

EQUIPO PARA LA ELABORACIÓN DE MATERIAL ADSORBENTE PARA REMOCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FÓSFORO EN AGUAS, MATERIAL ADSORBENTE OBTENIDO Y MÉTODO DE ELABORACIÓN DEL MISMO

CAMPO DE LA TÉCNICA

[0001] La presente invención hace referencia al campo técnico de productos y equipos que los producen, para el tratamiento de soluciones acuosas contaminadas, y más específicamente a equipos para la producción de materiales adsorbentes para la remoción de fósforo en soluciones acuosas, métodos de elaboración y materiales adsorbentes obtenidos.

ESTADO DE LA TÉCNICA

[0002] La pirólisis y la calcinación son métodos eficaces y ambientalmente atractivos para transformar biomasa y residuos en productos energéticos y materiales de alto valor añadido. Entre los materiales producidos se encuentran los biocarbones (biochar) que son empleados como adsorbentes de diferentes contaminantes presentes en soluciones acuosas y que pueden estar elaborados de diferentes tipos de residuos agroindustriales que cuentan con propiedades de remoción de contaminantes. Además, el biochar puede ser utilizado como enmienda de suelos, mejorando su fertilidad, retención de agua y capacidad de adsorción de nutrientes, promoviendo así prácticas agrícolas sostenibles.

[0003] En el estado del arte existen múltiples sistemas y procedimientos para la elaboración de estos adsorbentes, así como diferentes tipos de adsorbentes elaborados a partir de residuos como se describe a continuación.

[0004] La solicitud de patente CN112044395A describe un sistema y un método para preparar un adsorbente de fosfato tomando el exceso de lodo y desechos de cáscaras biológicas como materias primas. El sistema de preparación de adsorbente de fosfato comprende un dispositivo para triturar y secar lodos residuales y desechos biológicos de cáscara, un dispositivo de molienda de bolas, un dispositivo de suministro de agua, un dispositivo de recolección y transporte, un dispositivo de secado, un tanque de almacenamiento, un dispositivo de carbonización, un dispositivo de purificación de gas y un dispositivo de combustión de reserva. Según el sistema de preparación de adsorbente de fosfato proporcionado por la invención, un adsorbente de fosfato con un buen rendimiento se puede preparar utilizando lodos residuales y desechos de cáscaras biológicas, los lodos residuales se tratan minuciosamente, se logra la utilización de recursos de los desechos y se

logra una solución amigable con el medio ambiente.

[0005] El documento de patente KR101798332B1 se refiere a un método y sistema para procesar eficientemente el gas de combustión a alta temperatura en calderas grandes, como las utilizadas en plantas de energía térmica, calefacción distrital e instalaciones industriales y producir biochar. El sistema utiliza el gas de combustión como fuente de calor para la pirólisis de biomasa, generando tanto gas de pirólisis como gases combustibles. Estos gases se suministran directamente a la caldera, permitiendo la producción de biomasa que puede servir como fuente de energía renovable.

[0006] La invención de la solicitud CN105536704A se refiere al biochar modificado con calcio y su método de preparación y aplicación. En este proceso, el biochar actúa como matriz del adsorbente, mientras que su superficie se modifica mediante la incorporación de compuestos de calcio. El método de preparación comprende los pasos particulares de que el polvo de biomasa se sumerge en una solución acuosa de iones de calcio para ser cargado con iones de calcio; el polvo de biomasa seco cargado con los iones de calcio se prepara a través de los pasos de filtrado al vacío, lavado y secado; el polvo de biomasa seco cargado con los iones de calcio se piroliza durante dos horas a 500 DEG C a través de un horno de atmósfera tubular en una atmósfera de N₂, y se obtiene el biochar modificado con calcio.

[0007] El documento de patente CN109012593A proporciona un material de carbón vegetal de biomasa, así como un método de preparación y aplicación del mismo, perteneciente al campo técnico de los materiales de adsorción. El método de preparación comprende los siguientes pasos: mezclar paja vegetal y residuos de biomasa rica en calcio y realizar una molienda para obtener la mezcla en polvo; y luego calentar la mezcla en polvo obtenida hasta una temperatura de carbonización por pirólisis a fin de obtener el material de carbón vegetal de biomasa. Según la invención, el Ca de los residuos de biomasa ricos en calcio se utiliza como ingrediente activo, y el carbón de biomasa se prepara utilizando un proceso de procesamiento simple de molienda mecánica de bolas combinada y pirólisis.

[0008] La patente CN106390927B describe un método de preparación de un material adsorbente compuesto de biochar para eliminar fosfatos en aguas superficiales, y pertenece al campo de los materiales adsorbentes de biochar. El método de preparación comprende las etapas de (1), lavar, secar al aire y cortar la cáscara de sáballo y la cáscara de mandarina; (2) descomponer térmicamente, enfriar y triturar el sólido particulado anterior para obtener cáscara de sáballo carbonizada y cáscara de mandarina carbonizada; (3) modificar el material térmicamente descompuesto respectivamente con sulfato ferroso, tiosulfato de sodio y

bromuro de hexadecil trimetil amonio; (4) lavar con agua desionizada y secar para obtener el material adsorbente de biochar modificado. Después que agua residual superficial con una concentración de fosfato de 10 mg/L se trata con el material adsorbente de la invención, el contenido de fosfato del agua alcanza la Clase V de la norma de calidad ambiental de aguas superficiales (GB 3838-2002) (de bajo costo, alta adsorción).

[0009] La solicitud de patente CN112619600A describe un método para preparar biochar modificado a partir de desechos vegetales y la aplicación del biochar modificado. El método comprende los pasos de: mezclar completamente e infiltrar el polvo seco de la planta, una sal de magnesio y agua, realizar el secado, moler completamente la mezcla y llevar a cabo una reacción pirolítica en una atmósfera de nitrógeno para obtener el biocarbón modificado.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0010] Los inventores de la presente solicitud de patente han encontrado la necesidad en el campo técnico de un equipo para la producción de materiales adsorbentes de contaminantes que mejore la productividad evitando la adherencia de materiales en las paredes del equipo, evite la formación de agujeros o crestas en la biomasa, disminuye la humedad, evitando aglomeraciones posteriores, y evite la condensación de gases en el producto sólido.

[0011] Además, los inventores han encontrado la necesidad de un método para la elaboración de materiales adsorbentes de contaminantes.

[0012] Asimismo, los inventores han encontrado la necesidad en el campo técnico de un material adsorbente de fósforo en soluciones acuosas, que logre un alto porcentaje de remoción.

[0013] Para esto, los inventores de la presente invención proporcionan un equipo para la producción de materiales adsorbentes para la remoción de contaminantes que comprende una tolva de alimentación con tornillo de alimentación, motores, un horno con tornillo sin fin, un recipiente para la recolección de líquidos, un recipiente para la recolección de material sólido, un procesador de craqueo térmico, un sistema de calentamiento, y un panel de control del reactor.

[0014] Los inventores también describen un método para la elaboración de materiales adsorbentes de contaminantes, mediante el equipo para la producción de materiales adsorbentes de contaminantes.

[0015] Además, los inventores describen un material adsorbente de contaminantes caracterizado por comprender residuos agroindustriales.

[0016] A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra "comprende" y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos. Además, la palabra "comprende" incluye el caso "consiste en". Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los siguientes ejemplos y dibujos se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Fig. 1 muestra una vista en perspectiva frontal del equipo para la producción de adsorbentes de contaminantes de una modalidad de la presente invención.

La Fig. 2 muestra una vista en perspectiva frontal explosionada del equipo para la producción de adsorbentes de contaminantes de una modalidad de la presente invención.

La Fig. 3 muestra los materiales adsorbentes obtenidos y su microestructura de una modalidad de la presente invención.

La Fig. 4 muestra la caracterización por a) espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier FTIR y b) difracción por rayos X XRD, de la cáscara de huevo y la mezcla cáscara de huevo-cáscara de papa después del tratamiento térmico el equipo para la producción de adsorbentes de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Fig. 5 muestra a) porcentaje de remoción de fósforo (P) en soluciones de concentración inicial de 100 ppm y 500 ppm, b) comparación de los espectros FITR para el adsorbente antes y después de la adsorción de P a dos concentraciones, 100 y 500 ppm.

La Fig. 6 muestra las cinéticas de adsorción de dos de los compositos obtenidos a 700 °C a) composito obtenido a partir de cascara de huevo (ES) y cascara de papa (PP), b) composito obtenido a partir de cascara de huevo (ES) y aserrín, biomasa de madera de pino.

La Fig. 7 muestra la caracterización por difracción de rayos X de los compositos antes y

después de adsorción de fósforo, identificando especies de fósforo en forma de HPO_4^{2-} y PO_4^{3-} .

La Fig. 8 muestra el comportamiento de uno de los compositos, ESPP-700, frente a un agua residual domestica a) Porcentaje de remoción de P, nitratos y sulfatos, b) espectro FTIR después de la adsorción de P, nitratos y sulfatos presentes en agua residual real. Temperatura de 25 °C, por 24 h, sin control del pH.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0017] En un primer aspecto, la invención se encuentra dirigida a un equipo para la producción de adsorbentes de contaminantes en fuentes acuosas que comprende una tolva de alimentación 1 que cuenta con un tornillo de alimentación 2 entradas de pulsos de aire 3 y una válvula de purga de gases 4, motores 5, un horno 6 que cuenta con un tornillo sin fin 7, un recipiente para la recolección de líquidos 8 con una válvula de purga de gases 9 y una válvula de salida 10, un recipiente para la recolección de material sólido 11 con un sistema de calentamiento, una válvula de purga de gases 12 y una válvula de salida 13, y un panel de control del reactor, en donde la tolva de alimentación 1 se encuentra en conexión con los motores 5 y el horno 6, el cual a su vez se encuentra conectado con el sistema de calentamiento y los recipientes de recolección de material sólido 11 y líquidos 8.

[0018] En una modalidad preferente de la invención, el equipo comprende una entrada de pulsos de aire 3 que se divide en 4 salidas a diferentes profundidades de la tolva.

[0019] En otra modalidad de la invención, las 4 salidas de la entrada de pulsos de aire se ubican a una profundidad de 20 cm en la tolva.

[0020] En una modalidad de la invención, las 4 salidas de la entrada de pulsos de aire tienen un ángulo entre 45 a 90° con referencia a las paredes de la tolva.

[0021] La entrada de pulsos de aire 3 evita que quede material adherido a las paredes y evita la formación de agujeros o crestas en la biomasa. Adicionalmente, las entradas de pulsos de aire 3 permiten remplazar los vibradores neumáticos externos de impacto utilizados en tolvas de gran tamaño y evitan el uso de un sistema adicional de alimentación.

[0022] La tolva 1 de la presente invención puede tener una capacidad de hasta 20 kg. Adicionalmente, luego de llenar la tolva 1, ésta puede cerrarse para impedir el ingreso de aire cuando se trate de preparación de materiales por pirólisis.

[0023] En otra modalidad de la invención, el horno 6 cuenta con tres zonas de reacción 6A, 6B y 6C, cada una con un control independiente de temperatura. En una primera zona 6A se da la deshidratación y eliminación de material volátil en un rango de temperatura entre 100 a 300°C. Allí la biomasa es calentada a temperaturas relativamente bajas con el objetivo de eliminar el contenido de agua y los componentes volátiles. A estas temperaturas, se facilita la deshidratación completa del material y la salida de gases ligeros, sin que se afecten sustancialmente las estructuras carbonosas de la biomasa.

[0024] En la segunda zona 6B ocurre la formación de biochar en un rango de temperatura de 300 a 800°C, allí la temperatura se incrementa para inducir la pirólisis de la biomasa, lo que resulta en la conversión del material en biochar. Durante este proceso, la materia orgánica se descompone térmicamente, generando gases como CO, CO₂, H₂, y algunos hidrocarburos ligeros, mientras que el carbono fijo y la estructura porosa del biochar se consolidan. Esta etapa es crítica para la creación de un biochar altamente poroso y estable, y el control de la temperatura, así como del tiempo de residencia, determinan las propiedades finales del biochar, como su superficie específica, capacidad de adsorción y estabilidad.

[0025] En la tercera zona 6C, ocurre la eliminación de alquitranes y grafitización en el rango de temperatura entre 400 a 800°C. Allí, la temperatura del horno alcanza los valores más altos, lo que permite la eliminación de alquitranes y compuestos de alto peso molecular que pudieran haber quedado en la estructura del biochar. Esta zona es esencial para la purificación final del biochar, eliminando residuos que pudieran afectar su rendimiento como adsorbente. A estas temperaturas más elevadas, se promueve la grafitización del material carbonoso, y transformación de las fases inorgánicas presentes en las mezclas iniciales de biomasa, el biochar incrementa su grado de orden cristalino y mejora sus propiedades conductivas y adsorbentes. Dependiendo de la aplicación final del biochar (adsorbente, almacenamiento de carbono, enmienda de suelos, etc.).

[0026] La temperatura y el tiempo de las etapas pueden ajustarse para lograr el nivel de pureza y las características físicas deseadas.

[0027] En una modalidad de la invención, el horno comprende un sistema de aislamiento que permite que la superficie no se caliente evitando accidentes por quemadura. Adicionalmente, el horno se encuentra sellado para evitar accidentes y solo puede ser abierto por el fabricante.

[0028] En otra modalidad de la invención, el equipo para la producción de adsorbentes de contaminantes en fuentes acuosas además comprende entradas de aire ubicado cerca a la

salida del horno 6. Estas entradas de aire permiten cambiar la dirección del flujo de aire, e ingresar la biomasa a la tolva, mientras se incrementa la temperatura en el horno (200 - 800°C), y emplear el contra flujo, provocando el calentamiento del aire, que pasa a través de la biomasa presente en la tolva disminuyendo la humedad, evitando aglomeraciones posteriores y facilitando el trabajo de los pulsos de aire.

[0029] En una modalidad de la invención, el recipiente de recolección de material sólido 11 comprende una entrada de N₂. Una parte del gas no condensable que se genera en el tratamiento térmico de la biomasa entra en el recipiente para la recolección de material sólido, en donde la entrada de gases (N₂ o aire) y el sistema de calentamiento, evitan la condensación de alquitranes en el producto adsorbente.

[0030] En otra modalidad de la invención, el equipo para la producción de adsorbentes además comprende un sistema de calentamiento a la salida del horno 6 ubicado antes de la entrada al recipiente de recolección de productos líquidos resultantes del proceso de producción como el aceite de pirólisis o biocrudo. El sistema de calentamiento a la salida del horno permite tratar biocrudo y reducir la posibilidad de corrosión y obstrucción del equipo, eliminando la humedad que pueda alcanzar el conducto. Además, permite realizar tratamientos de pirólisis desde bajas temperaturas, previniendo la condensación antes de llegar al recipiente de recolección de productos líquidos.

[0031] En otra modalidad de la invención el panel de control comprende controles de las temperaturas de las tres zonas del horno, temperaturas de salida de gases y recipiente recolector de material sólido 11, de las velocidades de los tornillos de la tolva 2 y tornillo sin fin 7, y un botón de seguridad.

[0032] El manejo de la planta se realiza por medio del panel de control, es posible controlar las tres zonas de reacción 6A, 6B y 6C a lo largo del horno 6, adicionalmente es posible mantener caliente la salida de los productos líquidos y gaseosos evitando su condensación y el recipiente recolector de material sólido. Desde el mismo panel se controla la velocidad de rotación de los tornillos de la tolva 2 y el tornillo sin fin 7 controlando el tiempo de residencia de la biomasa en el horno. Adicionalmente se tiene un botón de encendido y apagado, así como un botón de seguridad, el cual, al ser presionado, apaga todo el sistema previniendo accidentes.

[0033] En un segundo aspecto, la invención se encuentra dirigida a un método para la elaboración de material adsorbente obtenido a partir de residuos agroindustriales. El método

comprende los pasos de:

- i. Preparar la biomasa a tratar, dejándola de un tamaño entre 0,075 a 5,0 mm, y máximo un 20% de humedad;
- ii. Fijar la temperatura de operación del horno 6 y al mismo tiempo poner a girar el tornillo sin fin 7 para eliminar residuos y que se alcance la temperatura de trabajo;
- iii. Fijar la temperatura del sistema de calentamiento del recipiente para recolección de material sólido 11, y del sistema de calentamiento a la salida del horno;
- iv. Pesar la cantidad de biomasa a emplear, entre 0,4 a 20 kg, esto dependerá de la densidad de cada material y cantidades que se deseen trabajar;
- v. Detener el tornillo sin fin 7 cuando el sistema alcance la temperatura de trabajo;
- vi. Introducir la biomasa a tratar en la tolva 1 y cerrar la tapa;
- vii. Abrir el flujo de aire o N₂;
- viii. Fijar la velocidad del tornillo sin fin 7 y del tornillo alimentador 2;
- ix. Activar el sistema e iniciar la transformación de la materia prima activando el tornillo sin fin 7 y del tornillo alimentador 2;
- x. Activar los pulsos de gases cada 5 min para garantizar que la biomasa pase de la tolva 1 a la primera zona de reacción 6A;
- xi. Esperar a que todo el material atraviese las 3 zonas de reacción 6A, 6B y 6C;
- xii. Detener el tornillo sin fin 7 y el tornillo alimentador 2;
- xiii. Esperar por mínimo 60 min adicionales a que baje la temperatura del biochar obtenido en el sistema de recolección del adsorbente;
- xiv. Cerrar el flujo de gases;

xv. Abrir la válvula 13 del recolector de productos sólidos y recolectar el material adsorbente. Luego de recolectar el adsorbente, se puede procesar un nuevo lote u otro tipo de biomasa.

[0034] En una modalidad de la invención, en el paso ii del método para la elaboración de material adsorbente obtenido a partir de residuos agroindustriales, la temperatura de operación se fija entre 200 a 300 °C, en la primera zona de reacción y 550 a 700 °C en la segunda y tercera zona.

[0035] En otra modalidad de la invención, en el paso iii del método la temperatura del sistema de calentamiento del recipiente recolector de material sólido 11 se fija en el rango de 80 a 150°C y del dispositivo de calentamiento a la salida del horno 6 en el rango de 100 a 200°C.

[0036] En una modalidad de la invención, la biomasa usada para la elaboración de material adsorbente se selecciona del grupo que consiste en cáscara de huevo y fibra de palma, cáscara de papa, jacinto de agua, cáscara de naranja, cáscara de aguacate, sargazo, y algas marinas.

[0037] En otra modalidad de la invención el flujo de aire en el paso vii se abre entre 1 a 3 L/min.

[0038] En una modalidad de la invención, en el paso viii se fija la velocidad del tornillo sin fin 7 en 0.6 rpm y la velocidad del tonillo alimentador 2 en 0.5 rpm.

[0039] En un tercer aspecto, la invención se encuentra dirigida a un material adsorbente obtenido a partir del método anteriormente descrito, que comprende un 50% p/p de cáscara de huevo y un 50% p/p de cáscara de papa, con humedad inferior al 10% p/p y tamaño de partícula entre 0,1 a 1 mm.

Ejemplo 1

[0040] A continuación, se ejemplifica el paso a paso de la preparación de un producto adsorbente de contaminantes a base de residuos agroindustriales, en el equipo para la producción de adsorbentes de contaminantes en fuentes acuosas.

[0041] Para empezar, se prepara la biomasa a tratar. Es recomendable usar materiales con

un tamaño de partícula adecuado para evitar problemas de movilidad a lo largo del tornillo 2. Pueden emplearse residuos con un tamaño desde 0,075 a 5,0 mm. Los residuos deben tener una humedad máxima de 20% para evitar que se adhieran a las paredes de la tolva 1.

[0042] Se abre el recipiente de recolección de productos líquidos 8 y el recipiente de recolección de productos sólidos 11, para asegurar que no hay residuos de procedimientos anteriores. Al final se vuelven a cerrar todas las válvulas.

[0043] Se fija la temperatura de operación, y al mismo tiempo se pone a girar el tornillo sin fin 7 para eliminar residuos presentes en el reactor. Se debe esperar a que se alcance la temperatura de trabajo.

[0044] Luego, se fija la temperatura del sistema de calentamiento del recipiente recolector de material sólido en 70°C y la del sistema de calentamiento a la salida del horno en 120°C. Se pesa la cantidad de biomasa a emplear, entre 0,4 a 20 kg, esto dependerá de la densidad de cada material y cantidades que se deseen trabajar.

[0045] Cuando el sistema alcanza la temperatura de trabajo, se debe detener el tornillo sin fin 7, para que no gire más. Luego se abre la tolva 1, se introduce el material, y se cierra la tolva.

[0046] Se abre el flujo de aire, entre 2-5 L/min y se verifica el flujo de aire, esto se hace en la trampa de vidrio al final del reactor.

[0047] Después de revisar las posibles fugas, se fija la velocidad del tornillo sin fin 7 en 0,6-3,0 rpm y la velocidad del tornillo alimentador 2 en 0,5-2,0 rpm.

[0048] Se activa el tornillo sin fin 7 y el de alimentación para iniciar el proceso de producción.

[0049] Después se activar la válvula de pulsos de aire, esto genera una vibración en la biomasa presente en la tolva 1 y garantiza que fluya al horno 6.

[0050] Luego, se espera a que todo el material de la tolva 1 pase al tornillo sin fin 7, y después de esto se debe esperar por mínimo 35 min adicionales a que toda la biomasa pase a través de las 3 zonas de reacción 6A, 6B y 6C.

[0051] Al terminar el proceso, se debe disminuir la temperatura del horno 6 y pasar aire por

otros 60 min. Luego de este tiempo se baja la temperatura del recolector y del sistema de calentamiento a la salida del horno a 25°C. Por último, se cierra el flujo de gases.

[0052] Se recomienda esperar mínimo 1 hora antes de abrir el sistema recolector de productos sólidos 11, esto con el fin de asegurar que el material está frío y prevenir accidentes. Se abre y recolecta el material adsorbente obtenido y finalmente se apaga el sistema desde el panel de control.

Ejemplo 2

[0053] A continuación, se ejemplifica la preparación de material adsorbentes (biochar).

[0054] La preparación de los materiales se realizó empleando cáscara de papa y cascara de huevo en proporciones de 0,5 kg de cada biomasa, se mezclaron y se depositaron en la tolva 1. Como gas se emplearon 3,5 L de aire por minuto y se utilizó una temperatura de 700°C. Se empleó una frecuencia de 0,6 para un tiempo de residencia de 27 min.

[0055] La Figura 4 muestra los resultados de caracterización de cáscara de huevo (eggshell:ES) y las mezcla con cáscara de papa (potato peel: PP) que incluye a) espectros FTIR y b) patrón XRD. Los espectros FTIR para ES, y ESPP-700, presentan las bandas características al grupo carbonato a 1408, 875 y 712 cm^{-1} y adicionalmente el adsorbente producido (composito) muestra la presencia de bandas para enlaces C-O aproximadamente a 1050 cm^{-1} . El análisis de difracción de rayos X, Figura 4b, muestra señales correspondientes a CaCO_3 en ES y ESPP-700, y se puede resaltar la presencia de dos señales de baja intensidad que corresponde a Ca(OH)_2 a $2\theta = 18^\circ$ y $34,1^\circ$. En este tipo de procesos se busca transformar CaCO_3 en Ca(OH)_2 , para luego ser empleados en recuperación de nutrientes como el fósforo.

Ejemplo 3

[0056] A continuación, se ejemplifica la recuperación de fósforo desde aguas residuales sintéticas contaminadas con fósforo, en su forma de iones ortofosfato, H_2PO_4^- , utilizando el material adsorbente.

[0057] Los materiales (compositos) obtenidos a partir de cáscara de papa y huevo se emplearon para realizar pruebas de adsorción de fósforo. La Figura 5A muestra los resultados de adsorción empleando agua sintética con dos diferentes concentraciones de fósforo de 100 ppm y 500 ppm. Puede observarse que en ambos casos se obtiene adsorción de fósforo. Para

la solución de 100 ppm se alcanza un 83,4% mientras que para la solución de 500 ppm se logra un 42,6% de remoción. Los espectros FTIR (Figura 5B) del material adsorbente luego de la adsorción de P desde la concentración de 100 ppm de P, muestra las bandas a 566, 600 y 1020 cm^{-1} correspondientes a la apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), mientras que los espectros de los adsorbentes usados en la adsorción de fósforo desde la solución de 500 ppm muestra bandas a 514, 575, 782, 981, 1033, 1114 y 1645 cm^{-1} características de la brushita ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en trabajos anteriores a diferentes concentraciones y muestran que el material obtenido en la planta piloto posee un alto potencial para la remoción de fósforo desde fuentes acuosas.

Ejemplo 4

[0058] A continuación, se ejemplifica el comportamiento de la cinética de recuperación de fósforo desde aguas residuales sintéticas contaminadas con fósforo, utilizando dos materiales adsorbentes el obtenidos de la mezcla de cáscara de huevo (eggshell:ES) con cáscara de papa (potato peel: PP) y otro de obtenido bajo las mismas condiciones empleando una mezcla de cascara de huevo (ES) con biomasa de aserrín de madera de pino (B).

[0059] La Figura 6A muestra el comportamiento de uno de los materiales adsorbentes con uno de los mejores desempeños reportados. Los resultados muestran que la remoción de P logra un equilibrio alrededor de los 600 min (10 horas) con un buen ajuste a los modelos de pseudo primer orden (PFO, $R^2=0.962$), pseudo segundo orden (PSO, $R^2=0.979$) y Avrami ($R^2=0.981$), logrando una capacidad de equilibrio, de acuerdo con el modelo de PSO de $116.9 \pm 0.7 \text{ mg P/g}$.

[0060] La Figura 6B, muestra que la capacidad de adsorben P de los materiales adsorbentes no se limita a la mezcla de cascara de huevo y cascara de papa. El comportamiento cinético obtenido empleando aserrín de pino como fuente de biomasa es similar al presentado para el material adsorbente de la Figura 6A, con ajuste a los modelos de pseudo primer orden (PFO, $R^2=0.951$), pseudo segundo orden (PSO, $R^2=0.994$) y Avrami ($R^2=0.989$), con una capacidad de equilibrio de $100 \pm 1 \text{ mg P/g}$ de acuerdo con el modelo de PSO.

[0061] La Figura 7 muestra la caracterización de los materiales luego del proceso cinético de recuperación de P. De acuerdo con los resultados se obtienen especies de P en forma de HPO_4^{2-} y PO_4^{3-} , formando estaturas como $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Con código 98804 en la Base de datos de estructuras cristalinas inorgánicas, ICSD) y estructuras intermedias entre brushita y apatita, con formula $\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Con código ICSD de 027050). Las demás

señales obtenidas en los materiales después de adsorción corresponden a las señales de CaCO_3 características de los adsorbentes.

[0062] A continuación, se ejemplifica la recuperación de fósforo desde aguas residuales reales contaminadas con fósforo, utilizando el material adsorbente obtenido de cascara de papa y cascara de huevo.

[0063] Se evaluó la adsorción de fósforo desde un agua residual real. La Figura 8A muestra que el material logra remociones cercanas al 90 % de fósforo y una remoción cercana al 40 % de nitratos, por otro lado, en el espectro FTIR después de adsorción se observan bandas que pueden asignarse al grupo fosfato (Figura 8B), indicando la remoción de fósforo en forma de apatita. Estos resultados son similares a los reportados anteriormente para el material obtenido en el equipo para la producción de materiales adsorbentes con cáscara de papa y huevo.

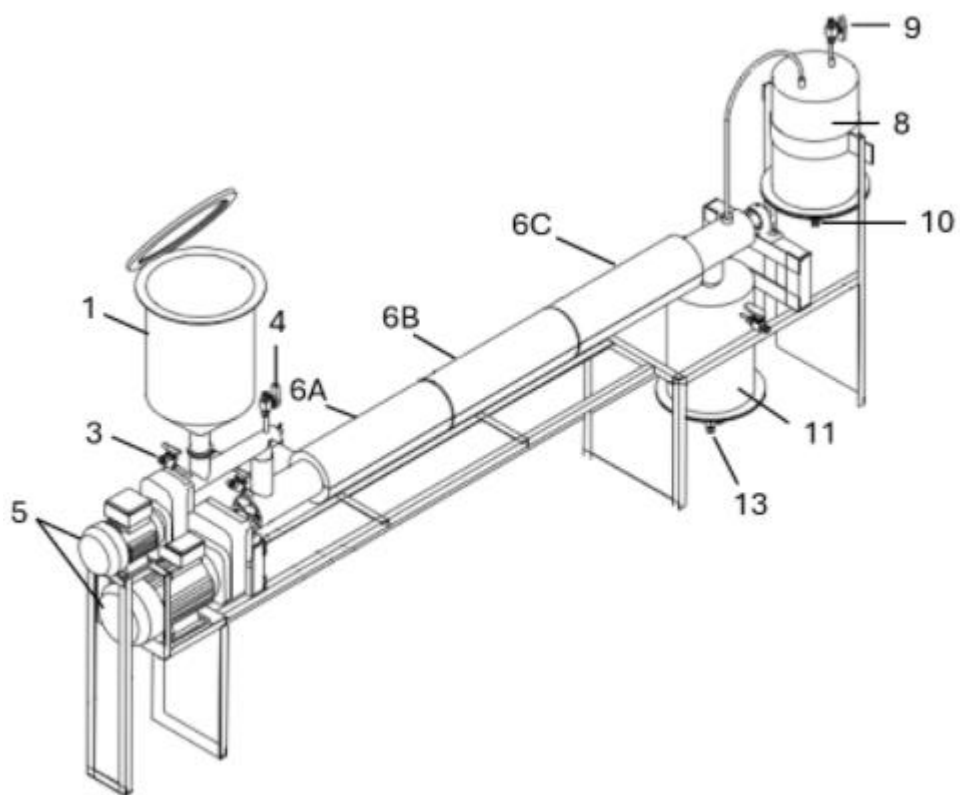


Fig. 1

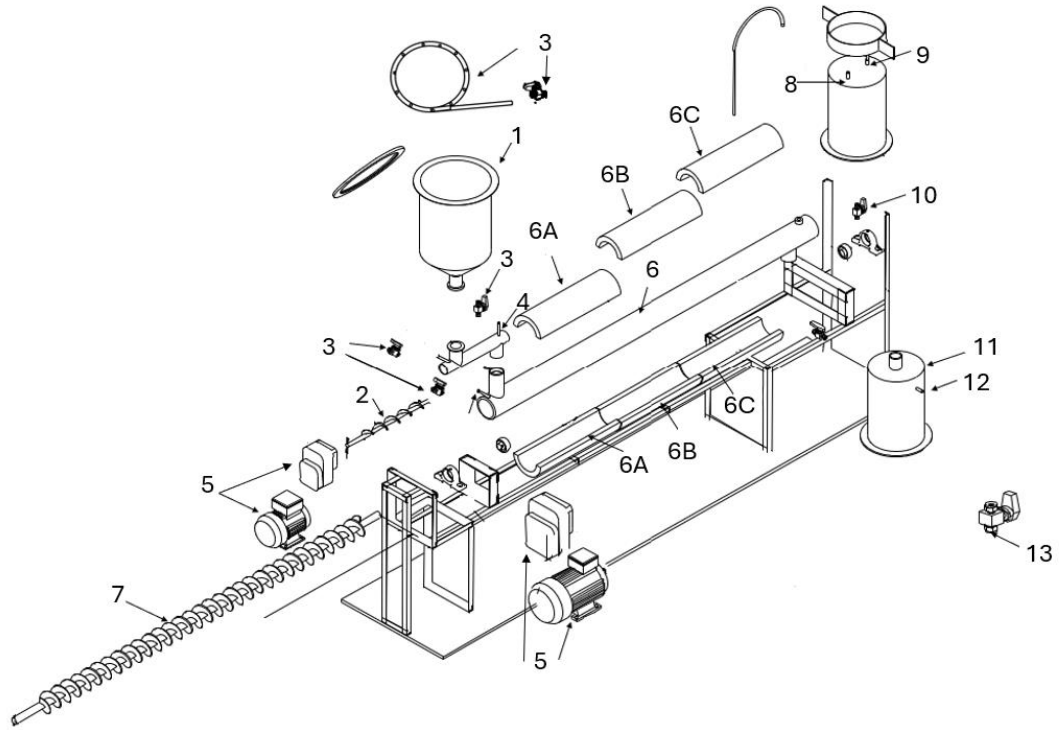


Fig. 2



Fig. 3

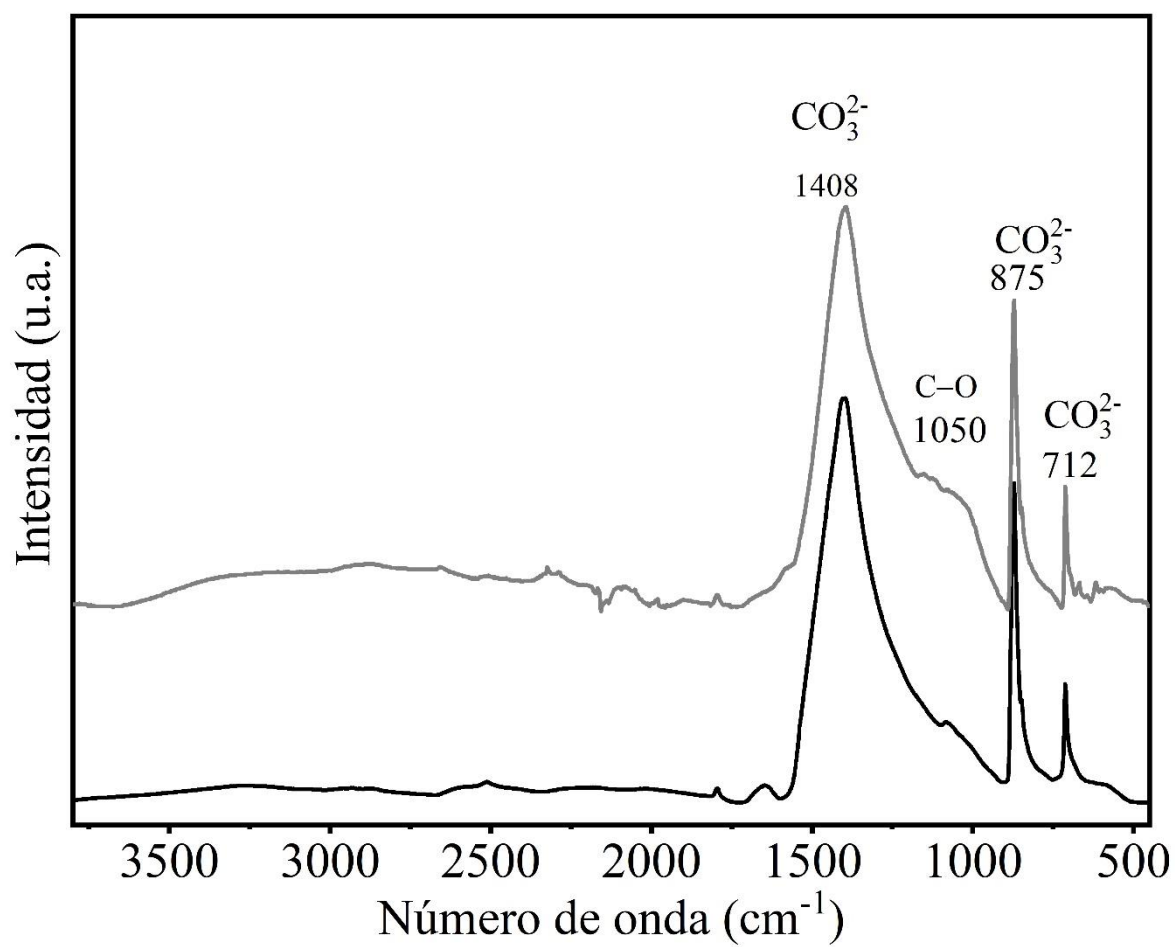


Fig. 4A

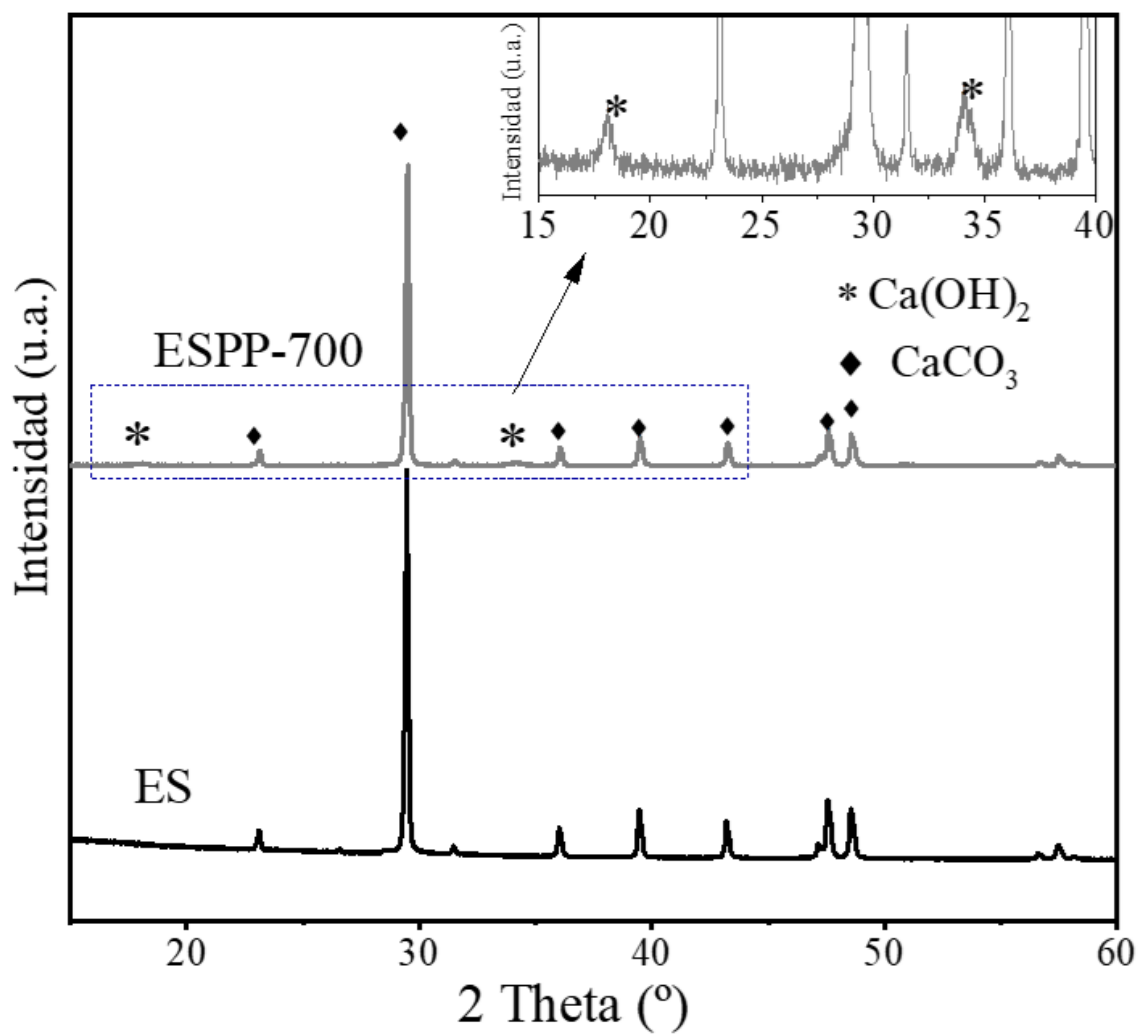


Fig. 4B

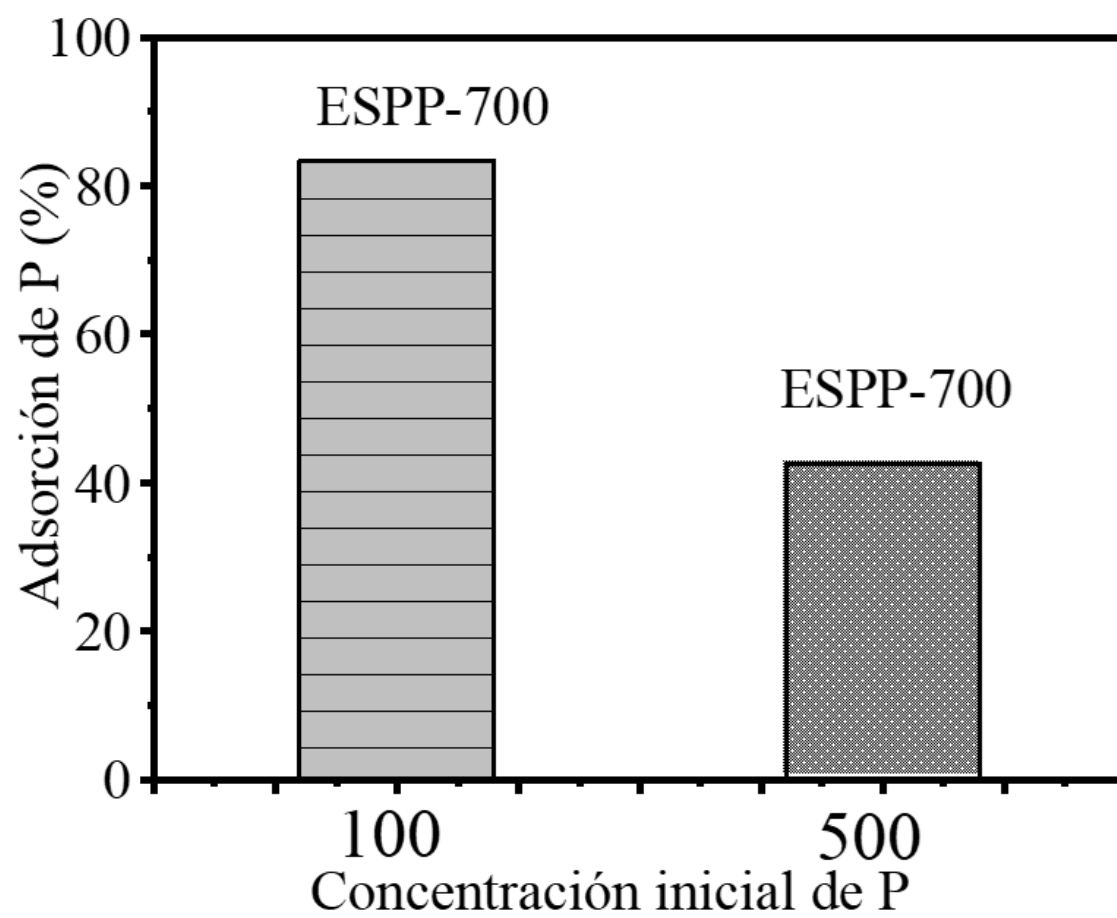


Fig. 5A

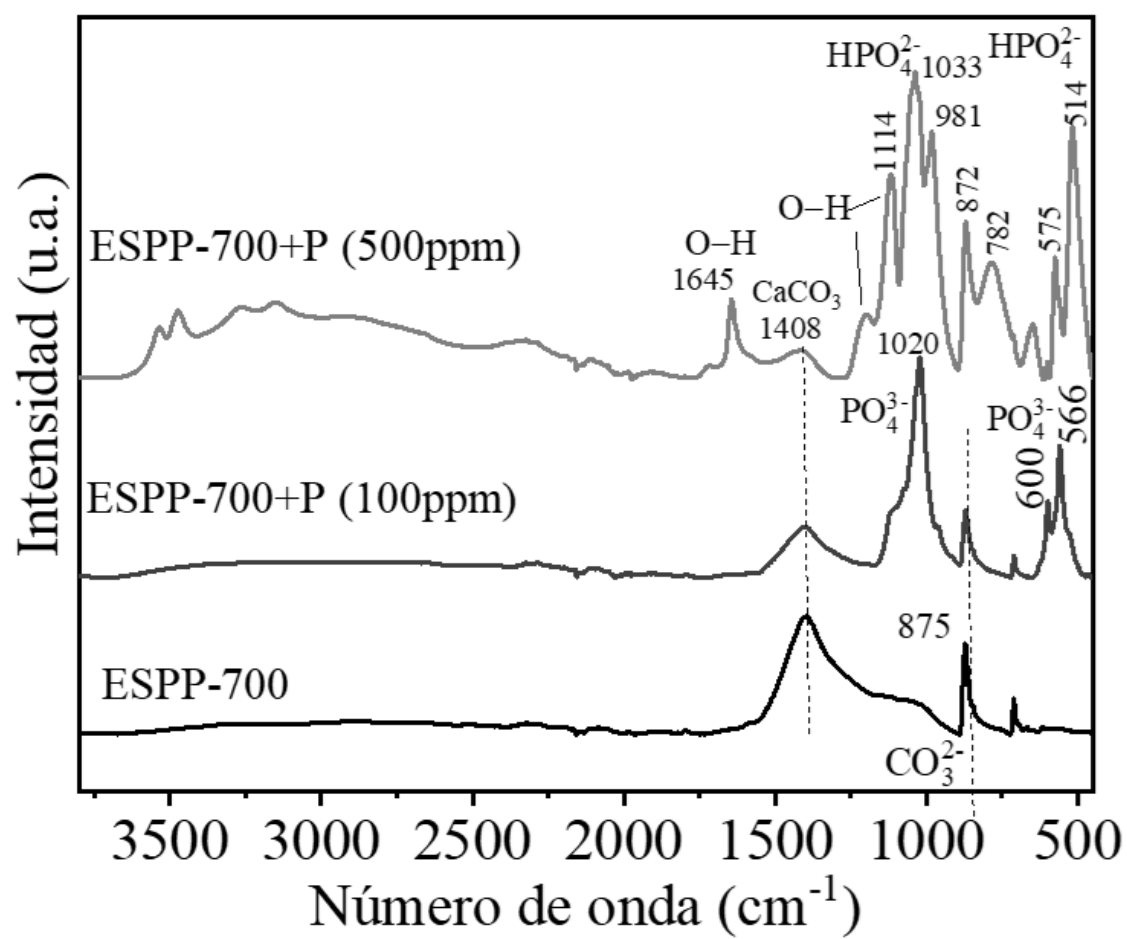


Fig. 5B

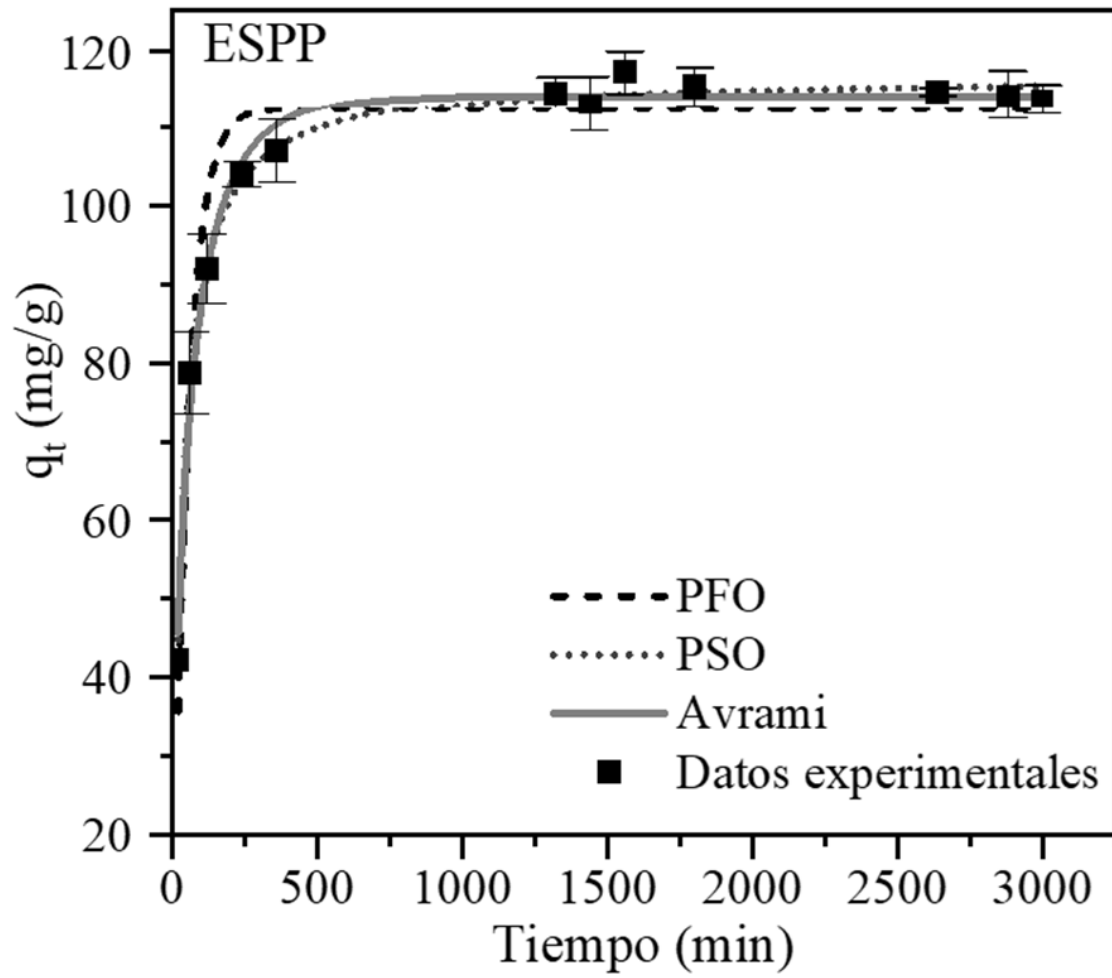


Fig. 6A

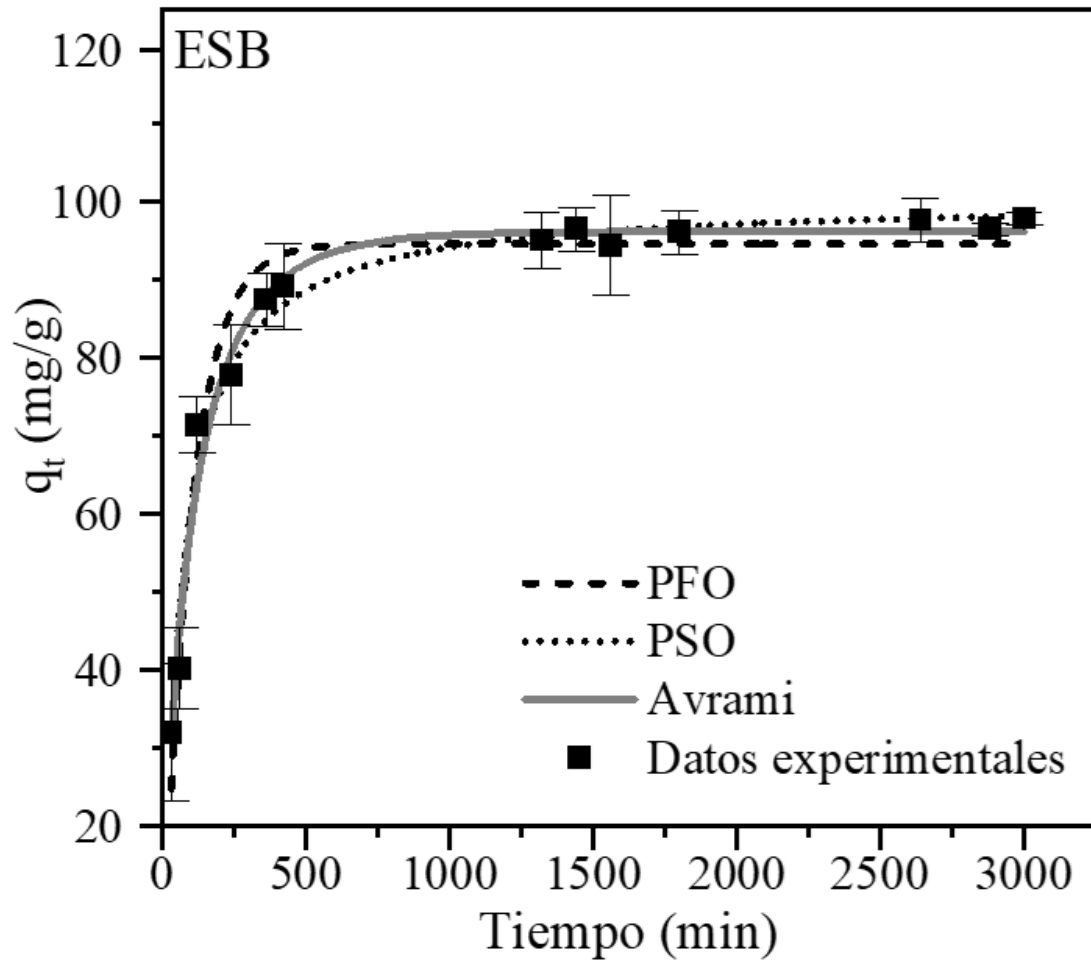


Fig. 6B

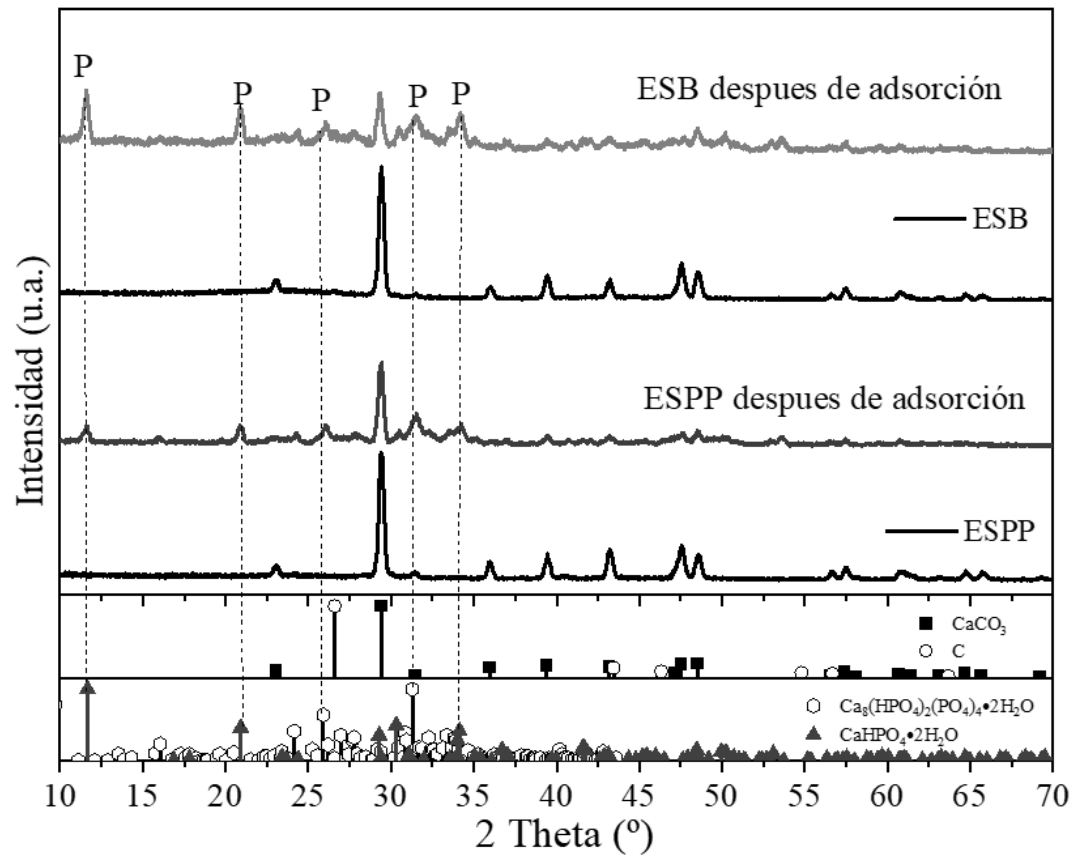


Fig. 7

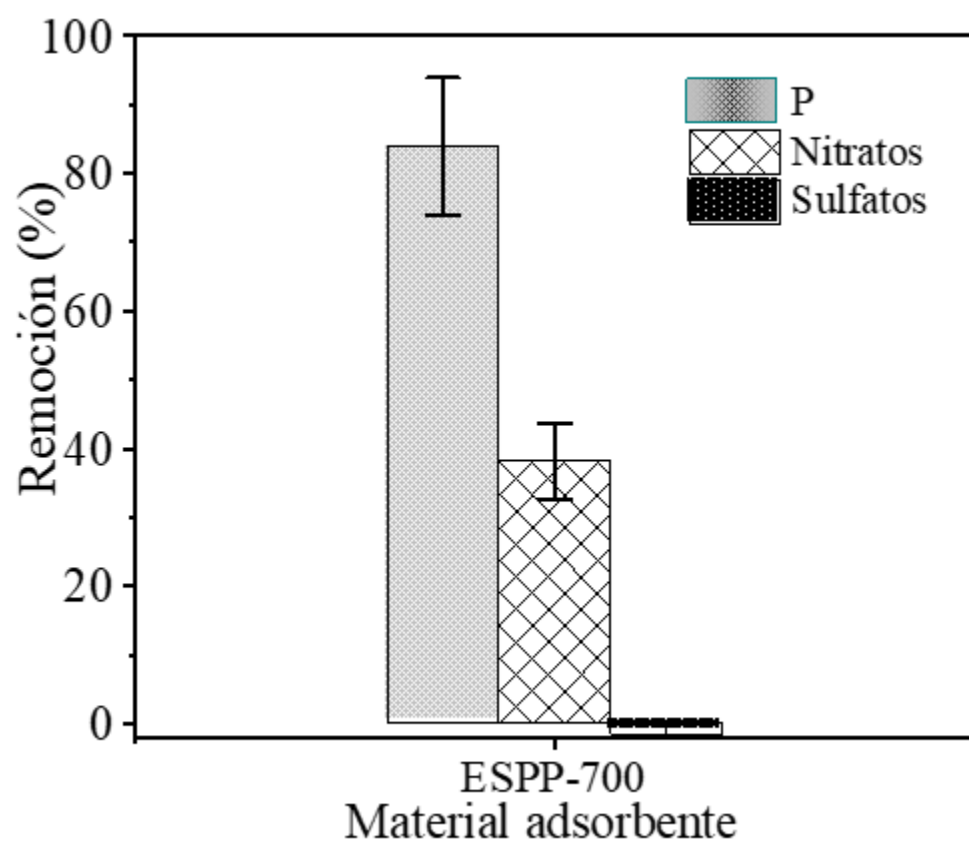


Fig. 8A

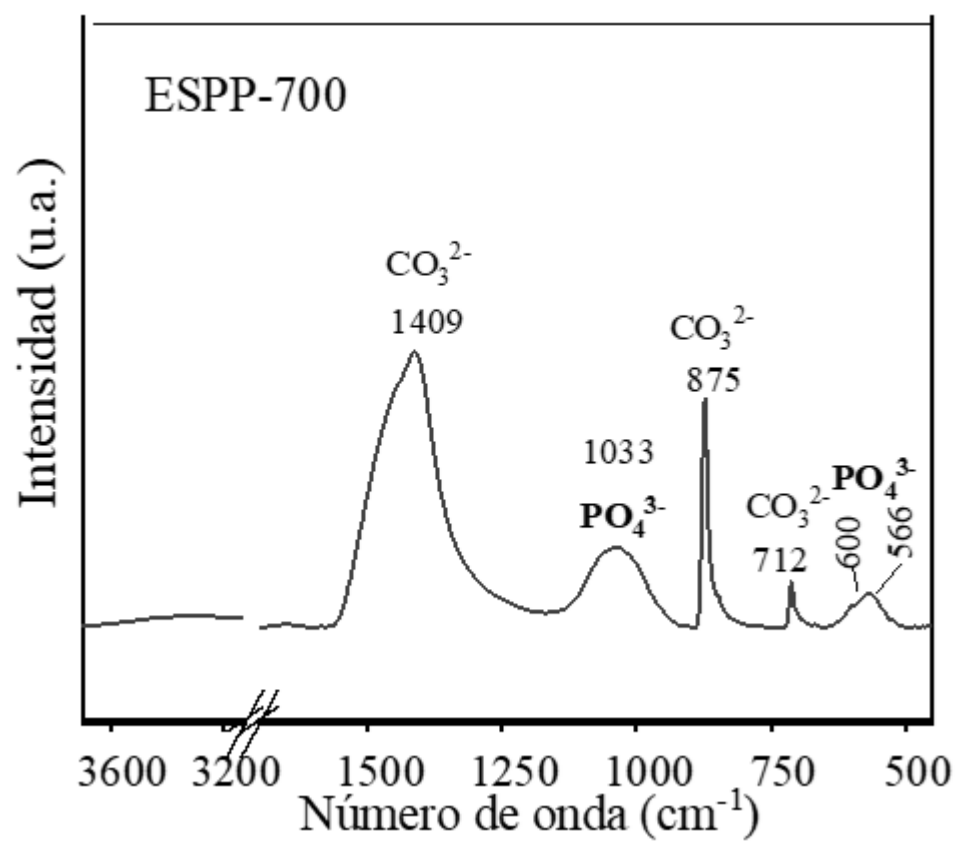


Fig. 8B