

La invención está dirigida a un método para recuperar un compuesto orgánico de una corriente de alimentación tal como una corriente de fermentación.

5 Debido a la reducción continuada de recursos de petróleo, la necesidad de buscar materias primas o recursos alternativos, rutas de procedimientos y materiales se ha vuelto un objetivo científico para la industria química. Se espera que el uso de biomasa renovable como recurso sostenible para la producción de bio-combustibles y bio-químicos crezca significativamente en las décadas entrantes. Esta expansión se hace posible por los avances en la genómica y en la biotecnología industrial. El área biotecnológica llamada blanca se enfoca en las rutas de producción alternativas para producir compuestos orgánicos tales como ácidos carboxílicos y alcoholes a partir de materias primas renovables, de base biológica, tales como glucosa, almidón, aceites y grasas no comestibles, corrientes de residuos madereros y de agroalimentos o corrientes de residuos orgánicos que contienen estas materias primas. La biotecnología industrial hace uso de enzimas o de microorganismos para convertir las materias primas mencionadas, posiblemente después de una etapa de tratamiento previo, en el bio-combustible o el producto bioquímico objetivo específico. La biotecnología blanca puede reducir nuestra dependencia del petróleo y tiene la ventaja adicional de que tales rutas se consideran neutras respecto del CO₂ ya que el CO₂ ha sido capturado en la biomasa durante el crecimiento.

La fermentación es la técnica más dominante dentro del dominio de la biotecnología blanca. La fermentación es un proceso metabólico en el cual organismos como levaduras, bacterias u hongos convierten materias primas tales como azúcares, ácidos grasos o glicerina en productos tales como ácidos, gases y/o alcohol.

Además del producto de fermentación mismo, las corrientes de fermentación contienen grandes cantidades de agua y muchos compuestos secundarios. Con frecuencia, esto puede hacer difícil la recuperación del producto deseado.

Un procedimiento conocido que se usa frecuentemente para recuperar productos orgánicos de una corriente de fermentación es la extracción líquido-líquido. En este procedimiento, el producto orgánico (el soluto) se extrae de la corriente acuosa de fermentación a solvente orgánico (el extractante) por lo cual

se obtiene una mezcla que comprende principalmente el producto orgánico de fermentación y el solvente orgánico (esta mezcla puede denominarse extracto o solvente enriquecido). El solvente orgánico se regenera a continuación mediante una etapa de re-extracción en la cual el producto orgánico se transfiere agua y de esta manera se obtiene una solución acuosa de producto y el solvente orgánico regenerado. El pH de la corriente de agua que entra a la re-extracción se ajusta con frecuencia para estimular la transferencia del compuesto orgánico desde solvente a la corriente de agua. La solución acuosa del producto se purifica luego de manera normal, por ejemplo mediante cristalización. Se conocen diversos métodos para lograr una cristalización, tal como el ajuste del pH, enfriar o retirar el agua mediante evaporación y/o destilación y/o combinaciones de los métodos antes mencionados.

Una desventaja de la re-extracción es que esta etapa requiere alta energía o la adición de productos químicos extra para transferir exitosamente el solvente orgánico de vuelta al agua. A fin de que el compuesto orgánico deje el solvente orgánico y pase al agua, la solubilidad del producto orgánico en el agua necesita aumentarse. Esto puede lograrse, por ejemplo, cambiando la temperatura o el pH del solvente enriquecido. Sin embargo, esto requerirá altos costes de energía debido al calentamiento y/o al enfriamiento (en caso de cambio de temperatura) o adicionar productos químicos (en caso de ajuste del pH).

Otra desventaja de la re-extracción es que la solución acuosa del producto puede contaminarse con el solvente orgánico. De manera similar, una desventaja de la extracción es que la corriente de alimentación puede contaminarse con el solvente orgánico.

Otra desventaja de la re-extracción es que la solución acuosa resultante que comprende el producto orgánico normalmente se diluye bastante y comprende una cantidad relativamente grande de agua. Se necesita retirar esta agua durante los procedimientos posteriores.

Otra desventaja es que el producto orgánico puede no estar todavía en la forma deseada después de la re-extracción. Un ejemplo ilustrativo de la última característica es la re-extracción de ácidos orgánicos agua con un pH relativamente alto (es decir $\gg \text{pH} = 7$), lo cual da lugar a la conversión del ácido en el carboxilato correspondiente durante la re-extracción. La recuperación del ácido de la solución acuosa de producto requerida con frecuencia un ajuste de pH

con un ácido para convertir el carboxilato de vuelta al ácido objetivo específico. Un procedimiento de este tipo no sólo conduce a altos costes por el consumo de ácido y de base, sino también a la producción de una sal como producto secundario; la sal está compuesta de los contra-iones de la base y del ácido que se usaron.

5 De lo anterior se deduce que existe una necesidad de desarrollar procedimientos de recuperación que sean breves, simples y baratos para recuperar productos orgánicos de corrientes de alimentación, en particular de corrientes de fermentación.

10 Ciento de la invención es recuperar un compuesto orgánico de una corriente de fermentación tal como una corriente de producto orgánico que se origina de un procedimiento de fermentación en un proceso relativamente simple, el cual puede requerir solamente una cantidad limitada de etapas de operación.

Otro objeto de la invención es proporcionar una técnica de extracción de líquido-líquido que no sufra de una o más de las desventajas antes mencionadas.

15 Al menos uno de estos objetos se cumplió proporcionando un método para recuperar un compuesto orgánico de una corriente de alimentación, el cual comprende las etapas de

-extraer el compuesto orgánico de la corriente de alimentación a solvente orgánico y de esta manera obtener una mezcla de solvente y del compuesto orgánico; y

- cristalizar simultáneamente el solvente y el compuesto orgánico enfriando la mezcla; y

-separar el solvente orgánico sólido y el compuesto orgánico sólido.

25 Los inventores encontraron que al recuperar un compuesto orgánico de una corriente de fermentación usando una extracción de líquido-líquido con un solvente orgánico, el producto y los solventes pueden recuperarse eficientemente de la mezcla orgánica mediante cristalización simultánea y separación a continuación del solvente sólido y del compuesto orgánico sólido. El método de la invención tienen la ventaja de que solvente y el producto pueden recuperarse de manera eficiente sin requerir etapas procedimentales posteriores que sean complejas y/o que consuman energía, tales como la re-extracción y/o la evaporación y/o los ajustes de pH consecutivos. De esta manera, la invención proporciona la posibilidad de recuperar el producto orgánico de fermentación y el solvente orgánico provenientes de una corriente de fermentación utilizando una

única etapa de extracción de líquido-líquido, una única etapa de cristalización y una única etapa de separación simple sólido-sólido.

Aunque la invención se discute en la presente principalmente con respecto al tratamiento de corrientes de fermentación, se entenderá que la invención puede aplicarse en teoría para recuperar compuestos orgánicos de cualquier mezcla líquida. En particular, la invención puede realizarse adecuadamente en técnicas de tratamiento corriente abajo en cuyo caso se usa la extracción líquido-líquido. Ejemplos de tales procedimientos son el reprocesamiento nuclear, el procesamiento de minerales, la producción de productos químicos orgánicos, la producción de aceites vegetales y biodiesel, el tratamiento de corrientes de agua de procedimiento y de residuo, y de manera creciente también en la puesta a punto de caldo de fermentación. Por consiguiente, el método de la invención puede aplicarse en cualquiera de estos procedimientos para recuperar productos orgánicos de una corriente de alimentación.

La figura 1 es una representación esquemática de una forma de realización del método de la invención donde BDO se recupera de una reacción de fermentación. En la representación esquemática se indican las siguientes etapas: (a) fermentación; (b) separación de biomasa (por ejemplo, por medio de filtración); (c) extracción líquido-líquido; (d) cristalización simultánea y: (e) separación sólido-sólido.

La figura 2 muestra el diagrama de fase teórico de una mezcla de 1,4-butandiol y óxido de tri-n-octilfosfina.

La corriente de alimentación puede ser cualquier corriente que comprende el compuesto orgánico. La corriente alimentaciones una corriente líquida y normalmente es una corriente acuosa. El compuesto orgánico normalmente se disuelve en la corriente de alimentación (por ejemplo, en agua en caso de una corriente acuosa). En una forma de realización preferida, la corriente de alimentaciones una corriente de fermentación que también es normalmente una corriente acuosa. La corriente de fermentación puede ser, por ejemplo, una corriente que se origina de un proceso de fermentación. En tal caso, el método de la invención puede incluir una etapa de fermentación que precede a la etapa de extracción en la cual se forma la corriente de fermentación. Una etapa de fermentación así incluye la fermentación de una fuente de carbono, como

azúcares, para obtener el compuesto orgánico. La corriente de fermentación normalmente es acuosa y comprende el compuesto orgánico que va a recuperarse.

Por ejemplo, la corriente de fermentación puede ser un caldo de fermentación que comprende micro-organismos, una fuente de carbono (por ejemplo azúcar), un nutriente (por ejemplo, iones específicos necesarios para lograr el crecimiento del organismo) y uno o más productos de fermentación (por ejemplo, el compuesto orgánico que va a recuperarse y posiblemente productos secundarios). La corriente de fermentación también puede ser una corriente de producto de fermentación. Una corriente de producto de este tipo también puede haber sido ya tratada, por ejemplo retirando algunos materiales residuales y/o material sólido. Por ejemplo, la corriente de fermentación puede someterse primero a centrifugación o a filtración (por ejemplo, micro filtración o ultrafiltración) para retirar material sólido (por ejemplo, biomasa) de la corriente antes de alimentar la corriente hacia la etapa de extracción.

El compuesto orgánico en la corriente de alimentación puede ser cualquier compuesto orgánico que pueda producirse por microorganismos en una reacción de fermentación. El compuesto orgánico puede ser el producto principal de fermentación que se forma en la reacción de fermentación. Por ejemplo, el compuesto orgánico puede seleccionarse de ácidos carboxílicos (en particular ácidos monocarboxílicos y ácidos dicarboxílicos), polioles y ésteres cíclicos (por ejemplo, una lactona). El compuesto orgánico puede ser relativamente pequeño, por ejemplo puede tener menos de 12 átomos de carbono, normalmente 2-10 átomos de carbono. En particular, el compuesto orgánico puede seleccionarse del grupo que consiste en 1,4-butandiol, ácido succínico, ácido fórmico, ácido málico, ácido 2,5-furano dicarboxílico, ácido 3-hidroxipropiónico, ácido aspártico, ácido glucárico, ácido glutámico, ácido itacónico, ácido levulínico, 3-hidroxibutirolactona, glicerina, sorbitol, xilitol y arabitól. El compuesto orgánico también puede ser un alcohol tal como un alcohol aromático, por ejemplo 2-sec butilfenol.

El compuesto orgánico puede tener un punto de fusión de -50 a +250 °C. Sin embargo, con vista a obtener una mezcla que tiene la temperatura eutéctica deseada (véase más adelante), el compuesto orgánico llene preferiblemente un punto de fusión de -10 a +200 °C, más preferiblemente de 0 a +100 °C, incluso más preferiblemente de +10 a +80 °C.

De acuerdo con el método de la invención, el compuesto orgánico se extrae de la corriente de alimentación a solvente orgánico. Una ventaja de una etapa de extracción es que proporciona una manera fácil de separar el compuesto orgánico de los compuestos hidrosolubles y/o material sólido que puedan estar presentes en la corriente de alimentación. Otra ventaja de extracción en caso de corrientes de fermentación puede ser que puede reducir una posible inhibición de producto del compuesto orgánico sobre microorganismos que pueden estar presentes en la corriente de fermentación (por ejemplo en el caso de ácido itacónico). Será evidente que el solvente de la corriente de alimentación (normalmente agua) y el solvente orgánico no deben disolverse uno en el otro para una extracción efectiva. En caso de una corriente acuosa de alimentación, el solvente orgánico es preferiblemente inmiscible con agua.

La concentración de compuesto orgánico en la corriente de alimentación durante la extracción no es particularmente crítica y puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 1% en peso a 30% en peso, preferiblemente 5 a 20% en peso, con base en el peso total de la corriente de fermentación. La temperatura de operación a la cual se efectúa la extracción puede ser de 0-100 °C, en particular de 10-80 °C, más en particular de 20-70 °C.

En caso de que la corriente de alimentación sea una corriente de fermentación, la temperatura de la corriente de alimentación puede elegirse cercana a la temperatura utilizada para el procedimiento de fermentación en el cual se produce el compuesto orgánico (por razones de eficiencia energética), por ejemplo dentro de 20 °C de esta temperatura. Por ejemplo, la temperatura de la corriente de fermentación durante la extracción puede ser de 0-100 °C, en particular de 10-80 °C, más en particular de 20-70 °C. El solvente orgánico durante la extracción puede tener una temperatura similar a la de la corriente de fermentación. Por consiguiente, la temperatura del solvente orgánico durante la extracción también puede ser de 0-100 °C, en particular de 10-80 °C, más en particular de 20-70 °C.

Durante la extracción se enriquece el solvente orgánico en el compuesto orgánico mientras que en la corriente de alimentación (por ejemplo la corriente de fermentación) el compuesto orgánico se agota, al menos parcialmente. Después de la extracción se obtiene una mezcla del compuesto orgánico y del solvente orgánico (el extracto). El compuesto orgánico se disolverá normalmente en el

solvente orgánico. La mezcla resultante puede comprender 1-50% en peso del compuesto orgánico y 50-99% en peso del solvente orgánico. Por otra parte se obtiene un producto refinado en la etapa de extracción que puede ser una corriente residual o puede ser alimentado de vuelta a la fermentación. Esto puede
 5 hacerse con o sin tratamiento adicional antes de reciclar la corriente a la fermentación.

De esta manera, tal como se ha explicado antes, el extracto (es decir la mezcla del compuesto orgánico y del solvente orgánico) se somete a cristalización simultánea. El producto refinado puede ser una corriente residual o puede
 10 reciclarse. El extracto y el refinado pueden separarse uno de otro (como es común para las técnicas de extracción tales como extracción líquido-líquido).

De manera preferible el extracto de la etapa de extracción, es decir la mezcla de compuesto orgánico y solvente orgánico, se alimenta directamente a la etapa de cristalización simultánea. No se necesita someter primero la mezcla a
 15 una o más etapas de evaporación, lo que contribuye a la eficiencia energética del método de la invención. Al iniciar la cristalización simultánea, la mezcla es preferiblemente una mezcla líquida, es decir una mezcla de un compuesto orgánico líquido y un solvente orgánico líquido. Puede efectuarse una cristalización simultánea hace siente teniendo ambos componentes de la mezcla
 20 en estado líquido. Por otra parte, el compuesto orgánico se encuentra presente de preferencia en su forma neutral cuando se inicia la cristalización simultánea. Esto es deseable, por ejemplo, cuando el compuesto orgánico es un ácido carboxílico. Cuando tales compuestos orgánicos están presentes como iones carboxilato existe el riesgo de que el compuesto orgánico se recupere como una sal en lugar del
 25 producto neutro.

La cristalización simultánea se logra enfriando, es decir disminuyendo la temperatura de la mezcla. La cristalización simultánea ocurrida hondo la temperatura de la mezcla se enfríe a una temperatura suficientemente baja, es decir que se enfríe a la temperatura eutéctica de la mezcla o por debajo de la
 30 misma. Una técnica de cristalización simultánea así también se conoce con el nombre de cristalización de congelamiento eutéctico (EFC, por sus siglas en inglés). EFC es una técnica conocida en términos generales para recuperar sales y hielo de una solución salina. La cristalización simultánea ocurrida solamente a una proporción determinada de compuesto orgánico y solvente orgánico,

concretamente la composición eutéctica. Cuando la mezcla se enfría a su temperatura eutéctica (por debajo de la misma), a una composición distinta de la composición eutéctica, se cristalizará el compuesto orgánico o el solvente orgánico. Esto retirará de manera efectiva el compuesto sólido de la mezcla líquida. Como
5 resultado, la proporción del compuesto orgánico y del solvente orgánico cambiará y se acercará a la proporción de la composición eutéctica. La etapa en la cual la composición de la mezcla se desplaza a la composición eutéctica puede hacerse en una etapa separada que precede a la cristalización simultánea (por ejemplo, en un cristizador separado) o realizarse en el mismo cristizador como en el que tiene
10 lugar la cristalización simultánea. Eventualmente, la proporción será igual a la de la composición eutéctica. En este punto ocurrirá la cristalización simultánea.

La cristalización eutéctica de congelamiento ha sido utilizada sólo ocasionalmente en el campo del procesamiento corriente abajo de las corrientes de fermentación y nunca en combinación con métodos de extracción. Por ejemplo, el
15 documento WO 2004/089503 está dirigido a procedimiento para la recuperación y/o purificación de un compuesto orgánico desde una solución que comprende un solvente ajustando la temperatura de la solución a una temperatura a la cual tanto el compuesto orgánico como el solvente se encuentran al menos parcialmente en la fase sólida. De acuerdo con el documento WO 2004/089503, la
20 solución al enfriarse al punto eutéctico o por debajo del mismo consistirá en general de cristales de hielo, cristales de al menos un compuesto orgánico y un líquido. Los cristales de hielo pueden separarse de modo bastante fácil debido a la baja densidad del hielo lo cual causa que el hielo flote. El documento WO 2004/089503 describe además la recuperación de la proteína nisina de un caldo de
25 fermentación filtrado. La solución acuosa que comprende nisina fue enfriada en presencia de copos de hielo.

Todas las formas específicas de realización y los ejemplos experimentales divulgados en el documento WO 2004/089503 usan agua en calidad de solvente. El documento WO 2004/089503 considera la formación de
30 cristales de hielo ventajosa porque pueden separarse fácilmente debido a la bien conocida baja densidad del hielo que causa que el hielo flote. Sin embargo, los inventores se dieron cuenta que usar agua también tiene la desventaja de altos costes de energía debido al enfriamiento, porque la cristalización simultánea ocurre solamente a temperaturas por debajo de 0 °C.

Por otra parte, el diagrama de fases compuesto orgánico-agua depende mucho de la temperatura de fusión del compuesto orgánico puro. Especialmente para compuestos orgánicos con un punto de fusión por debajo de +100 °C, la temperatura eutéctica de la mezcla agua/compuesto orgánico tiende a encontrarse muy por debajo de 0 °C. Por otra parte, la composición eutéctica tiende a moverse a concentraciones tan altas del compuesto orgánico que la cristalización eutéctica por congelamiento se vuelve práctica y económicamente desfavorable debido a la necesidad de primero tener que cristalizar la mayoría del agua de la mezcla de agua/compuesto orgánico.

A menos que se especifique algo diferente, la temperatura eutéctica tal como se usa en la presente se refiere a la temperatura que corresponde al punto crítico específico de la mezcla en el cual comienza a ocurrir la cristalización simultánea del solvente orgánico y el compuesto orgánico. De acuerdo con el método de la invención, la cristalización simultánea se logra enfriando la mezcla a una temperatura suficientemente baja, es decir por debajo de la temperatura eutéctica de este punto eutéctica o específico. Éste no se ve afectado por la mezcla que posiblemente tiene más de un punto eutéctico, por ejemplo debido a la presencia de otros compuestos en la mezcla. La temperatura eutéctica de la mezcla puede encontrarse en el intervalo de -30 a +80 °C, preferiblemente en el intervalo de -10 a +60 °C, más preferiblemente en el intervalo de 0 a +40 °C. Tales temperaturas relativamente suaves son deseables porque proporcionan un proceso más eficiente en términos de energía en total (puesto que estas temperaturas son relativamente cercanas a las temperaturas de fermentación y pueden lograrse mediante métodos y equipos estándares para enfriamiento). El punto técnico de muchas mezclas es conocido. Sin embargo, si el punto eutéctico no es conocido la persona experta podrá ser un estimado aproximado del punto eutéctico con base en los puntos de fusión del solvente orgánico y del compuesto orgánico o utilizando ecuaciones teóricas como la ecuación de van't Hoff para simular el diagrama de fases. Por otra parte, la persona experta puede determinar el punto eutéctico mediante métodos estándares para investigación experimental.

En vista de lo anterior, la mezcla normalmente se enfría a una temperatura de -20 a 80 °C, preferiblemente a -10 a 60 °C, más preferiblemente a 0 a 40 °C. La temperatura eutéctica pueden no ser la temperatura de operación

fijada de la cristalización simultánea ya que la temperatura eutéctica puede desplazarse debido a la presencia de impurezas y/u otros componentes en la mezcla. Normalmente la temperatura de operación de la cristalización simultánea puede ser de hasta 30 °C, más preferiblemente de 20 °C y a más preferiblemente
5 menos de 10 °C por debajo de la temperatura eutéctica.

La cristalización simultánea da lugar de esta manera a una mezcla del compuesto orgánico en forma sólida (compuesto orgánico sólido), el solvente orgánico en forma sólida (solvente orgánico sólido) y normalmente también uno del compuesto orgánico y el solvente orgánico en forma líquida, o ambos. Los
10 componentes líquidos de la mezcla puede denominarse licor madre.

Después de la cristalización simultánea, el compuesto orgánico se recupera separando el solvente orgánico sólido y el compuesto orgánico sólido. Los inventores encontraron además que el compuesto orgánico sólido y el solvente orgánico sólido obtenidos por cristalización simultánea pueden separarse
15 fácilmente en términos generales, por ejemplo con base en diferencias de densidad entre el compuesto orgánico y el solvente orgánico. A pesar que la diferencia en densidad es relativamente pequeña (en particular en comparación con la diferencia cuando el agua haya sido usada como solvente), se encontró que era sorprendentemente fácil y eficiente separar el compuesto orgánico del solvente
20 orgánico. Como resultado de la separación eficiente, tanto el compuesto como el solvente tienen una buena pureza. El solvente orgánico puede reciclarse (normalmente después de fundirse) a la extracción líquido-líquido. De esta manera, el método de la invención tiene la ventaja de que el solvente y el producto puede recuperarse de modo eficiente sin requerir pasos de procesamiento
25 corriente abajo que sean complejos y/o consuman energía, tal como una re-extracción y/o evaporación.

En caso que el solvente orgánico sólido y el compuesto orgánico sólido se separen con base en su diferencia de densidades, la separación puede efectuarse, por ejemplo, mediante asentamiento por gravedad y/o flotación o mediante
30 centrifugación o mediante cualquier otra técnica conocida que haga uso de la diferencia en densidad. El solvente orgánico sólido y el compuesto orgánico sólido también pueden separarse con base en el tamaño de partícula de los dos tipos de cristales. En este caso pueden usarse técnicas tales como filtración o tamizaje en calidad de técnicas de separación.

Tal como se ha explicado en la presente, el compuesto orgánico sólido y el solvente orgánico sólido se separan uno de otro por medio de técnicas de separación sólido-sólido. Después o durante la separación, el compuesto orgánico sólido puede retirarse de la mezcla formada en la cristalización simultánea. El solvente orgánico sólido y el licor Madrid pueden reciclarse en el método de la invención. Por ejemplo, el solvente orgánico sólido puede fundirse y usarse en la etapa de extracción. El solvente orgánico líquido que está presente en el licor madre también puede reutilizarse en la etapa de extracción. El compuesto orgánico líquido y/o sólido puede reciclarse en la etapa de cristalización simultánea. El compuesto orgánico líquido y/o sólido puede adicionarse a la mezcla de solvente orgánico y el compuesto orgánico antes o durante el enfriamiento de dicha mezcla en la etapa de cristalización simultánea.

Después de la separación, los cristales del compuesto orgánico sólido pueden someterse a una o más etapas de purificación. Sin embargo, la purificación requerida relativamente menos unidades de operación puesto que la calidad de los cristales del compuesto orgánico sólido que dejan el procedimiento de separación será ya alta y la cantidad de solvente y de otros componentes es relativamente baja.

Un aspecto importante del método de la invención es la elección para realizar la cristalización simultánea en una mezcla que comprende dos compuestos orgánicos, es decir el compuesto orgánico a recuperar y el solvente orgánico. Esta no es una elección obvia por varias razones. Primero, las corrientes de fermentación son normalmente acuosas. Por lo tanto, transferir el compuesto orgánico a solvente orgánico parece complicar el procedimiento adicionando una etapa adicional al tratar de recuperar el compuesto orgánico mediante cristalización eutéctica por congelamiento. Segundo, la regeneración eficiente de los solventes orgánicos y la recuperación y purificación adicional del producto orgánico con frecuencia es difícil y consume energía. Por lo tanto, no es obvio extraer el compuesto orgánico a solvente orgánico cuando no es absolutamente necesario. Tercero, tal como se discutió antes, el agua forma cristales de hielo de baja densidad durante la cristalización simultánea lo cual es muy deseable con respecto a la etapa de separación subsiguiente y lo cual apunta a tratar de alcanzar cristalización eutéctica directamente de la corriente acuosa de fermentación.

Sin embargo, los inventores se dieron cuenta de que extrayendo primero el compuesto orgánico a solvente orgánico es posible extender significativamente la ventana de operación y de aplicación para la cristalización eutéctica por congelamiento. Por ejemplo, el método de la invención hace posible

5 la operación de la cristalización eutéctica por congelamiento en condiciones mucho más favorables, tales como intervalos más deseables de temperatura (por ejemplo, por encima de 0 °C) y composiciones eutécticas más deseables (y de esta manera concentraciones deseables del producto orgánico en el solvente). La capacidad de aplicar cristalización eutéctica por congelamiento en otros solventes diferentes de

10 agua crea un grado extra de libertad mientras que también presenta rutas más simples y mejores que las rutas convencionales de extracción-reextracción. Por ejemplo, la temperatura eutéctica de la mezcla que va a cristalizarse simultáneamente puede influenciarse seleccionando un solvente orgánico adecuado. De esta manera, la temperatura eutéctica puede ajustarse a una

15 temperatura deseable que se encuentra cercana a la temperatura de la corriente de fermentación. Así, la disminución en temperatura requerida para cristalización simultánea puede ser pequeña lo cual es deseable con respecto al consumo energético del método.

Por consiguiente, al tratar de recuperar un determinado compuesto

20 orgánico será necesario seleccionar un solvente orgánico adecuado. En vista de lo anterior, se entenderá que la elección de un solvente orgánico adecuado entre otros depende del efecto que tiene sobre la temperatura eutéctica de la mezcla con el compuesto orgánico. Los siguientes criterios pueden usarse para seleccionar un solvente orgánico adecuado: (1) el solvente orgánico es preferiblemente líquido a

25 la temperatura de operación de la etapa de extracción; (2) el solvente orgánico tiene preferiblemente una temperatura de solidificación cercana a la temperatura de operación de la extracción (esta temperatura corresponde al punto de fusión para el solvente orgánico descrito más adelante); (3) el solvente tiene preferiblemente solubilidad limitada en agua, por ejemplo de menos de 100 g/kg

30 de agua, preferiblemente menos de 10 g/kg de agua y aún más preferiblemente menos de 1 g/kg de agua; (4) el agua preferiblemente no se disuelven grandes cantidades en el solvente orgánico, por ejemplo menos de 200 g/kg de solvente orgánico, preferiblemente menos de 20 g/kg de solvente y aún más preferiblemente menos de 2 g/kg de solvente; (5) el coeficiente de distribución o de

repartición debe ser preferiblemente tal que la extracción conduzca inmediatamente a una mezcla con una composición cercana a la composición eutéctica. En general, se considera ventajoso cuando la composición eutéctica se sitúa a una concentración relativamente baja del compuesto orgánico como para
 5 evitar la necesidad de realizar grandes cantidades de solvente orgánico en la mezcla antes de alcanzar el punto eutéctico.

El solvente puede cumplir al menos uno de los cinco criterios mencionados antes, pero preferiblemente más. En teoría puede usarse cualquier combinación de dos, tres, cuatro o cinco de los criterios anteriores para
 10 proporcionar un solvente adecuado.

A este respecto se encontró que el punto de fusión del solvente orgánico y del compuesto orgánico tiene influencia significativa en el punto eutéctico de la muestra. Por lo tanto, el solvente orgánico se selecciona preferiblemente para que tenga un punto de fusión que se encuentre cerca de la temperatura eutéctica deseada. En teoría, el solvente orgánico puede tener un punto de fusión de -50 a
 15 250 °C. Sin embargo, en vista de las temperaturas preferidas para la temperatura eutéctica ya mencionada antes y en vista de la extracción líquido-líquido efectuada previamente a la cristalización simultánea, el solvente orgánico tiene preferiblemente un punto de fusión de -10 a +100 °C, más preferiblemente de +10
 20 a +80 °C, todavía más preferiblemente de +20 a +60 °C.

Por consiguiente, el solvente orgánico puede seleccionarse del grupo que consiste en óxidos de trialkilfosfinas, sulfóxidos de dialquilo, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos, alcoholes, ácidos carboxílicos y ésteres, en particular aquellos con un punto de fusión en los intervalos definidos antes. Por
 25 ejemplo, el solvente orgánico puede ser óxido de tri-n-octilfosfina (punto de fusión de 50-54 °C), sulfóxido de dimetilo (punto de fusión de 19 °C), p-xileno (punto de fusión de 13 °C), 1-octanol (punto de fusión de -16 °C), ácido acético (punto de fusión de 16-17 °C), alcohol t-butilico (punto de fusión de 25-26 °C) o dioxano (punto de fusión de 12 °C).

30 Se encontró que los óxidos de tri-alkilfosfina y sulfóxidos de dialquilo son particularmente deseables como solvente orgánico que se utiliza en el método de la invención, en particular en vista de la cristalización simultánea y la separación subsiguiente. Se espera que ambos grupos sean muy adecuados para

usar en el método de la invención al recuperar un alcohol (por ejemplo, 1,4-butandiol) o ácido carboxílico (por ejemplo, ácido itacónico).

Los óxidos de tri-alquifosfina conforman un grupo de compuestos con la fórmula $O=P(R)_3$, en la cual R es un grupo alquilo. El grupo alquilo es
 5 preferiblemente un alquilo de C_{1-20} , preferiblemente un alquilo de C_{4-12} , más preferiblemente un alquilo de C_{6-10} . Se obtuvieron resultados particularmente buenos utilizando óxido de tri-n-octilfosfina (TOPO) como el solvente orgánico.

Los sulfóxidos de dialquilo conforman un grupo de compuestos con la fórmula $O=S(R)_2$, en la cual R es un grupo alquilo. El grupo alquilo es
 10 preferiblemente un alquilo de C_{1-8} , preferiblemente un alquilo de C_{1-6} , por ejemplo sulfóxido de dimetilo (DMSO) o sulfóxido de dibutilo (DBSO).

El punto eutéctica o de una mezcla depende tanto del tipo de compuesto orgánico como del solvente orgánico que se utilizan, en particular de sus puntos de fusión. Por lo tanto, la elección de un solvente orgánico adecuado puede variar
 15 dependiendo del compuesto orgánico específico que va recuperarse. Por consiguiente, pueden preferirse ciertas combinaciones de compuestos orgánicos y solventes orgánicos.

Se han obtenido resultados particularmente buenos utilizando TOPO como el solvente orgánico y alcoholes o ácidos carboxílicos como el compuesto
 20 orgánico. Por ejemplo, TOPO y 1,4 butandiol forman una mezcla que tiene una temperatura eutéctica de 16 °C. Utilizando esta combinación puede obtenerse una cristalización a temperaturas apenas por debajo de la temperatura ambiente que pueden alcanzarse fácilmente con opciones estándar económicas para enfriamiento. Otro ejemplo es TOPO y ácido itacónico que forman una mezcla que
 25 tienen una temperatura eutéctica de alrededor de 20 °C.

La persona experta podrá derivar la información sobre la temperatura eutéctica y la composición eutéctica de una mezcla de un solvente orgánico y de un compuesto orgánico a partir del diagrama de fases de la mezcla, en el cual se encuentran en forma de gráfica las temperaturas de equilibrio de cristalización,
 30 los puntos en los que se forman los primeros cristales, de las mezclas de ambos compuestos frente a la composición de la mezcla (es decir, en un intervalo de 0 a 100% en peso del compuesto orgánico). La figura 2 es un ejemplo de tal diagrama de fases teórico para una mezcla de 1,4-butandiol y TOPO.

Como se ha dicho antes, el texto introduce el principio de la invención usando fermentación como ejemplo. La persona experta reconocerá que el principio de la invención también puede aplicarse en cualquier procedimiento donde un compuesto orgánico en una corriente acuosa sea extraído con un
5 solvente orgánico. Un ejemplo ilustrativo, pero no limitante, en esta categoría es el tratamiento de un procedimiento acuoso y de corrientes de agua residual. Estas corrientes también se diluyen con frecuencia y algunas veces también soluciones multi-componentes complejas. El propósito de la extracción líquido-líquido es entonces retirar de modo selectivo un compuesto orgánico de una corriente de este
10 tipo. Los ejemplos son el retiro de impurezas o de productos secundarios de corrientes de procesos o el retiro de impurezas tóxicas en el tratamiento de agua residual, como el retiro de productos aromáticos a fin de hacer el agua residual adecuada para tratamiento biológico. La recuperación del compuesto extraído (y la regeneración del solvente) también es importante en los ejemplos dados por
15 razones de eficiencia de material y costes para permitir el reciclaje del solvente y del compuesto orgánico o para reducir los costes de eliminación de residuos. Obviamente, la invención descrita también puede aplicarse a las corrientes y aplicaciones ya mencionadas y esto generará el mismo tipo de ventajas que se han descrito en mayor detalle para el ejemplo de extracción de un compuesto orgánico
20 o producto de una corriente de fermentación.

En otro aspecto, la invención está dirigida a una mezcla que comprende cristales de un primer compuesto orgánico, cristales de un segundo compuesto orgánico diferente y al menos 25% en peso del primero y del segundo compuesto orgánico se encuentra en forma líquida. Una mezcla de este tipo puede obtenerse
25 mediante la etapa de cristalización simultánea efectuada en el método de la invención. El primer compuesto orgánico puede corresponder al compuesto orgánico tal como ya se ha definido en la presente, mientras que el segundo compuesto orgánico puede corresponder al solvente orgánico, tal como ya se ha definido en la presente. La cantidad combinada de cristales del primero y del
30 segundo compuesto orgánico en la mezcla puede ser de 10-50% en peso, preferiblemente 20-25% en peso, con base en el peso total de la mezcla. Una cantidad de este tipo es adecuada para la etapa de separación efectuada en el método de la invención. La mezcla puede comprender 50-90% en peso, preferiblemente 75-80% en peso del primero y del segundo compuesto orgánico o

del solvente orgánico en forma líquida. La mezcla puede comprender al menos 1% en peso, preferiblemente al menos 3% en peso de los cristales tanto del primero como también del segundo compuesto orgánico, con base en el peso total de la mezcla. Los cristales obtenidos en la cristalización simultánea son cristales típicamente mono-componentes. Esto significa que independientemente de las impurezas cualesquiera, los cristales en la mezcla consisten en sólo de un compuesto, es decir del primero o del segundo compuesto orgánico. Por consiguiente, los cristales del primer compuesto orgánico pueden consistir en al menos 90% en peso, preferiblemente en al menos 95% en peso del compuesto orgánico, con base en el peso total de los cristales del primer compuesto orgánico. Los cristales del segundo compuesto orgánico pueden consistir en al menos 90% en peso, preferiblemente al menos 95% en peso del solvente orgánico, con base en el peso total de los cristales del segundo compuesto orgánico.

La invención se ilustrará adicionalmente por medio de los siguientes ejemplos experimentales.

Ejemplo 1: cristalización simultánea de BDO y TOPO

Una mezcla de 1,4-butandiol (BDO) y óxido de tri-n-octilfosfina (TOPO) fue enfriada gradualmente a una temperatura por debajo de 16 °C (es decir, por debajo de la temperatura eutéctica de la mezcla), lo cual indujo cristalización en la mezcla.

Se tomó una muestra de la mezcla que comprendía cristales y se analizó bajo un microscopio. Se observaron dos tipos de cristales: el primero tenía una forma acicular, el otro tenía una estructura similar a la nieve.

La temperatura de la muestra se incrementó luego por encima de la temperatura eutéctica y se fundieron los cristales similares a la nieve mientras que quedaron los cristales aciculares.

Los cristales se retiraron de la mezcla y se midió su temperatura de fusión en 55 °C, lo cual corresponde al punto de fusión de TOPO.

Luego se sembró la mezcla con los cristales finales de BDO para iniciar una cristalización. Los cristales resultantes fueron analizados bajo el microscopio. Los cristales tenían una forma de tubos alargados, lo cual era diferente de la forma acicular observada para los cristales de TOPO. Por lo tanto, se concluyó que estos cristales tenían que ser cristales de BDO.

El experimento muestra la evidencia del concepto para cristalización eutéctica por congelamiento de una mezcla de TOPO-BDO.

Ejemplo 2: Cristalización simultánea de IA en H₂O y TOPO

5 Este ejemplo ilustra la eficiencia energética del uso de solventes orgánicos en una cristalización eutéctica por congelamiento en comparación con el caso cuando el solvente es agua.

El diagrama de fases binario de ácido itacónico / agua fue determinado tanto de manera experimental como teórica:

10 1. Teoría: los puntos de fusión se calcularon utilizando la ecuación de Van't Hoff en condiciones estándar.

2. Experimental (método Crystal16): se prepararon mezclas líquidas de agua y ácido itacónico con cantidades variantes de ácido itacónico (1- 15 % en peso). Los puntos de cristalización de las diferentes mezclas se determinaron experimentalmente enfriando una muestra de 1 mL de cada una de las mezclas en un cristizador paralelo (Crystal16, Technobis Group). El punto de fusión fue la temperatura más alta a la cual empezó a formarse el material sólido.

15 3. Experimental: dos experimentos similares tal como se describieron en 2 se efectuaron con muestras de 100 mL de las mezclas que comprendían 20 % en peso de IA y 10 % en peso de IA respectivamente, utilizando una configuración de cristizador de 100 mL. La diferencia entre este método y el método Crystal16 ilustra el efecto de escalamiento.

Los resultados de determinar el punto de cristalización de IA usando los tres métodos anteriores demuestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Punto de cristalización de mezcla de IA/agua

Contenido de IA/agua	Temperatura de cristalización (°C)		
	Teoría (1)	Experimental (2)	Experimental (3)
20 % en peso de IA	48	--	47.85
15 % en peso de IA	40	38	--
10 % en peso de IA	28	28	29.28
3 % en peso de IA	4	1	--
1 % en peso de IA	-0.5	1	--

Los valores calculados experimentales fueron aproximadamente iguales. Más aún, el escalamiento del experimento no pareció tener un gran efecto en el punto de cristalización. Los datos sobre el punto de cristalización de IS se combinaron con los datos experimentales del punto de cristalización de agua en la mezcla. A partir de estos datos combinados, se obtuvo un gráfico del diagrama de fases binario, el cual se muestra en la figura 3. El punto eutéctico puede encontrarse en la intersección de las dos líneas. El punto eutéctico fue calculado en 2.4 % en peso de ácido itacónico a -05 °C.

El experimento anterior fue repetido para mezclas de ácido itacónico y óxido de tri-n-octil fosfina (TOPO). Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Table 2: Punto de cristalización de mezcla de IA/TOPO

Contenido de IA/TOPO	Temperatura de cristalización (°C)	
	Teoría (1)	Experimental (2)
1 % en peso de IA	53	48.9
2.4 % en peso de IA	64	54.3
3.8 % en peso de IA	81	52.6
5.3 % en peso de IA	88	51.4
7 % en peso de IA	98	49.6
8.5 % en peso de IA	103	46.5
10 % en peso de IA	107	42.0
12 % en peso de IA	115	36.0
13.3 % en peso de IA	117	27.0
14 % en peso de IA	118	23.1
15 % en peso de IA	120	25.0
16.7 % en peso de IA	129	98.0

Fue observada una diferencia importante entre los datos calculados experimentales. La figura 4 muestra el diagrama de fases binario de IA / TOPO tanto con los datos teóricos (línea izquierda superior) como con los datos experimentales (línea con un mínimo de aproximadamente 18 °C). Con base en los datos experimentales puede concluirse que la cristalización de la mezcla puede

iniciar ya a 14.2 % en peso de ácido itacónico a aproximadamente 21 °C.

Este ejemplo muestra que al usar TOPO en lugar de agua se incrementa la temperatura eutéctica desde -0.5 °C hasta 21 °C en una mezcla de IA/TOPO. La temperatura eutéctica de TOPO cercana a la temperatura ambiente lo hace un solvente excelente para cristalización eutéctica por congelamiento,
 5 eficiente en energía, tal como se efectúa en el método de la invención.

Ejemplo 3: Separación de cristales de IA y TOPO

Se preparó una mezcla de ácido itacónico (IA) y óxido de tri-n-octilfosfina (TOPO). El contenido de IA en la mezcla fue elegido cercano al punto eutéctico de 14.2 % en peso, tal como fue determinado en el Ejemplo 2. Se llenó un
 10 vial con esta mezcla. La temperatura de la mezcla se llevó por debajo de 21 °C y se analizó la formación de cristales. Después de la cristalización se encontraron los cristales de IA en el fondo, mientras que los cristales de TOPO se encontraron en la parte superior del vial. Se tomó una fotografía del vial que se muestra en la
 15 figura 5.

Puede concluirse de este experimento que los cristales de TOPO tiene una densidad más baja que los cristales de IA y que la diferencia en densidad es suficiente para causar una separación efectiva de los dos tipos de cristales. Esto hará fácil separar las dos capas de cristales sin tener que consumir mucha
 20 energía.

Ejemplo 4: Cristalización simultánea de BDO y TOPO

Los experimentos descritos en el Ejemplo 2 fueron repetidos para mezclas de 1,4 butandiol y óxido de tri-n-octilfosfina (TOPO). Los resultados se
 25 muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Punto de cristalización de la mezcla de BDO/TOPO

Contenido de BDO/agua	Temperatura de cristalización (°C)		
	Teoría (1)	Experimental (2)	Experimental (3)
2 % en peso de BDO	53	53,1	-
10 % en peso de BDO	48	43,1	42,2
19 % en peso de BDO	37,5	31,8	33
25 % en peso de BDO	40	25,9	25
40 % en peso de BDO	33	16,3	16
59 % en peso de BDO	25	18,6	-

Contenido de BDO/agua	Temperatura de cristalización (°C)		
	Teoría (1)	Experimental (2)	Experimental (3)
65 % en peso de BDO	22	20,0	-
75 % en peso de BDO	17	19,7	-
85 % en peso de BDO	18	20,2	-
90 % en peso de BDO	18,5	21,0	-

El diagrama de fases binario de TOPO-1,4-butandiol se presenta en la figura 6 donde la línea curvada del medio corresponde a los resultados experimentales.

5 Los datos mostrados en la figura 6 muestran que los resultados experimentales no corresponden a los valores calculados. Con base en los resultados experimentales puede concluirse que la cristalización de la mezcla inicia a 16 °C a 40% en peso de concentración de TOPO-1,4-butandiol. Los valores teóricos indicaron que el punto eutéctico sería a 16.4 °C a 74.5 % en peso de la
10 composición.

Por otra parte, se calculó el diagrama de fases binario teórico de una mezcla de 1,4-butandiol/agua. Se determinó el punto eutéctico en -28.4 °C a 64.3 % en peso de BDO. El enfriamiento a una temperatura muy por debajo de cero para alcanzar una cristalización simultánea dará origen a altos costes
15 energéticos. Por lo tanto, el valor calculado da una buena indicación de los ahorros en energía que pueden obtenerse usando TOPO en lugar de agua en calidad de solvente.

Este ejemplo muestra que la temperatura eutéctica de mezclas de BDO/TOPO es de 16 °C, es decir cerca de la temperatura ambiente. La
20 temperatura eutéctica de TOPO cercana a la temperatura ambiente la hace un solvente excelente para la cristalización eutéctica por congelamiento, eficiente en energía, tal como se efectúa en el método de la invención.

Ejemplo 5: extracción líquido-líquido

25 Se efectuaron experimentos para efectuar una extracción líquido líquido de agua a TOPO. TOPO no es miscible con agua. Los inventores encontraron que TOPO puede extraer fácilmente compuestos orgánicos tales como BDO o IA de la fase acuosa.

Reivindicaciones

1. Método para recuperar un compuesto orgánico de una corriente de alimentación líquida que comprende las etapas de
 - una extracción de líquido-líquido en la cual el compuesto orgánico se extrae de una corriente de alimentación a solvente orgánico y de esta manera se obtiene un extracto y cuáles una mezcla del solvente orgánico y el compuesto orgánico; y
 - cristalizar simultáneamente el solvente y el compuesto orgánico enfriando dicha mezcla; y
 - una etapa de separación sólido-sólido para separar el solvente sólido y el compuesto orgánico sólido.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el solvente sólido y el compuesto orgánico sólido se separan con base en su diferencia en densidad por tamaño.
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el cual el solvente sólido y el compuesto orgánico sólido se separan asentándose por gravedad, flotación, hidrociclones o centrifugación.
4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el solvente y el compuesto orgánico se cristalizan simultáneamente enfriando la mezcla a una temperatura igual o más baja que la temperatura eutéctica de la mezcla.
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el compuesto orgánico tiene un punto de fusión en el intervalo de -50 - +250, preferiblemente en el intervalo de -10 a +200 °C, más preferiblemente en el intervalo de 0 a +100 °C, y aún más preferiblemente en el intervalo de + 10 a + 80 °C.
6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el compuesto orgánico se selecciona del grupo que consiste en ácidos carboxílicos y ésteres cíclicos
7. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el compuesto orgánico se selecciona del grupo que consiste en 1,4-butandiol, ácido succínico, ácido fórmico, ácido málico, ácido 2,5-furanodicarboxílico, ácido 3-hidroxipropiónico, ácido aspártico, ácido

- glucárico, ácido glutámico, ácido itacónico, ácido levulínico, 3-hidroxibutirolactona, glicerina, sorbitol, xilitol y arabitól
8. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el solvente orgánico tiene un punto de fusión en el intervalo de +10 a +100 °C, preferiblemente en el intervalo de +10 a +80 °C, más preferiblemente en el intervalo de +20 a +70 °C.
 9. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el solvente orgánico se selecciona del grupo que consiste en óxidos de trialquilfosfina, sulfóxidos de dialquilo, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos, alcoholes, ácidos carboxílicos y ésteres.
 10. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el solvente orgánico es un óxido de tri-alquilfosfina o sulfóxido de dialquilo.
 11. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el solvente orgánico se selecciona de óxido de tri-n-octilfosfina (TOPO), sulfóxido de dimetilo (DMSO), sulfóxido de dibutilo (DBSO), p-xileno, 1-octanol, ácido acético, alcohol t-butílico y dioxano.
 12. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la mezcla tiene una temperatura eutéctica en el intervalo de -20 a +80 °C, preferiblemente en el intervalo de -10 a + 60 °C, más preferiblemente en el intervalo de 0 a + 40 °C.
 13. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la corriente es una corriente de fermentación, preferiblemente una corriente de producto de un proceso de fermentación.
 14. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el método comprende además la etapa de fermentar una fuente de carbono para obtener el compuesto orgánico.
 15. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la corriente de alimentación líquida es una corriente acuosa.
 16. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el compuesto orgánico es 1,4-butandiol o ácido itacónico; y en el cual el solvente orgánico es óxido de tri-n-octilfosfina.

17. Mezcla que comprende al menos 1% en peso de cristales de un primer compuesto orgánico, al menos 1% en peso de cristales de un segundo compuesto orgánico, diferente del primer compuesto, y al menos 25% en peso del primero o del segundo compuesto orgánico en forma líquida, con base en el peso total de la mezcla.
18. Mezcla de acuerdo con la reivindicación 17, que puede obtenerse mediante la etapa de cristalización simultánea tal como se ha definido en cualquiera de las reivindicaciones 1-16.
19. Mezcla de acuerdo con la reivindicación 17 o 18, en la cual la cantidad combinada de cristales del primero y del segundo compuesto orgánico es de 10-50% en peso, con base en el peso total de la mezcla.
20. Mezcla de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17-19, en la cual el primer compuesto es 1,4 butandiol o ácido itacónico; y en la cual el segundo compuesto es óxido de tri-n-octilfosfina.

Título: Recuperación simultánea de compuestos orgánicos y extractantes

Resumen

La invención se refiere a un método para recuperar un compuesto orgánico de una corriente de alimentación, el cual comprende las etapas de

- extraer el compuesto orgánico a solvente orgánico y de esta manera se obtiene una mezcla del solvente y del compuesto orgánico; y
- cristalizar simultáneamente el solvente y el compuesto orgánico enfriando la mezcla; y
- separar el solvente orgánico sólido y el compuesto orgánico sólido.