión, las temperaturas y los espacios-tiempos concretos pueden estar fuera de los parámetros indicados anteriormente en función de las variables enumeradas anteriormente y del nivel de reducción de contaminantes requerido.

[0029] Ciertas modalidades de la invención se dirigen a un proceso y sistema de flujo continuo para el procesamiento hidrotermal de materias primas renovables, como aceites vegetales, aceites de algas y microbianos, aceites vegetales usados, grasa marrón, sebo, aceite de tallo, aceite ácido y bioaceites. El proceso de la presente invención separa contaminantes indeseables como minerales, metales y sales de la materia prima para producir aceite limpio y purificado. Por "limpio" se entiende que los contaminantes en el producto se han reducido en más del 95 %, por ejemplo en más del 99 %, lo que a menudo resulta en cantidades mínimas (cerca o por debajo de los límites de detección típicos de los métodos analíticos) de

contaminantes en comparación con la materia prima. El nivel de contaminantes en el aceite limpio se minimiza para reducir en gran medida los retos asociados a los aceites contaminados en el procesamiento posterior de aceites de calidad alimentaria. El proceso se lleva a cabo mediante hidrólisis, solvatación, acidulación y concentración de contaminantes en la corriente de agua efluente. El proceso no incluye la conversión de la materia prima. Por "conversión" se entiende la reorganización molecular de lípidos o AGL, como ocurre en la descarboxilación, el craqueo térmico, la isomerización, la ciclización, la polimerización, la hidrogenación o la deshidrogenación.

[0030] Las materias primas pueden ser grasas y aceites de calidad alimentaria, como grasas extraídas, aceites crudos o crudos desgomados de soja, canola, maíz, girasol, cacahuete, oliva, linaza, palma, coco, sésamo, aguacate, colza y algodón. Las materias primas pueden presentarse en forma de mezclas y emulsiones que impiden o dificultan las operaciones convencionales de pretratamiento. Los contaminantes que pueden eliminarse incluyen elementos inorgánicos, como haluros (p. ej., Cl, Br, I), fósforo y especies que contienen fósforo, metales alcalinos y metaloides (p. ej., B, Si, As), otros metales (p. ej., Na, K, Ca, Fe, Mg, Ni, V, Zn, Cr, Al, Sn, Pb, etc.) y compuestos orgánicos (proteínas, polímeros como el polietileno). El proceso y el sistema dan como resultado un aceite limpio al conseguir una reducción de más del 95 % (por ejemplo, más del 99 %) del contenido de fósforo, sales, minerales y metales. Las condiciones del proceso de purificación hidrotermal (HTP) pueden controlarse de manera que se retengan los triglicéridos en las materias primas que contienen triglicéridos, o pueden ajustarse para lograr una rápida hidrólisis de los triglicéridos en ácidos grasos libres. En las materias primas que contienen fosfolípidos, las condiciones del proceso HTP pueden controlarse de manera que se reduzca el contenido de fósforo a menos de 2 ppm con una fracción de la pérdida de rendimiento asociada al desgomado convencional. El sistema de la presente invención incluye un sistema de reactor hidrotermal de alta temperatura y alta presión acoplado con adición de ácidos, sales o secuestrantes de metales, y componentes para la separación y/o recuperación de un producto de petróleo limpio sin otras operaciones o adiciones intermedias. El reactor integrado y los sistemas de separación son la base del proceso HTP.

[0031] Se hace referencia ahora a la Figura 1, que muestra una vista esquemática del proceso y sistema hidrotermal, generalmente indicado como 110, de acuerdo con una modalidad de la invención, para el refinado de materias primas de grasas y aceites de calidad alimentaria. Los productos limpios de aceite y agua se recuperan mediante procesos convencionales de separación de aceite y agua. El proceso y el sistema incluyen el suministro de una materia prima de grasa o aceite 132. La materia prima contaminada 132 puede introducirse en un tanque de ecualización 134. Generalmente, un tanque de ecualización actúa como un tanque de retención que permite ecualizar el flujo de la materia prima. Un tanque de ecualización también puede actuar como una operación de acondicionamiento en la que se controla la temperatura de la materia prima para mantener las características de flujo deseadas. La materia prima contaminada sale del tanque de ecualización 134 por la corriente 136 y entra en la bomba 138 para formar una corriente de alimentación presurizada 140. La corriente de alimentación presurizada 140 puede precalentarse mediante un dispositivo de calentamiento, como un

intercambiador de calor 142, para formar una corriente de alimentación calentada 144.

[0032] Una corriente de alimentación de agua 112 puede ser suministrada a un tanque de ecualización 116 y alimentada en la corriente 118 a una bomba 120 para formar una corriente de agua presurizada 122. La corriente de agua presurizada 122 puede ser calentada por un dispositivo de calentamiento, tal como un intercambiador de calor 124, para formar una corriente de agua calentada 126. Debe apreciarse que las corrientes 126 y 144 pueden ser calentadas por cualquier proceso o dispositivo conocido e incluye la recuperación de calor de otras corrientes de proceso para optimizar la eficiencia térmica global. En la corriente 114 se añaden los reactivos y/o las sales o soluciones secuestrantes de metales. Puede apreciarse que la corriente 114 puede añadirse en cualquier lugar a lo largo del proceso de refinado, como por ejemplo en el tanque de ecualización 116 y/o a las corrientes 118, 122, 126, 144, 152, 156, 160, 164, 166. También puede apreciarse que los reactivos y/o secuestrantes de metales pueden añadirse simultáneamente en cualquier combinación de estos lugares.

[0033] La corriente de alimentación orgánica calentada 144 y la corriente de agua calentada 126 se mezclan en el dispositivo mezclador 150 para formar una corriente mezclada a alta presión 152. Se requiere una presión suficiente para mantener las corrientes de materia prima y agua en fase líquida en las condiciones necesarias para lograr la reducción de metales y la hidrólisis de fosfolípidos en función de los contaminantes de la materia prima. Las materias primas renovables pueden hacerse miscibles con agua a temperaturas tan bajas como 300 °C y a presiones tan bajas como 1.250 psig. Puede apreciarse que el dispositivo mezclador 150 puede ser una combinación de las dos corrientes a través de una conexión en T o puede incluir uno o más mezcladores estáticos convencionales, válvulas mezcladoras o bombas. El tipo de dispositivo mezclador y el grado de mezcla dependen de la materia prima, de sus propiedades de flujo y de su miscibilidad con el agua. Como se muestra en la Figura 1, los reactivos y/o sales secuestrantes de metales de la corriente 114 también pueden añadirse a la corriente 152. La corriente mezclada a alta presión 152 se calienta en un intercambiador de calor de alimentación-efluente 154 para formar una corriente calentada 156. Se puede apreciar que el intercambiador de calor de alimentación-efluente 154 puede ser cualquier combinación de intercambiadores de calor configurados a lo largo del proceso para maximizar la eficiencia térmica global. Por ejemplo, el intercambiador de calor 154 puede ser un intercambiador de calor de carcasa y tubos en contracorriente configurado para transferir calor de una corriente de efluente del reactor (p. ej., efluente 164, que se discute más adelante) a una corriente de alimentación del reactor (p. ej., corriente 152) para reducir el coste global de calentar y/o enfriar las corrientes dentro del sistema hidrotermal 110. La corriente 156 se alimenta al calentador 158, que puede ser cualquier tipo de calentador o intercambiador de calor, que calienta la mezcla de aceite y agua hasta la temperatura de tratamiento objetivo, tal como dentro del rango de 150 °C a 350 °C, en la corriente 160 antes de que entre en un reactor hidrotermal 162.

[0034] El reactor hidrotermal 162 funciona con números de Reynolds elevados (al menos o superiores a 2000), lo que crea una dinámica de fluidos turbulenta y consigue una mezcla, transferencia de masa y transferencia de calor rápidas. Esto

permite que el reactor hidrotermal funcione con espacios-tiempos mucho más cortos y a temperaturas de funcionamiento más elevadas que los sistemas de desgomado de la técnica anterior (50-60 °C) o de separación de grasas mediante el proceso Colgate-Emery (250-260 °C). En estas condiciones, el reactor hidrotermal 162 alcanza un tamaño de reactor muy reducido en relación con los sistemas de la técnica anterior. Las condiciones de funcionamiento del reactor hidrotermal 162 pueden seleccionarse en función de los contaminantes presentes en la materia prima y de los requisitos de limpieza. La relación en peso agua/aceite en el reactor hidrotermal 162 puede estar comprendida entre 1:100 y 3:1, como por ejemplo entre 1:10 y 1:1. El reactor hidrotermal 162 se opera a una presión suficiente para mantener la fase líquida, tal como en el rango de 250-3.000 psig o 500-1.500 psig. El reactor hidrotermal 162 está configurado para alcanzar y operar en condiciones de flujo turbulento para optimizar la mezcla y maximizar la transferencia de masa y calor. A la temperatura y presión de funcionamiento, los espacios-tiempos oscilan entre menos de 10 segundos y 15 minutos, dependiendo de la materia prima y de los requisitos de reducción de contaminantes. Tal y como se utiliza en la presente, el espacio-tiempo se calcula a partir del volumen del reactor y del volumen de las materias primas en condiciones estándar (temperatura de 20 °C y presión de una atmósfera). Los tiempos de permanencia hidráulica reales pueden calcularse en función de las condiciones de funcionamiento (temperatura y presión) y de la relación en peso agua/aceite. El reactor hidrotermal 162 puede ser un reactor tubular. Se puede apreciar que el reactor hidrotermal puede funcionar como un reactor adiabático debido al espacio-tiempo muy corto, o como un reactor isotérmico. Las diferentes condiciones del reactor proporcionan una gama de escenarios de mezcla, transferencia de calor, espacio-tiempo y calidad del producto adecuados para el tipo de materia prima y los requisitos de reducción de contaminantes.

[0035] En general, los sistemas tubulares presentarán un número de Reynolds (Re) de al menos 2.000, dentro del rango de 2.000-4.000, superior a 4.000 o superior a 10.000, lo que dará lugar a un flujo turbulento, una mezcla íntima y altas velocidades de transferencia de calor y masa. Según una modalidad, la presente invención puede emplear una combinación de espacios-tiempos inferiores o iguales a 15 minutos y un número de Reynolds (Re) superior a 4.000 en toda la zona de reacción hidrotermal. Un ejemplo de reactor hidrotermal 162 que puede utilizarse es el reactor de alta velocidad descrito en la Patente de EE.UU. nº 10.071.322, cuya descripción se incorpora en la presente en su totalidad.

[0036] Por lo tanto, el reactor hidrotermal funciona en condiciones en las que no se producen reacciones de conversión y en las que no se forma coque que afectaría al rendimiento. En cambio, los contaminantes inorgánicos se liberan en condiciones de funcionamiento hidrotermal y se eliminan mediante el reactor hidrotermal integrado y los sistemas de separación de agua y aceite.

[0037] El efluente 164 del reactor hidrotermal 162 se enfría en el intercambiador de calor de alimentación-efluente 154, dando lugar a una corriente de producto 166 parcialmente enfriada, que luego pasa a través de una válvula de control de presión 168 que mantiene la presión del sistema. Los reactivos y/o sales secuestrantes de metales de la corriente 114 también pueden añadirse a la corriente 164 después de salir del reactor hidrotermal 162. La corriente de producto 170 despresurizada se

enfria aún más, según sea necesario, mediante un intercambiador de calor de enfriamiento 172. A continuación, una corriente de producto enfriado 174 se conduce a un separador de aceite y agua 176. La separación de la fase oleosa de la fase acuosa puede realizarse utilizando al menos un separador por gravedad, un separador por gravedad que incluya elementos electrostáticos o coalescentes, un hidrociclón, una centrifugadora y/o cualquier combinación de estos, y puede acelerarse mediante el uso de agentes demulsificantes para reducir el contenido de humedad del producto. Puede apreciarse que la separación puede realizarse antes o después de la descarga de presión, dependiendo del tratamiento posterior del aceite de producto limpio. Tras el enfriamiento parcial, se puede emplear un separador de alta presión para producir un aceite de producto limpio presurizado para su posterior tratamiento, a fin de eliminar la necesidad de una operación de bombeo adicional. El separador de alta presión puede funcionar a una presión en la que parte del efluente de agua se convierta en vapor para llevar a cabo una etapa de desodorización del producto oleoso, eliminando así los componentes volátiles. El aceite de producto limpio 178 y la corriente de agua de proceso 180 se eliminan del separador 176. El sistema hidrotermal 110, operado como se ha descrito anteriormente, disocia rápidamente los contaminantes inorgánicos (p. ej., sales, minerales y/o metales) que se disocian en la corriente de agua de proceso 180 y se elimina más del 95 % (como al menos hasta el 99 %) de los contaminantes de la materia prima contaminada 132.

[0038] El aceite limpio 178 puede seguir procesándose utilizando procesos convencionales de refinado de aceite de calidad alimentaria, como el blanqueo, la hidrogenación, la desodorización y la neutralización.

[0039] La corriente de agua de proceso 180 puede ser tratada y reutilizada, procesada posteriormente para recuperar subproductos, aplicada a la tierra, desaguada y utilizada como suplemento alimenticio para animales, o tratada en procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales (no mostrados). El destino de la corriente de agua de proceso 180 depende, al menos en parte, de los constituyentes de la materia prima y de los objetivos de recuperación y reutilización del agua. Por ejemplo, cuando el sistema hidrotermal 110 se utiliza para desalar la materia prima, la corriente de agua de proceso 180 puede contener tanto contaminantes inorgánicos como trazas de contaminantes orgánicos y puede enviarse directamente a tratamiento de aguas residuales.

[0040] Alternativamente, el sistema 110 puede utilizarse para el desgomado o la eliminación de fósforo. La eliminación rápida del fósforo se consigue con mayor eficacia en la fase líquida, donde la temperatura y la presión se controlan para mantener el agua en la fase saturada. La hidrólisis rápida de los fosfolípidos en el reactor hidrotérmico 162 se consigue escindiendo el grupo fosfato del esqueleto de glicerina de un fosfolípido, así como escindiendo grupos que pueden incluir ácidos grasos y otros constituyentes orgánicos del fosfolípido, como la colina, la etanolamina, la serina o los constituyentes de inositol de los fosfolípidos. En algunas modalidades, por ejemplo, la hidrólisis rápida se refiere a la hidrólisis que se produce en un periodo de tiempo predeterminado. Por ejemplo, la hidrólisis rápida puede referirse a la hidrólisis que se produce en 10 segundos, 15 segundos, 30 segundos, 1 minuto, 2 minutos, 5 minutos o 10 minutos. Alternativamente, en algunas modalidades, la hidrólisis rápida se refiere a la hidrólisis que se produce dentro del

espacio-tiempo predeterminado descrito en la presente. Por ejemplo, la hidrólisis rápida puede referirse a una cantidad particular de hidrólisis que ocurre dentro de un porcentaje particular del espacio-tiempo total.

[0041] El fosfato se elimina en la fase acuosa de la mezcla de reacción, mientras que los ácidos grasos, que suelen representar más del 70 % en peso de un fosfolípido, se conservan para su posterior transformación en productos químicos o combustibles. El contenido de fósforo del aceite limpio 178 procedente de la materia prima con alto contenido en fosfolípidos puede reducirse de más de 500 ppm a menos de 2 ppm y el contenido total de metales puede reducirse a menos de 10 ppm. El rendimiento de aceite bajo en fósforo a partir de aceite con alto contenido en fosfolípidos aumenta considerablemente en comparación con los procesos de desgomado convencionales. Por ejemplo, para un aceite de algas que contenga 6.000 ppm de fósforo, el proceso de la presente invención puede aumentar el rendimiento de aceite bajo en fósforo en un 20 %, por lo que el aceite limpio 178 incluye AGL limpios con un bajo contenido en fósforo. La corriente de agua de proceso 180 incluye agua e ión fosfato (PO_4^{3-}) y puede recuperarse y reutilizarse como fuente de nutrientes para cultivos o algas.

[0042] Una ventaja del proceso y sistema de refinado de aceite de calidad alimentaria relacionada con algunas modalidades de la presente invención es que la pequeña huella física del sistema 110 requiere bajos costes de capital y operativos. El proceso hidrotermal puede funcionar con espacios-tiempos muy cortos, como menos de dos minutos. Esto da lugar a un equipo relativamente pequeño y un bajo coste de capital. Cuando se utiliza para el desgomado, los costes operativos del refinado hidrotermal son inferiores a los del desgomado químico convencional porque se necesitan menos ácidos de desgomado y, en algunas modalidades, no se necesitan ácidos de desgomado. Los productos y subproductos se separan y recuperan fácilmente utilizando la tecnología convencional de separación de agua y aceite, el agua de alta calidad puede recuperarse y reutilizarse sin tratamiento adicional, pueden recuperarse otros subproductos valiosos, como la glicerina, y no se generan otros productos residuales líquidos o sólidos. La presente invención consigue una acidulación rápida sin necesidad de un ácido mineral fuerte, para obtener productos lipídicos limpios sin la formación de corrientes residuales de desecho causadas por la presencia de fosfolípidos, ya que los fosfolípidos se hidrolizan durante la purificación hidrotermal. El diglicérido residual producido por la hidrólisis de fosfolípidos no sólo se recupera para mejorar el rendimiento, sino que las fases oleosa y acuosa pueden separarse fácilmente sin formación de capa de trapo ni generación de efluentes residuales.

[0043] Debe tenerse en cuenta que las condiciones operativas óptimas dependen de la calidad de la materia prima, y que las condiciones operativas pueden variar y complementarse con etapas convencionales de refinado de aceite de calidad alimentaria para minimizar la conversión de isómeros cis a trans en el producto orgánico y alcanzar los estándares de calidad del producto de calidad alimentaria, incluyendo el nivel máximo de contaminantes, organolépticos, nivel de peróxido, color, contenido de ácidos grasos libres y estabilidad. Las condiciones de funcionamiento pueden variar para maximizar la acidulación o maximizar la hidrólisis de fosfolípidos. Por ejemplo, un aumento de la temperatura puede incrementar la acidulación y/o aumentar la hidrólisis de los fosfolípidos.

[0044] Los siguientes ejemplos se presentan para demostrar los principios generales de la reducción de contaminantes en la materia prima utilizando HTP. Todas las cantidades indicadas se describen en partes en peso, salvo indicación contraria. La invención no debe considerarse limitada a los ejemplos específicos presentados. Si bien se han descrito anteriormente modalidades particulares de esta invención a efectos ilustrativos, resultará evidente para aquellos expertos en la técnica que se pueden realizar numerosas variaciones de los detalles de la presente invención sin apartarse de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

EJEMPLOS

Ejemplo 1: Aceite de soja crudo (temperatura y espacio-tiempo variables)

[0045] El aceite de soja crudo suele refinarse, blanquearse y desodorizarse mediante un proceso de varias etapas para obtener un producto bajo en fósforo y metales. El aceite de soja crudo utilizado en este ejemplo no había sido refinado y contenía más de 900 ppm de fósforo y más de 600 ppm de otros metales. El aceite de soja crudo se alimentó a un sistema de purificación hidrotermal a escala piloto que se configuró como se muestra en la Figura 1. El reactor tubular de flujo de tapón se diseñó para lograr un espacio-tiempo de 2-6 minutos en función de los caudales volumétricos combinados de agua y aceite y para mantener un número de Reynolds superior a 4000. Las condiciones operativas se muestran en la Tabla 1. La presión se controló a 1200 psig, lo que garantizó que se mantuvieran las condiciones hidrotermales de la fase líquida. Se añadió ácido cítrico al agua de alimentación para alcanzar una tasa de dosis de ácido equivalente a 16-30 mmol de ácido cítrico por litro de aceite de alimentación. El aceite y el agua se separaron por gravedad a 80 °C en el separador de productos.

Tabla 1: Condiciones de tratamiento para el Ejemplo 1

Parámetro	Valor
Relación agua/aceite, v/v	0,3
Temperatura del reactor, °C	225-250
Presión del reactor, psig	1200
Espacio-tiempo, min	2-6
Número de Reynolds del reactor, Re	> 10.000
Dosis de ácido, mmol/L de aceite	16-30

[0046] La Tabla 2 compara las propiedades del pienso y del producto. El contenido de fósforo se redujo de 975 ppm a 2,3 ppm, es decir, en un 99,8 %, a una temperatura de funcionamiento de 250°C y 5 minutos de espacio-tiempo. La reducción de metales fue similar en todas las condiciones. Estos resultados muestran que al aumentar la temperatura o el tiempo se elimina más fósforo, pero también aumenta el índice de acidez total (TAN). Un aumento del TAN denota la hidrólisis de los glicéridos y la producción de ácidos grasos libres, que requerirían

neutralización para obtener aceites de calidad alimentaria. El mejor compromiso de fósforo y TAN se consiguió con 236°Cy 2 minutos de espacio-tiempo.

Tabla 2: Propiedades de la alimentación y del producto en el ejemplo 1

	Temp. (°C)	Temp. (°F)	Espacio - Tiempo (min)	P (ppm)	% P Reducido	Metales totales (ppm)	% Metales reducidos	TAN mg KOH por g de aceite
Alimenta ción				975		633		1,5
Producto 1	225	437	6	6,0	99,4	4,2	99,3	8,1
Producto 2	236	457	2	5,7	99,4	1,7	99,7	4,0
Producto 3	250	482	3	6,8	99,3	5,8	99,1	10,0
Producto 4	250	482	5	2,3	99,8	2,8	99,6	15,1

Ejemplo 2: Aceite de soja crudo

[0047] El aceite de soja crudo suele refinarse, blanquearse y desodorizarse mediante un proceso de varias etapas para obtener un producto bajo en fósforo y metales. El aceite de soja crudo utilizado en este ejemplo no había sido refinado y contenía más de 500 ppm de fósforo y más de 260 ppm de otros metales. El aceite de soja crudo se alimentó a un sistema de purificación hidrotermal a escala piloto que se configuró como se muestra en la Figura 1. El reactor tubular de flujo de tapón se diseñó para lograr un espacio-tiempo de 2 minutos basado en los caudales volumétricos combinados de agua y aceite y para mantener un número de Reynolds superior a 4000. Las condiciones operativas se muestran en la Tabla 3. La presión se controló a 1000 psig, lo que garantizó que se mantuvieran las condiciones hidrotermales de la fase líquida. Se añadió ácido cítrico al agua de alimentación para alcanzar una tasa de dosis de ácido equivalente a 11,4 mmol de ácido cítrico por litro de aceite de alimentación. El aceite y el agua se separaron por gravedad a 80 °C en el separador de productos.

Tabla 3: Condiciones de tratamiento para el Ejemplo 2

Parámetro	Valor
Relación agua/aceite, v/v	0,3
Temperatura del reactor, °C	275
Presión del reactor, psig	1000
Espacio-tiempo, min	2
Número de Reynolds del reactor, Re	> 4.000
Dosis de ácido, mmol/L de aceite	11,4

[0048] La Tabla 4 compara las propiedades de la alimentación y del producto. El contenido de fósforo se redujo de 510 ppm a 2,9 ppm, es decir, en un 99,5 %. El contenido de metales se redujo a menos de 1 ppm. El TAN sólo aumentó ligeramente, lo que indica que se logró una hidrólisis casi completa de los fosfolípidos, esencialmente sin hidrólisis de los triglicéridos ni de la columna vertebral orgánica del fosfolípido.

Tabla 4: Propiedades de la alimentación y del producto en el ejemplo 2

Propiedad	Alimentación	Producto
TAN (mg KOH/ g aceite)	1,0	5,6
P (ppm)	510	2,9
Ca (ppm)	55,2	< 0,1
Mg (ppm)	41,4	< 0,1
Na (ppm)	< 0,1	< 0,1
K (ppm)	172,7	< 0,1
Fe (ppm)	0,5	< 0,1

Ejemplo 3: Aceite de soja crudo (temperatura de funcionamiento más baja)

[0049] El aceite de soja crudo suele refinarse, blanquearse y desodorizarse mediante un proceso de varias etapas para obtener un producto bajo en fósforo y metales. El aceite de soja crudo utilizado en este ejemplo no había sido refinado y contenía más de 800 ppm de fósforo y más de 650 ppm de otros metales. El aceite de soja crudo se alimentó a un sistema de purificación hidrotermal a escala piloto que se configuró como se muestra en la Figura 1. El reactor tubular de flujo de tapón se diseñó para lograr un espacio-tiempo de 2 minutos basado en los caudales volumétricos combinados de agua y aceite y para mantener un número de Reynolds superior a 4000. Las condiciones operativas se muestran en la Tabla 5. La presión se controló a 1200 psig, lo que garantizó que se mantuvieran las condiciones hidrotermales de la fase líquida. Se añadió ácido cítrico al agua de alimentación para alcanzar una tasa de dosis de ácido equivalente a 29,4 mmol de ácido cítrico por litro de aceite de alimentación. El aceite y el agua se separaron por gravedad a 80 °C en el separador de productos y, a continuación, se volvieron a separar en una centrifugadora calentada.

Tabla 5: Condiciones de tratamiento para el Ejemplo 3

Parámetro	Valor
Relación agua/aceite, v/v	0,3
Temperatura del reactor, °C	225
Presión del reactor, psig	1200
Espacio-tiempo, min	2
Número de Reynolds del reactor, Re	> 10.000
Dosis de ácido, mmol/L de aceite	29,4

[0050] La Tabla 6 compara las propiedades de la alimentación y del producto. El contenido de fósforo se redujo de 853 ppm a 9,6 ppm, es decir, en un 98,9 %, a una temperatura de funcionamiento de 225°C. El contenido de metales se redujo a menos de 1 ppm. El TAN sólo aumentó ligeramente, lo que indica que se logró una hidrólisis casi completa de los fosfolípidos, esencialmente sin hidrólisis de los triglicéridos ni de la columna vertebral orgánica del fosfolípido. Los productos restantes muestran los efectos del aumento de la temperatura que produce una hidrólisis más completa de los fosfolípidos y aumenta la hidrólisis de los glicéridos.

Tabla 6: Propiedades de la alimentación y del producto en el ejemplo 3

	Temp. (°C)	Temp. (°F)	Proporción de agua	Espacio- Tiempo (min)	P (ppm)	% P Reducido	Metales totales (ppm)	% Metales reducidos	TAN mg KOH por g de aceite
Alimentación					853		472,9		1,3
Producto 1	225	437	0,3	2	9,6	98,9	1,1	99,8	3,4
Producto 2	240	464	0,3	2	5,0	99,4	0,6	99,9	3,8
Producto 3	250	482	0,3	2	3,0	99,6	0,5	99,9	4,4
Producto 4	260	500	0,3	2	2,1	99,8	0,3	99,9	5,2
Producto 5	275	527	0,3	2	1,8	99,8	0,2	100,0	7,9
Producto 6	300	572	0,3	2	1,6	99,8	0,9	99,8	23,6

[0051] En algunas modalidades de la presente divulgación se contempla un proceso de refinamiento hidrotermal que puede aplicarse para refinar una variedad de fluidos adecuados. Por ejemplo, el proceso de refinado hidrotermal puede utilizarse para refinar cualquier combinación de lípidos, aceites, y grasas, así como otras materias primas adecuadas. En algunas de estas modalidades, el proceso de refinado hidrotermal comprende la combinación de agua con la materia prima a alta temperatura y presión en condiciones de flujo turbulento para reducir el contenido de fósforo de la materia prima. En algunas modalidades, el proceso de refinado hidrotermal sustituye a una serie de etapas típicamente presentes en un proceso de pretratamiento tradicional. Por ejemplo, el proceso de refinado hidrotermal descrito en la presente puede sustituir a cualquiera de las etapas de desgomado, blanqueo y filtrado.

[0052] La Figura 2 ilustra un método típico de refinado 200. En algunas modalidades, al menos una parte de las etapas descritas con respecto al método de refinamiento 200 pueden llevarse a cabo antes, durante o después del proceso de refinado hidrotermal descrito en la presente. El método de refinado 200 se describe con respecto a un aceite vegetal. Sin embargo, debe entenderse que, en algunas modalidades, el método de refinado 200 puede aplicarse a una variedad de otras materias primas.

[0053] En la etapa 202, se recibe una semilla oleaginosa en bruto. La semilla oleaginosa en bruto puede comprender un producto de semilla oleaginosa cruda sin refinar. En la etapa 204, se realiza un proceso de extracción por trituración para triturar la semilla oleaginosa y extraer un aceite fluido de la semilla oleaginosa. En la etapa 206, se realiza un proceso de extracción con hexano para extraer más

aceite de la semilla oleaginosa triturada. El proceso de extracción con hexano puede implicar la adición de un agente de extracción con hexano a la semilla oleaginosa. El agente de extracción con hexano puede comprender un disolvente a base de hexano con un punto de ebullición relativamente bajo, de manera que el agente de extracción de hexano pueda separarse fácilmente tras la extracción. En algunas modalidades, la extracción por trituración y la extracción con hexano de las etapas 204 y 206 respectivamente pueden realizarse simultáneamente.

[0054] En la etapa 208, se recibe un aceite vegetal crudo. El aceite vegetal crudo se recibe de las etapas de extracción tras ser extraído de la semilla oleaginosa en bruto. En la etapa 210 se realiza un proceso de neutralización del aceite vegetal crudo. El proceso de neutralización puede implicar calentar ligeramente el aceite vegetal bajo agitación continua para mantener la uniformidad del aceite vegetal. En la etapa 212, se realiza un proceso de desgomado del aceite vegetal crudo. En algunas modalidades, el proceso de desgomado incluye el calentamiento lento del aceite crudo dentro de un recipiente de desgomado. El proceso de desgomado puede funcionar para eliminar los fosfolípidos del aceite vegetal crudo.

[0055] En la etapa 214, se lleva a cabo un proceso de blanqueo que incluye la adición de un agente blanqueador al aceite vegetal para eliminar uno o más contaminantes restantes en el aceite vegetal neutralizado y desgomado. En la etapa 216, el aceite vegetal blanqueado puede filtrarse utilizando una o más técnicas de filtrado, como cualquiera de filtrado físico o filtrado químico, así como otras formas adecuadas de filtrado o combinaciones de estas.

[0056] En la etapa 218, el aceite vegetal se desodoriza para eliminar una o más sustancias causantes de olores. En algunas modalidades, la etapa de desodorización puede implicar calentar el aceite vegetal para hervir las sustancias causantes de olores.

[0057] La Figura 3 ilustra un método ejemplar de refinado hidrotermal 300 relacionado con algunas modalidades. En algunas de estas modalidades, el método de refinado hidrotermal 300 incluye una serie de etapas utilizadas en el método de refinado 200, como se muestra en la Figura 2. Por ejemplo, el método de refinado hidrotermal 300 puede incluir las etapas 202-208 de recepción de semilla oleaginosa, extracción por trituración, extracción con hexano y recepción de aceite vegetal crudo. Sin embargo, en el método de refinado hidrotermal 300 una o más etapas del método de refinado 200 pueden sustituirse por un proceso de refinado hidrotermal en la etapa 302.

[0058] En la etapa 302, el proceso de refinado hidrotermal puede implicar recibir el aceite vegetal crudo en un reactor hidrotermal junto con agua u otro fluido a base de agua. El aceite vegetal crudo y el agua pueden mantenerse dentro del reactor hidrotermal bajo presión, calentamiento suave y condiciones de flujo turbulento para permitir la hidrólisis del aceite vegetal crudo. La hidrólisis reduce el contenido total de metales y fósforo del aceite vegetal, de forma que los metales, el fósforo y otros contaminantes se eliminan como aguas residuales y se produce un aceite vegetal refinado.

[0059] En algunas modalidades, una o más reacciones de la etapa de hidrólisis dependen de la temperatura y del tiempo de permanencia, y la eficacia de la hidrólisis depende de la temperatura de funcionamiento y del tiempo de permanencia de los reactivos. En algunas de estas modalidades, la hidrólisis de

fosfolípidos y gomas incluye la hidrólisis de dichos fosfolípidos o gomas en glicéridos que se dividen en el producto orgánico tratado y sales de fosfato que se dividen en el agua efluente.

[0060] En algunas modalidades, pueden ajustarse, añadirse o eliminarse varias etapas del proceso de refinado hidrotermal para que el proceso sea más adecuado para la producción de calidad alimentaria. Por ejemplo, en algunas modalidades, el proceso puede no ocurrir como una etapa de pretratamiento y comprende un proceso de tratamiento independiente. Además, en algunas modalidades, el proceso de refinado hidrotermal puede incluir condiciones sustancialmente más suaves para evitar la producción de grasas trans y mantener los ácidos grasos en una condición recta, además de evitar la hidrólisis de los glicéridos.

[0061] En algunas modalidades, las condiciones más suaves del proceso de refinado hidrotermal de calidad alimentaria minimizan la producción de ácidos grasos libres, que de otro modo se neutralizarían y acabarían en una pérdida de rendimiento del proceso. Además, en algunas modalidades, las condiciones operativas del proceso de refinado hidrotermal de calidad alimentaria reducen el TAN y, por tanto, denotan una reducción de la hidrólisis de los glicéridos y una reducción de la producción de ácidos grasos libres. Según algunas modalidades, el proceso de refinado hidrotermal puede mantenerse en condiciones operativas que den lugar a un aumento del TAN inferior al 1000 %, inferior al 500 %, inferior al 300 % o inferior al 200 %. Se contemplan algunas modalidades en las que el aumento del TAN es inferior a 20 miligramos de hidróxido potásico por gramo de aceite (mg KOH/g de aceite), inferior a 10 mg KOH/g de aceite, inferior a 5 mg KOH/g de aceite, inferior a 3 mg KOH/g de aceite, o inferior a 2 mg KOH/g de aceite. Por consiguiente, los parámetros del proceso de hidrólisis, como, por ejemplo, la temperatura y el tiempo de permanencia, pueden seleccionarse de forma que los fosfolípidos se hidrolicen reduciendo o evitando la hidrólisis de los glicéridos.

[0062] En algunas modalidades, los parámetros para el proceso de hidrólisis, como, por ejemplo, la temperatura, la presión, el espacio-tiempo y/o el tiempo de permanencia, pueden seleccionarse para reducir o evitar la hidrólisis de los glicéridos. Por ejemplo, en algunas modalidades, la hidrólisis de los glicéridos se limita de tal manera que el aumento del índice de acidez total de la parte orgánica de la mezcla de aceite y agua es inferior a 5 miligramos de hidróxido de potasio por gramo de aceite.

[0063] En algunas modalidades, el producto del proceso de hidrolización contiene 10-50 ppm de fósforo. Por ejemplo, la temperatura y el tiempo de permanencia pueden reducirse para evitar la hidrólisis de los glicéridos. En algunas de estas modalidades, la temperatura y el tiempo de permanencia más bajos impiden una hidrólisis completa de los fosfolípidos, de modo que el fósforo aún permanece. Por consiguiente, la etapa de hidrólisis puede ir seguida de una etapa de blanqueo para limpiar aún más el producto y eliminar el fósforo restante. En algunas de estas modalidades, el tiempo de permanencia puede reducirse aumentando el caudal de la materia prima oleosa, lo que produce un mayor número de Reynolds que aumenta la hidrólisis de los fosfolípidos y reduce la hidrólisis de otros lípidos.

[0064] En algunas modalidades, el proceso de refinado hidrotermal descrito anteriormente puede utilizarse para tratar las reservas de jabón. Además, en

algunas modalidades, puede incluirse una etapa de neutralización o una etapa cáustica que comprenda la adición de hidróxido de sodio u otro material adecuado para eliminar cualquier ácido graso libre, fosfolípido, clorofila y/u otros cuerpos colorantes que queden después de la hidrólisis. Por ejemplo, en algunas modalidades, se puede añadir sosa cáustica, como hidróxido de sodio en forma de copos, gránulos, polvo, una solución u otra forma adecuada, durante la etapa cáustica para eliminar ácidos grasos libres, fosfolípidos, clorofila y otros cuerpos de color mediante la neutralización de ácidos. En algunas modalidades, se forman jabones después de la hidrólisis, que pueden eliminarse mediante aclarado y centrifugado. En algunas modalidades, el proceso de refinado hidrotermal puede utilizarse para pretratar la reserva de jabón suministrando la reserva de jabón al reactor hidrotermal con agua y acidulación adicionales. La reserva de jabón puede diluirse en aceite virgen, producto de aceite pretratado o aceite ácido procedente de la acidulación de la reserva de jabón. En algunas modalidades, la mayoría de los jabones pueden acidularse con ácido sulfúrico. Un resto de jabones puede acidularse con ácido fosfórico o ácido cítrico en el reactor hidrotermal. En algunas modalidades, puede evitarse el exceso de ácido sulfúrico para prevenir daños a los componentes metálicos del reactor hidrotermal o a otros componentes metálicos dentro del sistema de refinado.

[0065] En algunas modalidades, puede llevarse a cabo una etapa posterior de desodorización después de la etapa de hidrólisis y/o blanqueo para eliminar las sustancias olorosas. Por ejemplo, la etapa 218 puede realizarse después de la hidrólisis de la etapa 302. En algunas modalidades de este tipo, la etapa de desodorización implica un calentamiento a alta temperatura en condiciones de vacío y la adición de un agente despojador que pasa a través del aceite. En algunas modalidades, la etapa de desodorización tiene lugar a unos 200 °C para evaporar las sustancias olorosas. Además, en algunas modalidades, la etapa de desodorización incluye un proceso de destilación por vapor en el que el agente despojador puede comprender vapor vivo.

[0066] Se contemplan modalidades en las que la etapa de desodorización puede utilizar el calor y la presión remanentes del proceso de hidrólisis. Además, en algunas modalidades, la etapa de desodorización puede tener lugar durante el proceso de refinado hidrotermal y/o antes de una etapa de blanqueo. Por ejemplo, se incluye una etapa de flasheo para flashear parcialmente el producto de la hidrólisis y eliminar así los volátiles del aceite, lo que permite llevar a cabo la etapa de desodorización como parte de la descarga a presión y la separación aceite/agua del proceso de refinado hidrotermal.

[0067] En algunas modalidades, una etapa adicional de alimentación de la mezcla calentada de aceite y agua desde el reactor hidrotermal a un separador que separa el aceite y el agua. Además, en algunas modalidades, el separador puede funcionar a una presión reducida de manera que una parte del agua se convierta en vapor y pase a través de una fase oleosa. En consecuencia, una o más sustancias volátiles, como la sustancia olorosa volátil, pueden ser eliminadas de la fase oleosa.

[0068] Debe entenderse que aunque los métodos 200 y 300 se describen con respecto al refinado de un producto de aceite vegetal, las etapas descritas en la presente pueden aplicarse a una variedad de otros productos adecuados, tales

como otros tipos de aceites, otros compuestos orgánicos, reservas de jabón, grasas y otras sustancias no descritas explícitamente en el presente documento.

[0069] La Figura 4 ilustra una reacción de hidrólisis ejemplar relacionada con algunas modalidades a las que se hace referencia en general en el presente documento con el número de referencia 400. En algunas modalidades, los reactivos de la reacción de hidrólisis 400 incluyen un fosfolípido 402, como se muestra. El fosfolípido 402 puede reaccionar con agua 404 bajo calor para producir uno o más productos, como se muestra. Los productos incluyen un diglicérido 406, una sal de fosfato 408 y un grupo hidroxilo 410, como se muestra. En algunas modalidades, la reacción de hidrólisis 400 depende de la temperatura y del tiempo de permanencia. Además, en algunas modalidades, la reacción de hidrólisis 400 puede llevarse a cabo dentro de un reactor hidrotermal como en la etapa 302. Así, los fosfolípidos 402 se hidrolizan en glicéridos que se dividen en un producto orgánico tratado y sales de fosfato, que pueden ser arrastradas por el agua efluente.

[0070] En algunas modalidades, pueden facilitarse reacciones similares para la hidrolización de otros tipos de compuestos o sustancias orgánicas. Por ejemplo, en algunas modalidades, el método de refinado hidrotermal 300 puede aplicarse a cloruros orgánicos de tal manera que los cloruros orgánicos se hidrolizan en ácidos orgánicos que se dividen en un producto orgánico tratado y sales de cloruro. En algunas de estas modalidades, pueden seleccionarse diferentes parámetros de reacción para la hidrólisis de cloruros orgánicos. Por ejemplo, puede utilizarse una temperatura más baja para hidrolizar los cloruros orgánicos en comparación con los fosfolípidos. Además, en algunas modalidades, el método de refinado hidrotermal 300 puede utilizarse para proporcionar refinado a través de la hidrólisis de dos o más compuestos orgánicos simultáneamente. Por ejemplo, una materia prima que incluya tanto fosfolípidos como cloruros orgánicos puede introducirse en el reactor hidrotermal para hidrolizar ambos compuestos.

[0071] En algunas modalidades, se puede utilizar una temperatura específica para llevar a cabo la reacción de hidrólisis 400 que hidroliza el fosfolípido 402 al tiempo que reduce la hidrólisis posterior de los glicéridos en ácidos grasos libres. Por ejemplo, en algunas modalidades, la temperatura dentro del reactor hidrotermal se mantiene a una temperatura de aproximadamente 150 °C a aproximadamente 275 °C (p. ej., aproximadamente 250 °C) para facilitar la hidrólisis del fosfolípido para reducir el fósforo a menos de 30 ppmw, menos de 20 ppmw, menos de 15 ppmw, o menos de 10 ppmw y minimizar la hidrólisis de glicéridos a menos del 5 %, menos del 2,5 %, menos del 1,5 %, o menos del 1 % de los glicéridos totales. En algunas modalidades, el caudal de fluido dentro del reactor hidrotermal también se controla para evitar una mayor hidrólisis de los glicéridos y otras reacciones no deseadas. Por ejemplo, en algunas modalidades, el caudal lineal se selecciona entre aproximadamente 1-3 pies/segundo. Además, en algunas modalidades, la presión dentro del reactor hidrotermal puede seleccionarse entre 500-1200 PSI. Debe entenderse que los parámetros descritos en el presente documento con respecto a la reacción de hidrólisis 400 pueden ajustarse, por ejemplo, en función de la sustancia que se pretenda hidrolizar. Como tal, una primera combinación de rango de temperatura, rango de presión y rango de caudal puede utilizarse para una primera sustancia de materia prima, mientras que una segunda combinación distinta

de rango de temperatura, rango de presión y rango de caudal puede utilizarse para una segunda sustancia de materia prima.

[0072] Las características descritas anteriormente, así como las reivindicadas a continuación, pueden combinarse de diversas maneras sin apartarse del ámbito de aplicación del presente documento. Los siguientes ejemplos ilustran algunas combinaciones posibles, no limitativas:

[0073] Cláusula 1. Un método de refinado de aceite vegetal crudo para cumplir con las especificaciones de aceite comestible, el método comprende: mezclar el aceite vegetal crudo con agua y al menos un reactivo para formar una mezcla de aceite y agua; introducir la mezcla de aceite y agua a presión en un reactor hidrotermal, en donde la mezcla de aceite y agua se somete a calor dentro del reactor hidrotermal; dentro del reactor hidrotermal, mantener la mezcla de agua y aceite dentro de un rango de temperatura predeterminado, un rango de presión predeterminado y una condición de flujo turbulento durante un espacio-tiempo predeterminado, en donde el rango de temperatura predeterminado, el rango de presión predeterminado y la condición de flujo turbulento se seleccionan para proporcionar una hidrólisis rápida de las moléculas de fosfolípidos y una reacción de los contaminantes inorgánicos con el al menos un reactante que forma sales inorgánicas que se dividen en una fase acuosa, en donde el espacio-tiempo predeterminado se selecciona para reducir la hidrólisis de los glicéridos y reducir el contenido de ácidos grasos libres en una porción orgánica de la mezcla de aceite y agua, para evitar el craqueo térmico de los ácidos orgánicos, y se selecciona además para evitar que uno o más compuestos de la porción orgánica de la mezcla de aceite y agua se isomericen para formar un efluente del reactor hidrotermal; y separar el efluente del reactor hidrotermal en sales inorgánicas en la fase acuosa y un aceite vegetal refinado que contenga una concentración más baja de contaminantes inorgánicos que el aceite vegetal crudo.

[0074] Cláusula 2. El método de la cláusula 1, que comprende además: calentar al menos uno del agua, el aceite vegetal crudo o la mezcla de aceite y agua para alcanzar el rango de temperatura predeterminado.

[0075] Cláusula 3. El método de cualquiera de las cláusulas 1-2, en donde el al menos un reactivo comprende un secuestrante de metales.

[0076] Cláusula 4. El método de cualquiera de las cláusulas 1-3, en donde el al menos un reactivo se mezcla con al menos uno del agua o el aceite vegetal crudo antes de mezclar el aceite vegetal crudo y el agua para formar la mezcla de aceite y agua.

[0077] Cláusula 5. El método de cualquiera de las cláusulas 1-4, en donde el al menos un reactivo se mezcla con la mezcla de aceite y agua mientras se calienta la mezcla de aceite y agua o una vez que la mezcla de aceite y agua ha alcanzado el rango de temperatura predeterminado.

[0078] Cláusula 6. El método de cualquiera de las cláusulas 1-5, que comprende además: separar las sustancias volátiles de una fase oleosa, mediante un separador, lo que incluye hacer funcionar el separador a una presión reducida de manera que una porción del agua de la mezcla de aceite y agua y las sustancias volátiles se conviertan en vapor.

[0079] Cláusula 7. El método de cualquiera de las cláusulas 1-6, en donde el rango de temperatura predeterminado es un rango de temperatura entre 150 °C y 275 °C.

[0080] Cláusula 8. El método de la cláusula 7, en donde el reactor hidrotermal comprende un reactor tubular diseñado para mantener la condición de flujo turbulento a un número de Reynolds de al menos 4.000.

[0081] Cláusula 9. El método de cualquiera de las cláusulas 1-8, en donde el reactor hidrotermal funciona a una temperatura, caudal y tiempo de permanencia que resulta en un aumento del número de ácido total de la porción orgánica de menos del 500 %.

[0082] Cláusula 10. El método de la cláusula 9, que comprende además: blanquear el aceite vegetal refinado después de separar el efluente del reactor hidrotermal para eliminar el fósforo residual.

[0083] Cláusula 11. El método de cualquiera de las cláusulas 9-10, que comprende además: eliminar ácidos grasos libres, fosfolípidos y clorofila y otros cuerpos colorantes mediante una etapa cáustica.

[0084] Cláusula 12. Un método de refinado de aceite vegetal crudo para cumplir con las especificaciones de aceite comestible, el método comprende: mezclar el aceite vegetal crudo que comprende contaminantes inorgánicos con agua y al menos un reactivo para formar una mezcla de aceite y agua; introducir la mezcla de aceite y agua bajo presión en un reactor hidrotermal, en donde la mezcla de aceite y agua se somete a calor dentro del reactor hidrotermal; dentro del reactor hidrotermal, mantener la mezcla de aceite y agua dentro de un rango de temperatura de 150 °C a 275 °C, un rango de presión de 100 psig a 1500 psig, y una condición de flujo turbulento a un número de Reynolds de al menos 4.000 durante un espacio-tiempo de entre 10 segundos y 2 minutos para formar un efluente del reactor hidrotermal; dentro del reactor hidrotermal, proporcionar hidrólisis de las moléculas de fosfolípidos dentro del espacio-tiempo y hacer reaccionar los contaminantes inorgánicos con el al menos un reactivo para formar sales inorgánicas que se dividen en una fase acuosa; y separar el efluente del reactor hidrotermal en las sales inorgánicas en la fase acuosa y un aceite vegetal refinado que contiene una concentración más baja de contaminantes inorgánicos que el aceite vegetal crudo.

[0085] Cláusula 13. El método de la cláusula 12, en donde el rango de temperatura, el rango de presión y la condición de flujo turbulento se seleccionan para proporcionar una hidrólisis rápida de las moléculas de fosfolípido.

[0086] Cláusula 14. El método de cualquiera de las cláusulas 12-13, en donde el espacio-tiempo se selecciona para reducir la hidrólisis de los glicéridos y reducir el contenido de ácidos grasos libres en una porción orgánica de la mezcla de aceite y agua, para evitar el craqueo térmico de los ácidos orgánicos, y se selecciona además para evitar que uno o más compuestos de la porción orgánica de la mezcla de aceite y agua se isomericen.

[0087] Cláusula 15. El método de la cláusula 14, en donde un aumento del índice de acidez total de la porción orgánica es inferior al 300 % y en donde un contenido de fósforo en la porción orgánica se reduce a menos de 15 partes por millón en peso.

[0088] Cláusula 16. El método de cualquiera de las cláusulas 12 a 15, en donde el aumento del índice de acidez total de una porción orgánica de la mezcla de aceite y agua es inferior a 5 miligramos de hidróxido de potasio por gramo de aceite.

[0089] Cláusula 17. Un método de refinado de aceite vegetal crudo para cumplir con las especificaciones de aceite comestible, el método comprende: mezclar el aceite vegetal crudo que comprende contaminantes inorgánicos con agua y al menos un reactivo para formar una mezcla de aceite y agua; introducir la mezcla de aceite y agua bajo presión en un reactor hidrotermal, en donde la mezcla de aceite y agua se somete a calor dentro del reactor hidrotermal; dentro del reactor hidrotermal, mantener la mezcla de aceite y agua dentro de un rango de temperatura predeterminado, un rango de presión predeterminado y una condición de flujo turbulento durante un espacio-tiempo predeterminado para formar un efluente del reactor hidrotermal; dentro del reactor hidrotermal, proporcionar hidrólisis de las moléculas de fosfolípidos dentro del espacio-tiempo predeterminado y hacer reaccionar los contaminantes inorgánicos con al menos un reactivo para formar sales inorgánicas que se dividen en una fase acuosa; y separar el efluente del reactor hidrotermal en sales inorgánicas en la fase acuosa y un aceite vegetal refinado que contiene una concentración más baja de contaminantes inorgánicos que el aceite vegetal crudo.

[0090] Cláusula 18. El método de la cláusula 17, en donde el reactor hidrotermal comprende un reactor tubular diseñado para mantener la condición de flujo turbulento a un número de Reynolds de al menos 10.000, en donde el espacio-tiempo predeterminado está comprendido entre 10 segundos y 2 minutos.

[0091] Cláusula 19. El método de cualquiera de las cláusulas 17-18, en donde un aumento del índice de acidez total de una porción orgánica de la mezcla de aceite y agua es inferior a 5 miligramos de hidróxido de potasio por gramo de aceite, en donde un contenido de fósforo en la porción orgánica se reduce a menos de 20 partes por millón en peso.

[0092] Cláusula 20. El método de cualquiera de las cláusulas 17-19, que comprende además: blanquear el aceite vegetal refinado después de separar el efluente del reactor hidrotermal para eliminar el fósforo residual; y eliminar los ácidos grasos libres, los fosfolípidos y la clorofila y otros cuerpos de color mediante una etapa cáustica.

[0093] Cláusula 21. El método de cualquiera de las cláusulas 1-20, en donde el aumento del índice de acidez total de una porción orgánica de la mezcla de aceite y agua es inferior a 5 miligramos de hidróxido de potasio por gramo de aceite.

[0094] Cláusula 22. Un método de refinado de aceite vegetal crudo para cumplir con las especificaciones de aceite comestible, el método comprende: mezclar el aceite vegetal crudo con agua y al menos un reactivo para formar una mezcla de aceite y agua; introducir la mezcla de aceite y agua bajo presión en un reactor hidrotermal, en donde la mezcla de aceite y agua se somete a calor dentro del reactor hidrotermal; dentro del reactor hidrotermal, mantener la mezcla de aceite y agua dentro de un rango de temperatura predeterminado, un rango de presión predeterminado y una condición de flujo turbulento durante un espacio-tiempo predeterminado, en donde el rango de temperatura predeterminado, el rango de presión predeterminado y la condición de flujo turbulento se seleccionan para producir la hidrólisis de las moléculas de fosfolípido y la reacción de los

contaminantes inorgánicos con el al menos un reactante formando sales inorgánicas que se dividen en una fase acuosa, en donde el espacio-tiempo predeterminado se selecciona para reducir la hidrólisis de los glicéridos y reducir el contenido de ácidos grasos libres en una porción orgánica de la mezcla de aceite y agua de manera que un aumento del índice de acidez total de una porción orgánica de la mezcla de aceite y agua sea inferior a 5 miligramos de hidróxido de potasio por gramo de aceite; y separar el efluente del reactor hidrotermal en sales inorgánicas en la fase acuosa y un aceite vegetal refinado que contenga una concentración más baja de contaminantes inorgánicos que el aceite vegetal crudo.

[0095] Si bien la invención se ha descrito con referencia a las modalidades ilustradas en las figuras de los dibujos adjuntos, se observa que pueden emplearse equivalentes y sustituciones en la presente sin apartarse del alcance de la invención, como se recita en las reivindicaciones.

[0096] Habiéndose descrito así varias modalidades de la invención, lo que se reivindica como nuevo y se desea proteger mediante los Títulos de Patente incluye lo siguiente: