



Estudio de vigilancia tecnológica en remediación de suelos de cultivos contaminados por cadmio



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria



BICENTENARIO
PERÚ 2021





**MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN AGRARIA**

**Estudio de vigilancia tecnológica en
remediación de suelos de cultivos
contaminados por cadmio**



Estudio de Vigilancia Tecnológica en Remediación de Suelos de Cultivos Contaminados por Cadmio

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego

Federico Bernardo Tenorio Calderón

Viceministro de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego

José Alberto Muro Ventura

Viceministra de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario

María Isabel Remy Simatovic

Jefe del INIA

Jorge Luis Maicelo Quintana, Ph. D.

© Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA

Autores:

Paolo Cayetano Terrel

Karla Mónica Peña Pineda

Evelyn Lissete Olivarez Rivera

Sandra Marilia Vargas Cisneros

Editado por:

Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA

Equipo Técnico de Edición y Publicaciones

Av. La Molina 1981, Lima- Perú

(51 1) 240-2100 / 240-2350

www.inia.gob.pe

Editor general:

Eliana Alviárez Gutierrez, D.Sc.

Revisión de contenido:

Comité de Edición y Publicaciones del INIA

Diseño y diagramación:

Abner Fernando Mio Torrejón

Publicado:

Julio, 2021

Primera edición:

Julio, 2021

Tiraje:

Publicación digital

Impreso en:

Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA

RUC: 20131365994

Teléfono: (51 1) 240-2100 / 240-2350

Dirección: Av. La Molina 1981, Lima- Perú

Web: www.inia.gob.pe

ISBN:

978-9972-44-078-6

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2021-07041

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso.

Tabla de contenido

Presentación	6
1. Resumen ejecutivo	8
2. Vigilancia tecnológica	10
3. Metodología	12
4. Análisis de patentes	14
4.1 Búsqueda de patentes	14
4.2 Resultados	14
4.3 Ciclo de vida de patentes	15
4.4 Países líderes	16
4.5 Líderes tecnológicos en patentes	18
4.5.1 Compañías líderes	18
4.5.2 Instituciones líderes	20
4.6 Principales tecnologías	21
4.6.1 Remoción y disminución de cadmio mediante componentes químicos	21
4.6.2 Remoción y disminución de cadmio mediante componentes biológicos	23

Tabla de contenido

5. Análisis de publicaciones científicas	25
5.1 Búsqueda de publicaciones científicas	25
5.2 Resultados	25
6. Contexto tecnológico nacional	28
6.1 Solicitudes de patentes	28
6.2 Instituciones financieras de proyectos de I+D+i:	29
6.2.1 FONDECYT	29
6.2.2 Innóvate Perú	29
6.3 Tesis y publicaciones	29
6.4 Proyectos desarrollados en el INIA	29
7. Conclusiones	33
Anexos	35





Presentación

El cadmio (Cd^{+2}), es un metal pesado muy tóxico para animales y plantas que es adquirido por actividades antropogénicas como la combustión de hidrocarburos, uso de aguas residuales y empleo de fertilizantes fosfatados. Es muy conocido que su absorción y transporte en plantas resulta en la bioacumulación de los tejidos de raíces, tallos, hojas, nudos y semillas.

El reglamento de la Unión Europea N°488/2014, publicado en mayo del 2014 establece un límite máximo de cadmio en diversos productos alimenticios, entre ellos los derivados del cacao. Sobre este escenario es importante identificar y conocer la fuente de contaminación del cadmio en los alimentos. Por esta razón instituciones académicas y de investigación vienen realizando diversas acciones para generar alternativas que puedan ser implementadas para reducir la acumulación de cadmio en los cultivos.

El presente estudio de vigilancia tecnológica en remediación de suelos de cultivos contaminados por cadmio, tiene como objetivo dar a conocer las nuevas tecnologías, tendencias y líderes tecnológicos enfocados en este tema. En este trabajo se identifican las principales patentes tecnológicas en dos áreas de interés: a) La remoción y disminución de cadmio mediante componentes químicos y b) La remoción y disminución de cadmio mediante componentes biológicos.

Este estudio está dirigido a los investigadores, gestores de la I+D+i y actores del Sistema Nacional de Innovación Agraria (SNIA) para una adecuada toma de decisiones orientadas a desarrollar nuevas propuestas de investigación y desarrollo de tecnologías en el sector agrario del Perú.

Jorge Luis Maicelo Quintana, Ph. D.
Jefe del INIA





1. Resumen ejecutivo

El presente documento muestra información tecnológica como alternativa para la remoción o disminución de cadmio en suelos destinados a la agricultura, con el objetivo de dar a conocer las nuevas tecnologías, tendencias y líderes tecnológicos a nivel mundial.

Se ha identificado las principales invenciones en dos áreas de interés sobre la remoción y disminución de cadmio mediante componentes químicos y componentes biológicos. En el Perú existe una solicitud de patente, actualmente sin vigencia.

De la búsqueda de información para conocer los avances tecnológicos se encontraron 1201 invenciones y 1244 solicitudes de patentes, en los últimos 20 años. En este periodo se aprecia una tendencia al incremento de solicitudes e invenciones, siendo China el país líder, seguido por Japón, Corea del Sur y los Estados Unidos. Se resalta también la importancia que juegan las compañías privadas y universidades, como la empresa *Denki Kagaku Kogyo K.K.* y *Taiheiyo Cement Corporation* con doce invenciones cada una y *Sichuan Agricultural University* con cuarenta y seis invenciones.

Se identificaron 384 publicaciones científicas en la base de datos de publicaciones *Scopus*, donde se observa una evolución durante el periodo 2010 – 2020. Los países que lideran el ranking son China, seguido por Irán, India y los Estados Unidos. Las instituciones con más publicaciones científicas son: *Chinese Academy of Sciences* con 31 publicaciones, seguido



por *Ministry of Education of the People's Republic of China* y *Ministry of Agriculture of the People's of China* con 25 y 24, respectivamente.

Los 11 proyectos de investigación financiados por el FONDECYT están relacionados a tecnologías para la disminución de cadmio en cacao. Por otro lado, el programa Innóvate Perú ha financiado siete proyectos relacionados al objeto de búsqueda. El INIA¹ y Bioversity International, desarrollaron un proyecto financiado por la Secretaría Técnica de CGIAR² relacionado a la prevención y mitigación de cadmio en cacao. Finalmente, a junio de 2020, en el Perú se identificaron dos tesis y un artículo científico relacionado a la remoción y disminución de cadmio en cultivos.

1 INIA. Instituto Nacional de Innovación Agraria

2 CGIAR: *Consultative Group on International Research*



2. Vigilancia tecnológica

La vigilancia es una herramienta fundamental en el marco de los sistemas de gestión de I+D+i puesto que a través de ella se recolectan datos e información que son la base para generar conocimiento que serán utilizados en generar productos o procesos, nuevos o mejorados en función a las necesidades que identifiquemos. Mediante el proceso de vigilancia se detecta, difunde, comunica y explota la información técnica útil para la organización, alerta sobre las innovaciones científicas y técnicas que puedan generar oportunidades o amenazas³.

El proceso de la vigilancia orientado a tecnologías inicia con la identificación de las necesidades de la información, continua con la planificación, la búsqueda y tratamiento de la información, la puesta en valor y finaliza con la distribución y almacenamiento de los productos generados. El presente documento es un producto de la vigilancia tecnológica en un tema específico. El proceso de toma de decisiones a partir de este documento de vigilancia tecnológica permitirá obtener resultados que corresponden a procesos de inteligencia.

3 INACAL. Norma Técnica Peruana NTP 732.004 del 2019. Gestión de la I+D+i. Sistema de vigilancia e inteligencia. Requisitos. 2019.

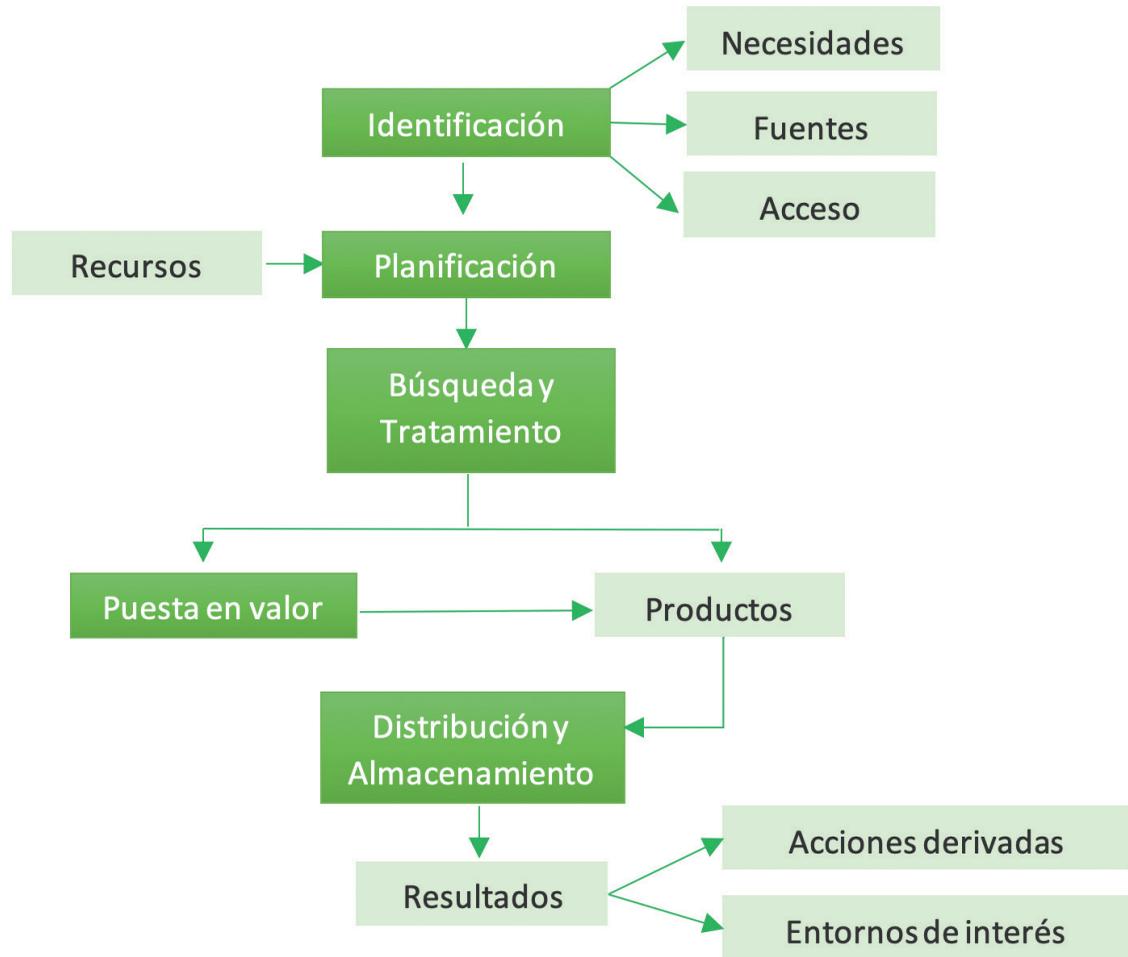


Figura 1. Proceso de Vigilancia e inteligencia. Fuente: INACAL. Norma Técnica Peruana NTP 732.004 del 2019. Gestión de la I+D+i. Sistema de vigilancia e inteligencia. Requisitos. 2019.



3. Metodología

Existe una amplia variedad de metodologías para realizar el proceso de vigilancia tecnológica. Para este estudio se tomó como referencia el proceso de Vigilancia e Inteligencia de la Norma Técnica Peruana NTP 732.004 del 2019.

- **Identificación:** Consiste en reconocer las necesidades de información, en este caso la búsqueda de información se basó en: Tecnologías de remoción y disminución de cadmio.
- **Planificación:** El presente documento fue realizado por especialistas en vigilancia tecnológica y revisado por especialistas del Instituto Nacional de Innovación Agraria para su aprobación.
- **Búsqueda y tratamiento:** La búsqueda de la información se realizó durante los primeros días de junio del 2020. Para el caso de patentes, se utilizó la base de datos de Patent Inspiration y Patentscope; para la búsqueda de publicaciones científicas se utilizó la base de datos *Scopus*[®] y Scielo. Para la búsqueda de proyectos financiados se utilizaron las bases de datos del CONCYTEC (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica), del PNIA e Innóvate Perú.



- **Puesta en valor:** Se realizó el análisis de la información en función a su pertinencia y aplicabilidad.
- **Distribución y almacenamiento:** Se realiza luego que el documento de Vigilancia Tecnológica esté concluido. El objetivo es el almacenamiento y el libre acceso del documento en el repositorio institucional del INIA.



4. Análisis de patentes

4.1 Búsqueda de patentes

Al utilizar la base de datos Patent Inspiration® (www.patentinspiration.com), se consideró patentes de enero del 2001 a diciembre del 2020. Las palabras clave se relacionaron a tecnologías para la remoción y disminución de cadmio (Cd); para la estrategia de búsqueda se emplearon los siguientes criterios:

- Campos de título, resumen y palabra clave: (Cadmi*)
- Se limitó el objeto de búsqueda a las siguiente Clasificación Internacional de Patentes: B09C: Remediación de Suelos Contaminados

4.2 Resultados

A diciembre del 2020, se encontró un total de 1201 invenciones (familias de patentes), de los cuales 757 corresponden a los últimos cinco años, 271 al periodo 2011-2015 y 173 al periodo 2001-2010. Además, se encontró un total de 1244 solicitudes de patentes de las cuales 809 corresponden a los últimos cinco años, 278 al periodo 2011-2015, y 157 al periodo 2001-2010 (Figura 2).

Se observa un constante crecimiento tanto en solicitudes como en invenciones, resaltando el período de los últimos cinco años (2016 – 2020), lo cual evidencia un mayor interés por parte de la academia y del sector empresarial en el desarrollo de tecnologías relacionado a la remediación o disminución de suelos contaminados con cadmio.

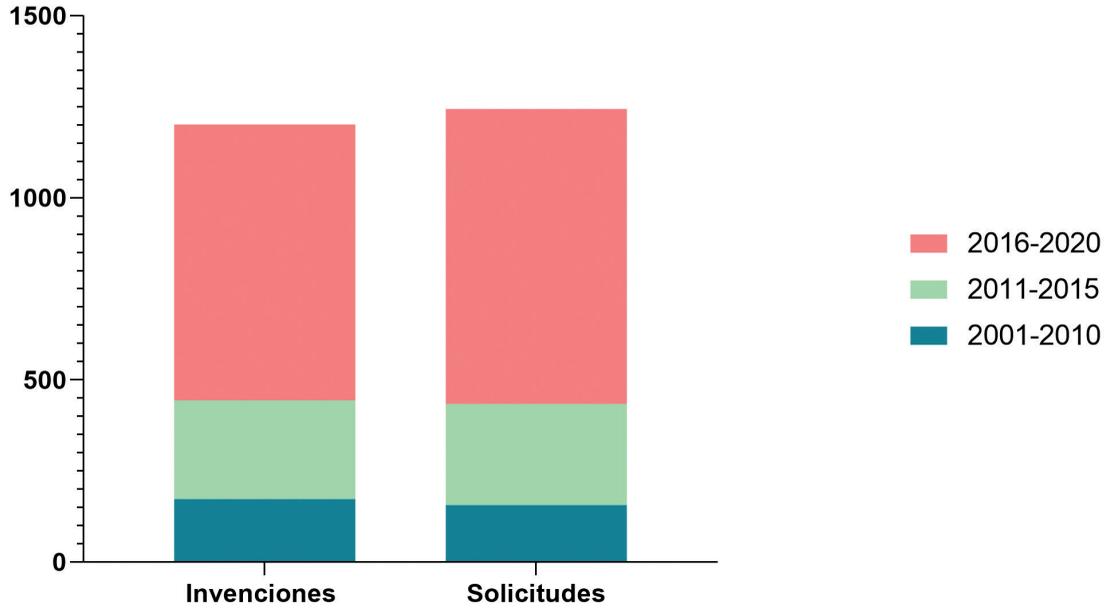


Figura 2. Análisis del acumulado de invenciones y solicitudes.

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Patent Inspiration

4.3 Ciclo de vida de patentes

El ciclo de vida de una patente refleja la evolución de una tecnología a través de los años. Se observa un incremento sostenido del número de invenciones y solicitudes de patentes durante los últimos años, llegando a 193 invenciones y 218 solicitudes en el 2019⁴ (Figura 3).

Este análisis indica que las tecnologías para la remoción y disminución de cadmio se encuentran en crecimiento, es decir, que las empresas e instituciones siguen desarrollando nuevas tecnologías y buscando mejoras, así como la protección de las mismas. Cabe mencionar que, a partir del 2016 el número de invenciones y

4 No se consideró el análisis del año 2020 debido a que las solicitudes de patentes suelen ser confidenciales al menos por 18 meses.

solicitudes ha tenido un incremento considerable, sin embargo, se observa que el número de invenciones y solicitudes son muy cercanos, lo que refleja que los solicitantes no buscan extender la protección de sus tecnologías otros países.

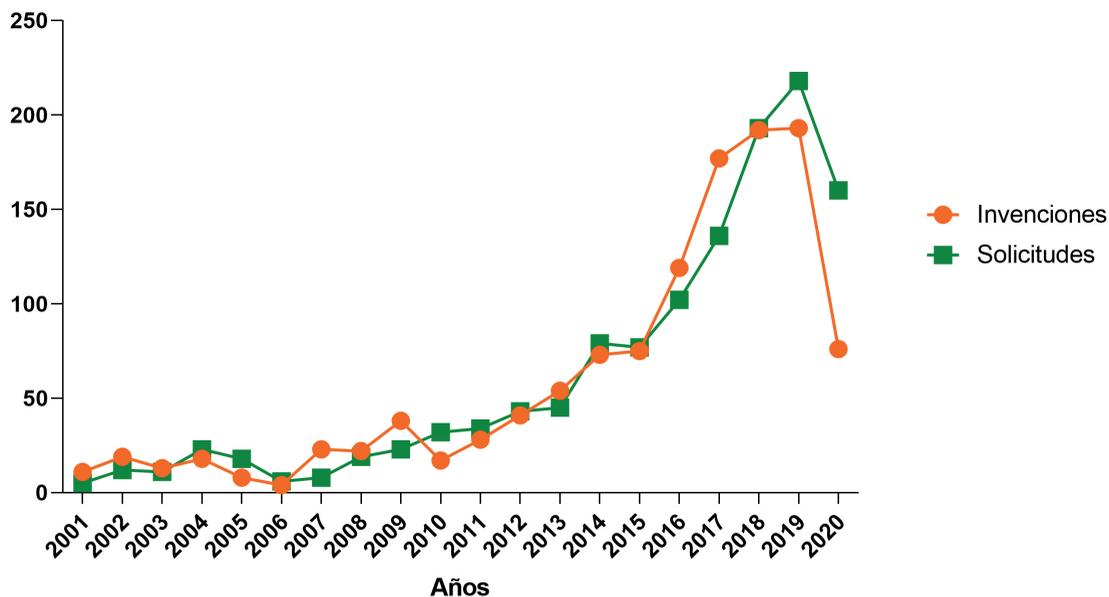


Figura 3. Análisis del Ciclo de Vida del número de invenciones y solicitudes de patentes.
Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Patent Inspiration

4.4 Países líderes

El análisis respecto al número de invenciones y solicitudes de patentes por país evidencia que la China sobresale respecto al resto de países. China cuenta con 590 invenciones y 606 solicitudes de patentes, seguido por Japón y Corea del Sur con 97 y 19 invenciones, respectivamente, así como 106 y 19 solicitudes de patentes (Figura 4 y 5).

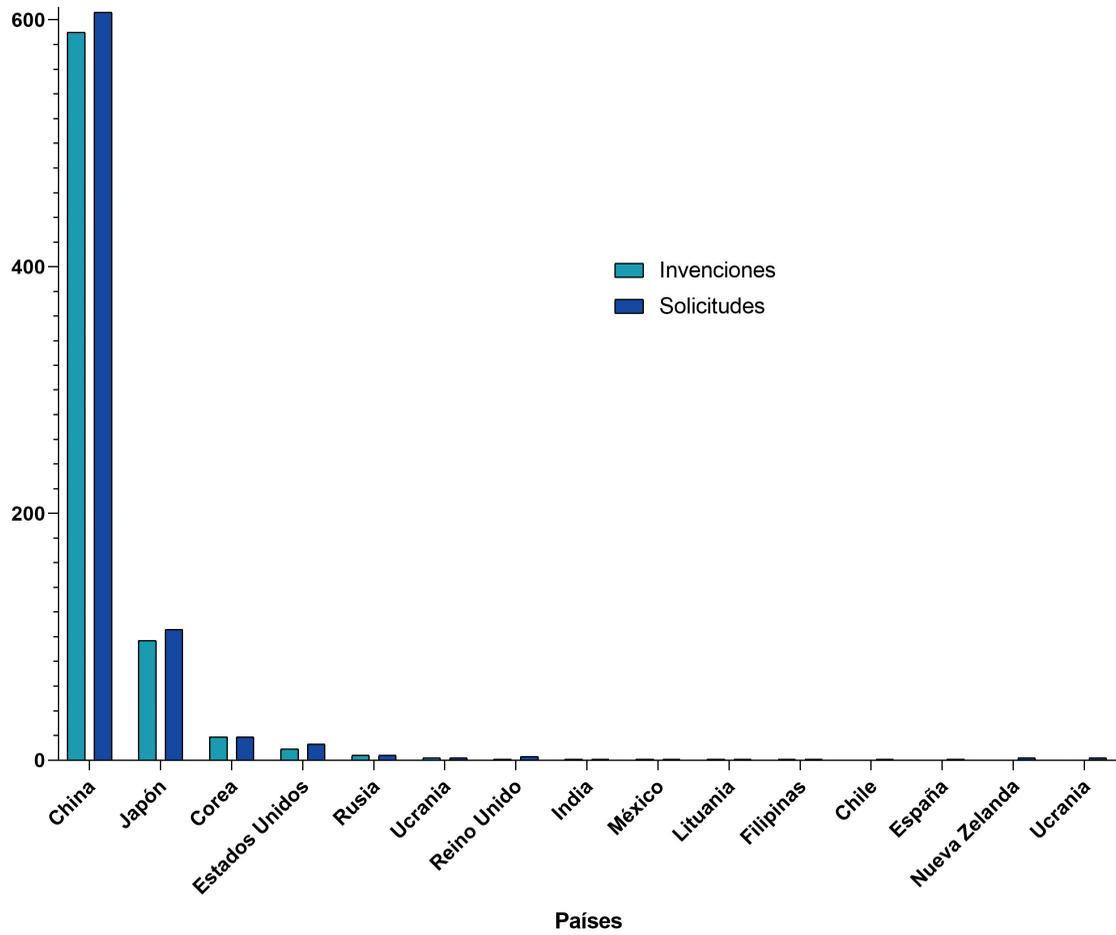


Figura 4. Análisis del Ciclo de Vida respecto al número de invenciones y solicitudes de patentes en cada país.
Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Patent Inspiration.

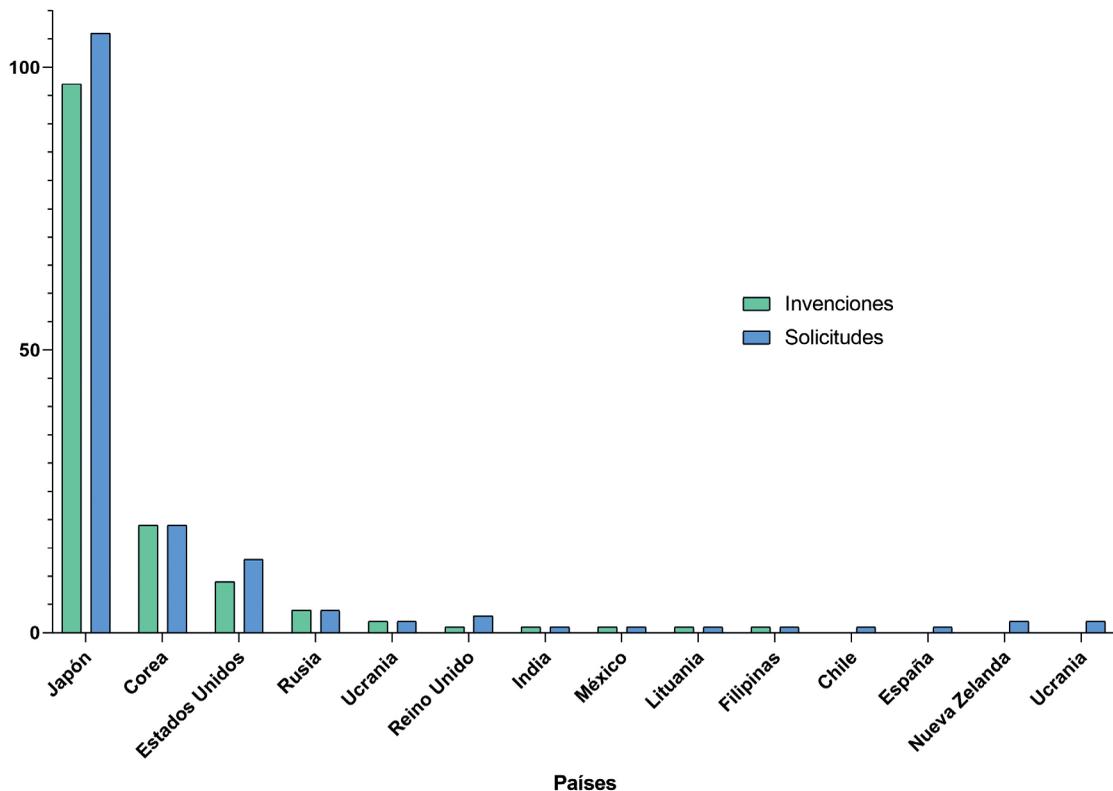


Figura 5. Análisis del Ciclo de Vida respecto al número de invenciones y solicitudes de patentes en cada país, no incluye a China.
Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos *Patent Inspiration*.

4.5 Líderes tecnológicos en patentes

4.5.1 Compañías líderes

En el ámbito internacional, *Denki Kagaku Kogyo K.K.* y *Taiheiyo Cement Corporation* son las compañías que lideran con 12 invenciones relacionadas al cadmio. Como se puede observar las principales compañías con el mayor número de invenciones en este tema son de nacionalidad japonesa y china. Cabe resaltar que existen 339 compañías con tan solo una invención, 60 con dos y 39 con tres a más invenciones (Figura 6). Esto puede indicar que las compañías generalmente no se orientan en internacionalizar estas invenciones sino que protegen únicamente el o los procesos o productos que vienen utilizando.

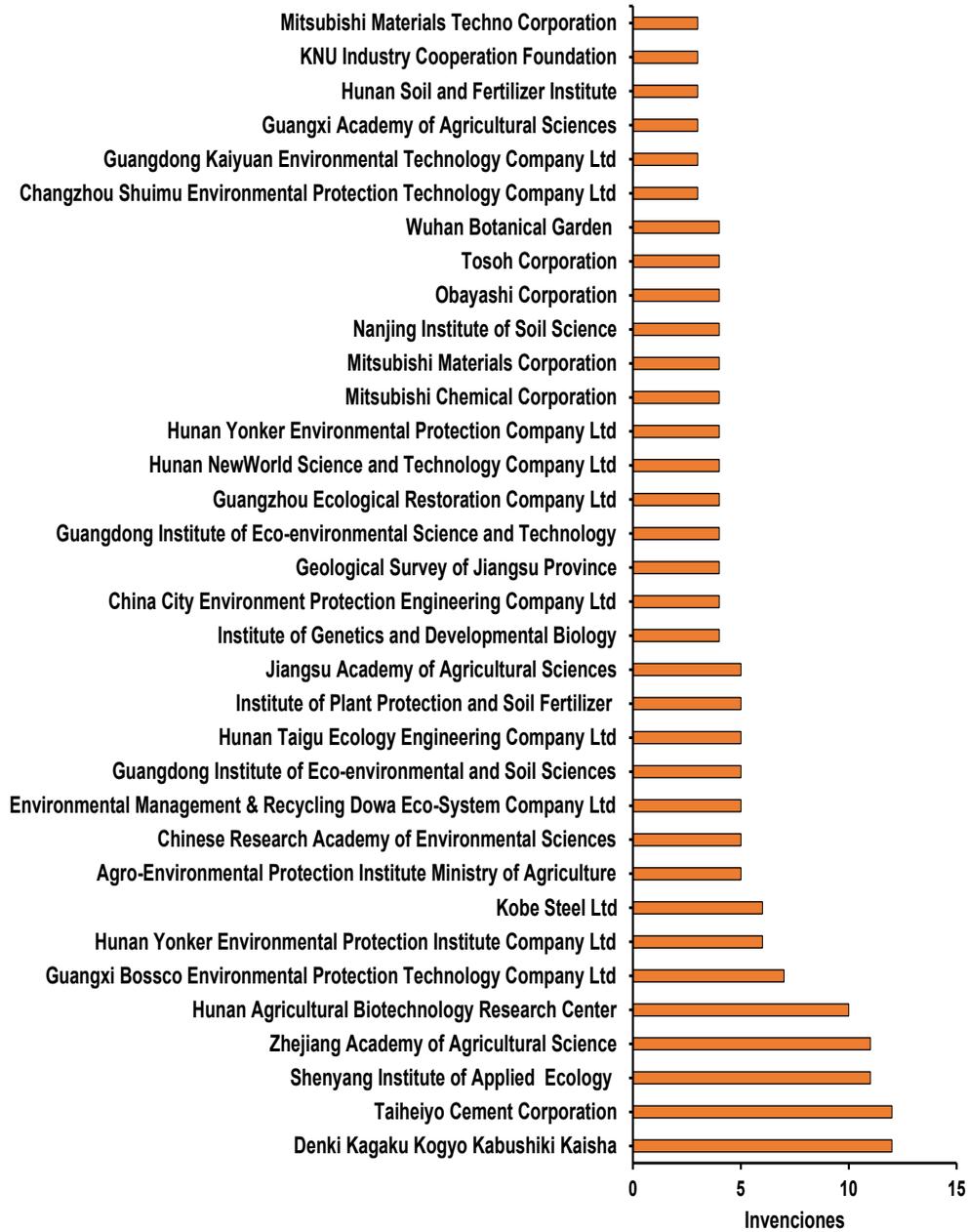


Figura 6. Compañías líderes en el desarrollo de invenciones relacionadas a tecnologías de remoción de cadmio.

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos *Patent Inspiration* (2020).

4.5.2 Instituciones líderes

China es el país que lidera el grupo de universidades e instituciones de investigación con el mayor número de invenciones. *Sichuan Agricultural University* (China) cuenta con 46 invenciones, seguida por *Hunan Agricultural University* con 28 invenciones. Así mismo, se observa que 93 universidades e instituciones de investigación poseen dos a más invenciones cada una y, 109 cuentan con una sola invención, lo que demuestra un interés especial en dicho país por el desarrollo de tecnologías para la remoción de cadmio en suelos de cultivo (Figura 7).

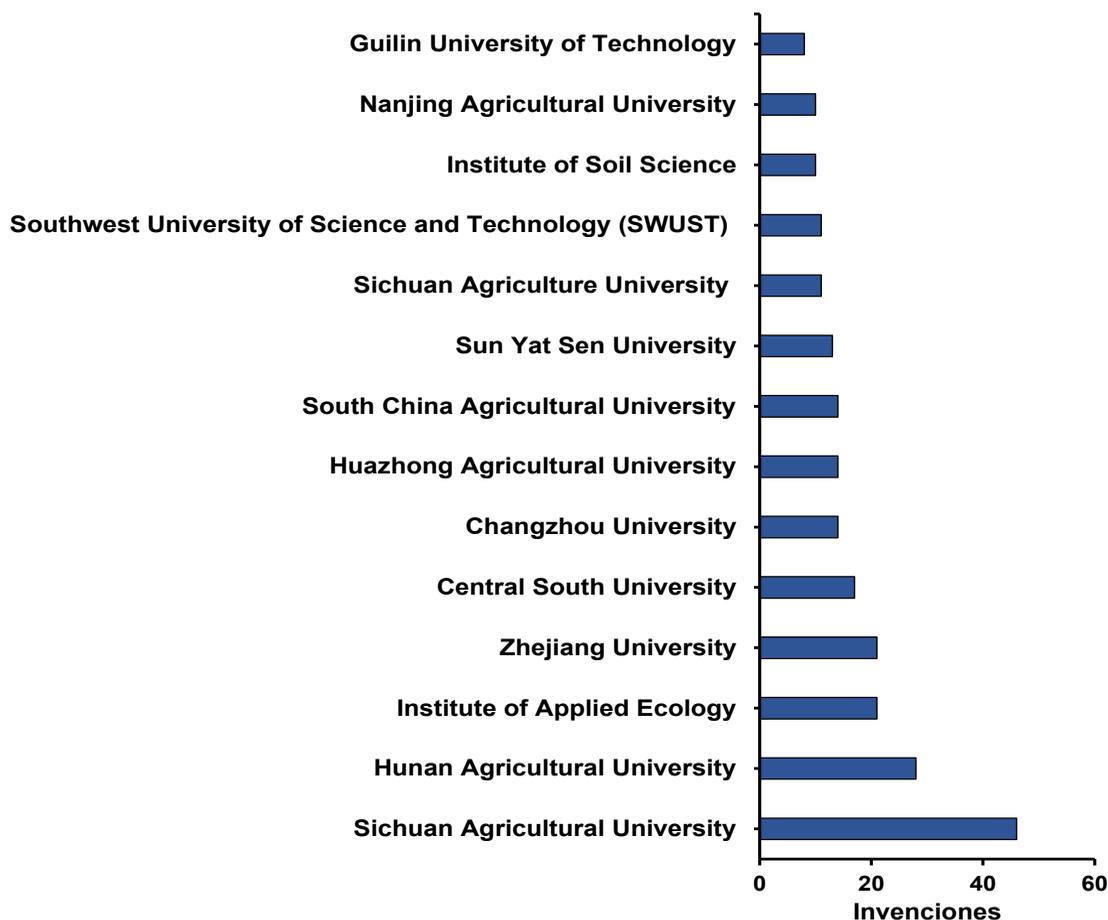


Figura 7. Instituciones líderes en el desarrollo de invenciones.

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos *Patent Inspiration*.

4.6 Principales tecnologías

Se han identificado las principales invenciones para la remoción y disminución de cadmio en dos áreas de interés mediante: componentes químicos y componentes biológicos.

4.6.1 Remoción y disminución de cadmio mediante componentes químicos

Existen diversas invenciones para la remoción de cadmio mediante componentes químicos como el uso de pasivadores, fertilizantes, fijación química de metales pesados, manejo de residuos de cultivos, manejo de electrones, agentes quelantes, derivados de arcilla, residuos fosfatados y dispersores, entre otros componentes; así como métodos para disminuir el cadmio principalmente en cultivos de arroz y tabaco; estas invenciones pueden ayudar a desarrollar innovaciones en la remoción del cadmio en el cultivo de cacao en el Perú (Anexo 1).

El documento de patente **CN110423618A** titulada *“Composite passivator for effectively reducing cadmium in rice and preparation and application methods of composite passivato”*, desarrolla un compuesto pasivador para reducir eficazmente el cadmio en el cultivo de arroz y los métodos de preparación y aplicación. El pasivador está formado por 150 partes de biomasa de carbono, dos partes de fosfatos de dihidrógeno de potasio, nueve partes de ácido carbónico y nueve partes de sepiolitas, logrando reducir eficazmente el cadmio en el arroz en un rango de disminución del 40 – 51 %, sin la reducción del rendimiento del cultivo.

El documento de patente **CN110408407A** titulada *“Cadmium passivating agent for tobacco planting soil and preparation method thereof”*, elaboró un agente pasivador que precipita con el cadmio, reduciendo su disponibilidad en el suelo y su absorción por la planta de tabaco. Se reduce sustancialmente el contenido de cadmio en el suelo una semana después de su aplicación.

El documento de patente **CN110257073A** titulada *“Rice cadmium reducer and application method thereof”*, describe el uso de un fertilizante como agente reductor de cadmio en el arroz, así como el método de administración. Este fertilizante es utilizado en los campos del cultivo de arroz durante la etapa inicial de macollamiento. Se logra que la

concentración de cadmio en el cultivo de arroz se reduzca en un 30 – 60 %, debido a la capacidad de adsorción que tiene el fertilizante.

El documento de la patente **AU2019100801A4** titulada *“Method for controlling heavy metal contamination of peanut”*, reduce significativamente la biodisponibilidad y el contenido de metales pesados (cadmio, cromo, plomo, cobre y zinc) en el suelo, mediante una tecnología de control combinado con fijación química durante la siembra de maní y la fitorremediación después de su cosecha, de modo que el contenido de metal pesado en el grano de maní se reduce considerablemente.

El documento de patente **CN110063224A** titulada *“Safe production crop rotation mode of spring open field watermelons and autumn sweet corns in cadmium polluted area”*, se basa en un patrón de rotación de cultivos, donde el segundo cultivo (maíz) aprovecha los residuos del primer cultivo (sandía). Este sistema de manejo puede mejorar la utilización de tierras de cultivo en áreas contaminadas por cadmio, respetando los límites de cadmio en cultivos.

El documento de patente **US2018237693A1** con título *“Heavy metal cadmium deactivator for activating activity of sulfur-reducing bacteria in rice field soil, and application thereof”*, refiere a un desactivador de cadmio constituido de lanzaderas de electrones o una combinación de lanzaderas de electrones con donadores de electrones. De esta forma, se acelera el proceso de reducción de azufre y hierro en el suelo para facilitar la fijación del cadmio. La absorción y acumulación de cadmio se ve reducida en el arroz, de esta forma se logra una producción segura en campos moderadamente o ligeramente contaminados por cadmio.

El documento de patente **CN108405594A** con título *“Acid cadmium polluted soil conditioning method for restraining rice cadmium accumulation”*, refiere que, en un suelo ácido contaminado con cadmio, se utiliza el método de opsonización para inhibir la acumulación de cadmio en el arroz con cáscara. Se emplea un fertilizante alcalino (fosfato cálcico) que es vertido uniformemente sobre el suelo ácido contaminado con cadmio, luego se usa estiércol y se mezcla, y posteriormente se hace el trasplante de arroz, logrando la reducción de cadmio en el suelo en 48.6 %.

4.6.2 Remoción y disminución de cadmio mediante componentes biológicos

Existen diversas invenciones y solicitudes de patentes relacionadas a la remoción de cadmio mediante componentes biológicos (Anexo 2).

El documento de patente **CN110468080A** con título “*Microorganism microbial agent for promoting growth of rice and reducing cadmium and preparation method and use method of microorganism microbial agent*”, describe un agente inoculante microbiano para promover el crecimiento del arroz y la reducción de cadmio, así como, el método de preparación y uso del mismo. Esta invención consiste en un tratamiento microbiano para reducir la contaminación por metales pesados. Los inoculadores utilizados para esta patente son: *Listeria grayi*, *Burkholderia* spp., *Pseudomonas stutzeri*, *Bacillus subtilis* y *Micromonospora echinospora*, que han demostrado una influencia activa en la absorción de cadmio para el crecimiento del arroz. El agente bacteriano microbiano, proporcionado por la invención, tiene y promueve la potencialidad de crecimiento del arroz (32.90 %). Además, puede reducir efectivamente la concentración de cadmio en el tallo y hojas en un 79 % y 90 %, respectivamente.

El documento de patente **CN110408407A** con título “*Cadmium passivating agent for tobacco planting soil and preparation method thereof*”, describe un tipo de pasivador de cadmio para el suelo del cultivo de tabaco y el método de preparación del mismo. Este pasivador precipita con el cadmio, reduciendo efectivamente el cadmio disponible en el suelo después de una semana de su aplicación y en la cosecha de tabaco como consecuencia del mismo.

El documento de patente **AU2019100801A4** con título “*Method for controlling heavy metal contamination of peanut*”, describe el método para controlar la contaminación por metales pesados en maní. Este método reduce la biodisponibilidad y el contenido de metales pesados (cadmio, cromo, plomo, cobre, zinc) en el suelo mediante una tecnología combinada de fijación química (durante la siembra de maní) y la fitorremediación (después de cosechar maní), consiguiendo de esta forma que el contenido de metales pesado en el grano de maní se reduzca considerablemente.

El documento de patente **CN109848205A** con título “*Method for reducing cadmium accumulation in lettuce by applying Solanum photeinocarpum Straw*”, describe el método para la aplicación de *Solanum photeinocarpum*, el cual reduce la acumulación de cadmio en la lechuga romana. Esta invención promueve el crecimiento de la lechuga romana y reduce significativamente la acumulación de cadmio en esta. Los resultados mostraron que, la reducción de cadmio ha sido significativa, donde se ha llegado a obtener 10 mg/kg como máximo valor del cadmio en el sitio de siembra de lechuga romana y disminución de la concentración de cadmio en la parte aérea de la misma.

El documento de patente **CN107488620A** con título “*Cadmium-contaminated paddy field soil microbial passivating agent*”, describe un tipo de pasivador microbiano para un arrozal contaminado con cadmio donde el pasivador contiene: *Pseudomonas alcaligenes*, *Bacillus subtilis*, bacterias reductoras de sulfato; nutrientes y portadores de estos microorganismos. Se resalta que, la aplicación de esta tecnología es de costo bajo, fácil de operar y su aplicación es de gran valor, ya que esta invención ha mostrado que reduce la absorción del ion cadmio en el arroz por la aplicación del pasivador.

El documento de patente **CN106914488A** con título “*Soil restoring agent for cadmium pollution paddy field and application*”, describe a un agente de reparación del suelo conformado por: despojos de carbón, sepiolita, diatomita, polvo quemado ligero, cal, fosfato de calcio y magnesio, y fertilizante de zinc. El agente de reparación del suelo se rocía uniformemente y se forma una mezcla con el suelo lo suficiente para abarcarlo en su totalidad. Se observó una alta eficiencia, donde se obtuvo que la cantidad de aplicación de la invención es de 100 – 300 kg / mus para restaurar un arrozal contaminado con cadmio.

El documento de patente **CN106424130A** con título “*Restoration method for cadmium-contaminated rice field*”, describe un método de restauración para un arrozal contaminado con cadmio, mediante la siembra previa de *Sedum plumbizincicola* la que es eliminada luego de un cierto tiempo para luego sembrar arroz. Al arrozal se le incluye biochar y luego de la cosecha de arroz, se detecta el contenido de cadmio en el campo y en los granos de arroz. Gracias a la solidificación del biochar se logra una tasa de eliminación adecuada para el cadmio en los arrozales.



5. Análisis de publicaciones científicas

5.1 Búsqueda de publicaciones científicas

Se utilizó principalmente la base de datos *Scopus*[®] (*scopus.com*); para la estrategia de búsqueda se empleó los siguientes criterios de búsqueda, campos de título, resumen y palabras clave:

TITLE-ABS-KEY ((soil OR suelo OR farm) AND (cadm* W/3 (regen* OR remed* OR remov* OR elimin*))) AND PUBYEAR > 2000 AND PUBYEAR < 2021 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI"))

5.2 Resultados

Se encontró un total de 384 publicaciones relacionadas a la remoción y disminución de cadmio en suelos de cultivo. Se observa un incremento en materia de producción científica durante los últimos años, pasando de 49 a 67 publicaciones en los años 2019 y 2020, respectivamente. Del periodo 2011 – 2020 se encontraron 292 publicaciones, reportándose el menor registro en el año 2013 (Figura 8, Anexo 3).

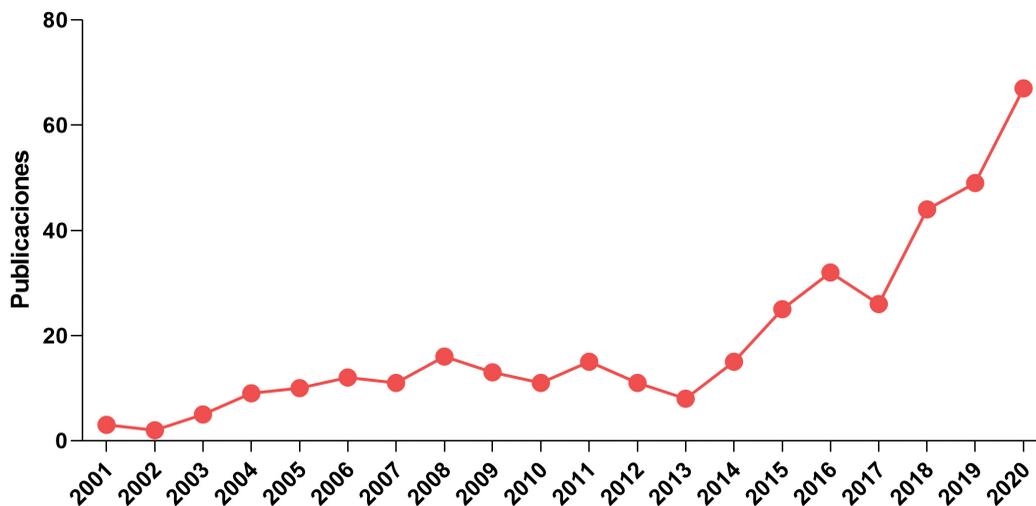


Figura 8. Total de publicaciones científicas anuales relacionadas a la remediación de suelos de cultivos contaminados por cadmio.

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Scopus

Del análisis en materia de producción científica por país, sobresale China con 201 publicaciones, seguido por India con 30, Irán con 22 y los Estados Unidos con 20. El único país de América Latina que sobresale es Brasil con 6 publicaciones (Figura 9).

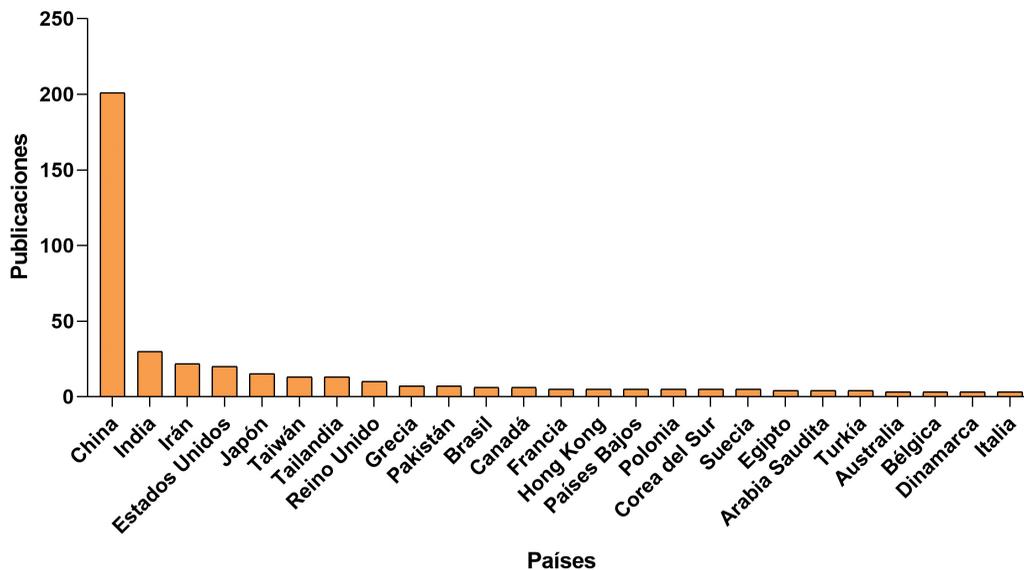


Figura 9. Países líderes en materia de producción científica.

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Scopus.

Las instituciones líderes en publicaciones científicas son *Chinese Academy of Sciences* con 31, seguido por *Ministry of Education of the People's Republic of China* con 25 y el *Ministry of Agriculture of the People's Republic of China* con 24. Por otro lado, *Sichuan Agricultural University* solo cuenta con seis publicaciones siendo la última de las doce primeras instituciones que lideran el ranking internacional.

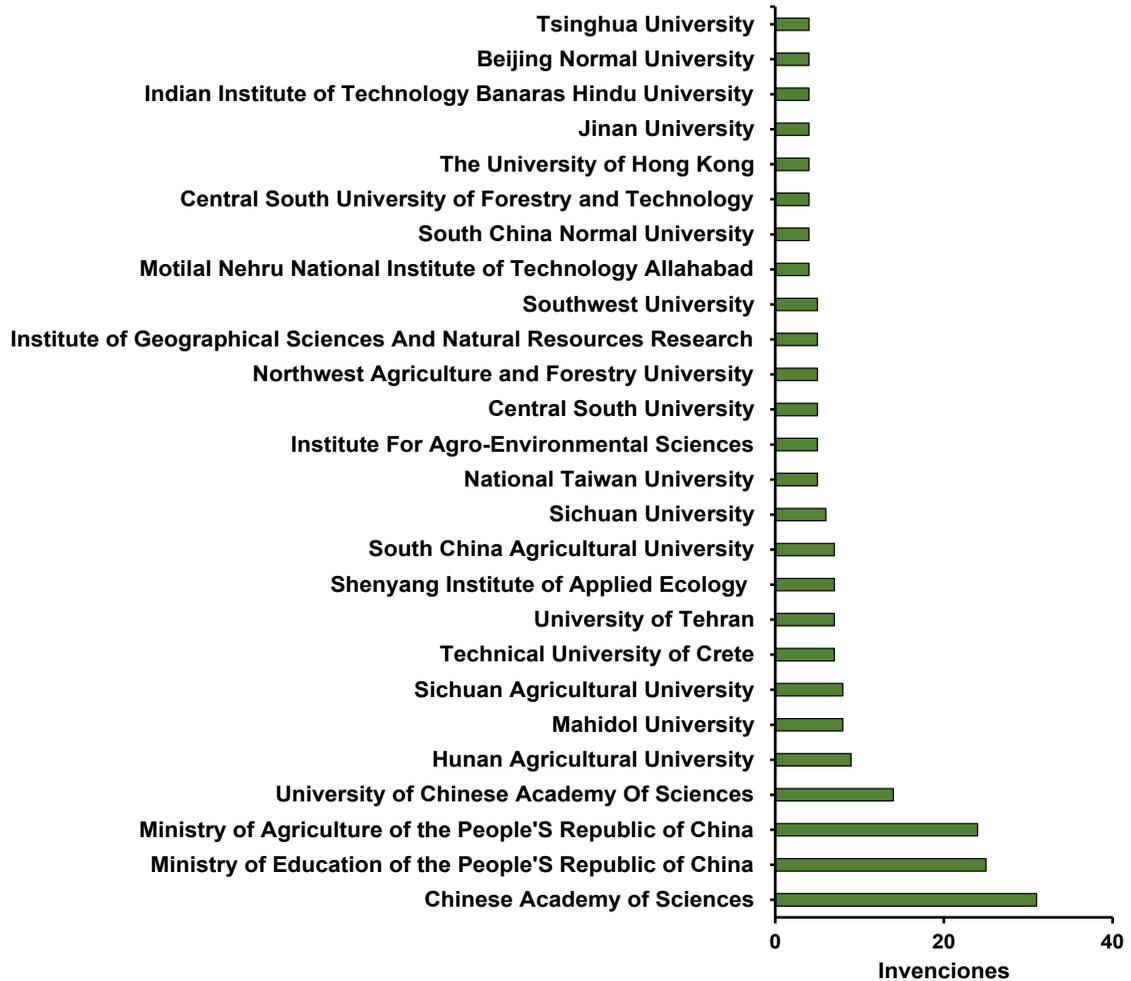


Figura 10. Instituciones líderes en materia de producción científica.
Fuente: Elaboración propia a partir de Scopus.



6. Contexto tecnológico nacional

6.1 Solicitudes de patentes

De la búsqueda realizada durante el periodo 2001 – 2020, solo se ha identificado un registro de solicitud de patente en el Perú⁵, presentado el 14 de julio del 2012 por el solicitante ABBA GAIA, S.L. (España), expediente con estado actual caduco.

Esta solicitud de patente con código PCT/ES2009/070080, titulada “*Método de recuperación de espacios degradados mediante uso de especies vegetales genéticamente modificadas*”, está basada en la búsqueda y elección de vegetales silvestres adaptados a condiciones edafológicas severas en suelos contaminados por elementos contaminantes, que tengan capacidad de sobrevivir en la mayor parte del mundo y que no puedan entrar en la cadena trófica. Su transformación genética aumenta su capacidad de almacenamiento y velocidad de absorción de metales, así como favorece que dicha absorción abarque la mayoría de los elementos contaminantes o nocivos.

⁵ <https://servicio.indecopi.gob.pe/portaSAE/Expedientes/consultaOIN.jsp?pListar=&pNroExpediente=1739&pAnioExpediente=2011&pCaptcha=8vh6>

6.2 Instituciones financieras de proyectos de I+D+i:

6.2.1 FONDECYT

El Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica – FONDECYT, es una iniciativa del CONCYTEC encargada de captar, gestionar y canalizar recursos para financiar proyectos de investigación, desarrollo e innovación. A la fecha de presentación de este estudio, el FONDECYT ha financiado 11 proyectos relacionados a la remoción de cadmio en cultivos de cacao (Anexo 4).

6.2.2 Innóvate Perú

El programa busca incrementar la productividad empresarial a través del fortalecimiento de los actores del ecosistema de la innovación (empresas, emprendedores y entidades de soporte) y facilitar la interrelación entre ellos. A la fecha de presentación de este estudio, ha financiado siete proyectos relacionados a la remoción de cadmio en cultivos (Anexo 5).

6.3 Tesis y publicaciones

De la búsqueda realizada en el periodo 2010-2019 se identificaron un artículo científico con afiliación a la Universidad Nacional Agraria La Molina y dos tesis de pregrado, una afiliada a la Universidad Nacional de la Selva y otra a la Universidad Nacional de Cajamarca (Anexo 6).

6.4 Proyectos desarrollados en el INIA

El INIA realizó un proyecto de investigación titulado “Estudio sobre la prevención y mitigación de la acumulación del cadmio en cacao mediante un mejor uso de la diversidad genética, inoculación de micorrizas y manejo del suelo”, desarrollado en alianza con *Bioversity International* en colaboración con la Cooperativa Agraria Norandino, Inkan Negro, Bioxlab S.A.C., Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Universidad Nacional de Piura (UNP) y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (ex MINAGRI). Este proyecto fue presentado a la convocatoria 2017 de la Secretaría Técnica de Cooperación del CGIAR ⁶.

6 CGIAR: *Consultative Group on International Research*

Se observa una disminución porcentual significativa de cadmio (en ppm) respecto al uso de biochar. Asimismo, el uso de biochar – levadura también disminuye este porcentaje, sin embargo, esta disminución no es tan marcada como en el primer caso, encontrándose relativamente cerca a los valores de la muestra control. Por otro lado, los fertilizantes disminuyen ligeramente estas concentraciones, pero tienen menor eficacia que el uso de biochar (Figura 11).

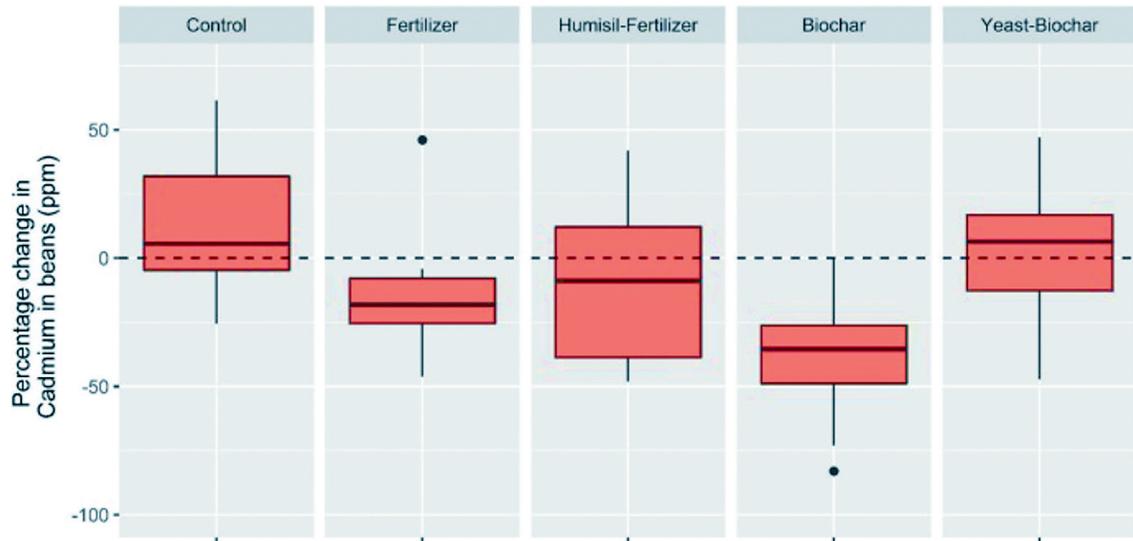


Figura 11. Cambio porcentual del cadmio en granos seis meses después de la aplicación de enmiendas.

Fuente: Cámara Peruana del Café y Cacao. Convenio Nacional del Café y Cacao 2019. Visto en: <https://camcafeperu.com.pe/convencion/>

A mediano plazo, el cadmio no se acumula por igual en las diferentes especies de plantas, ni en las diferentes variedades y genotipos; y, el cacao no es una excepción, la variabilidad de acumulación de cadmio en los genotipos de cacao es diferente. Los genotipos de muy alta absorción presentan mayor acumulación de cadmio y su descenso es progresivo, según el genotipo.

Un ejemplo de estudio a largo plazo es la identificación de genotipos nativos de baja acumulación de cadmio para ser empleados como patrones. En este estudio se muestrearon plantas nativas de cacao en diversos departamentos del Perú donde se desarrolla el cacao nativo. En este proyecto los especialistas del SENASA realizaron ocho viajes de muestreo a los departamentos de Tumbes, Piura, Cajamarca, Amazonas, Pasco, Junín, Cusco, Ayacucho, Huánuco, Madre de Dios, Ucayali, y San Martín. Las muestras conformadas por suelo, micorrizas, hojas y

frutos de 1023 plantas de cacao de 193 fincas, fueron analizadas por el SENASA, INIA, SGS y la UNALM (Figura 12).

Este proyecto identificó que, en Cusco, la mayoría de las cuantificaciones presentaron menores concentraciones de cadmio en granos de cacao (Figura 13). También se evidenció una menor concentración de este metal en la región de Piura a diferencia de otros departamentos.

Las investigaciones de corto, mediano y largo plazo están orientadas a generar innovaciones en el manejo de cacao, con la finalidad de reducir los niveles de absorción de cadmio, y aportar al comercio sostenible del cacao peruano. Por último, el proyecto busca validar la posibilidad de usar el marcador genético TC-SNP636 para detectar la capacidad genética de los genotipos de cacao con el fin de disminuir la acumulación de cadmio en tejidos, principalmente aéreos.

Largo plazo:

Identificado de genotipos nativos de baja acumulación para usarlos como padrón

- 8 viajes de campo con técnicos de SENASA (Tumbes, Piura, Cajamarca, Amazonas, Junín, Pasco, Cusco, Ayacucho, Huánuco, Ucayali y Madre de Dios, Ahora San Martín)
- Muestreo de 1023 árboles en 193 fincas (suelo, microrrizas, hoja y fruto)
- Capacitación de > 60 técnicos en 10 regiones
- Muestras procesadas y analizadas por SENASA, INIA, SGS, y UNALM.



Figura 12. Identificación a largo plazo de genotipos nativos de baja acumulación de cadmio para uso como patrón. Fuente: Cámara Peruana del Café y Cacao. Convenio Nacional del Café y Cacao 2019. Visto en: <https://camcafeperu.com.pe/convencion/>

Identificado de posibles genotipos para uso como patrón

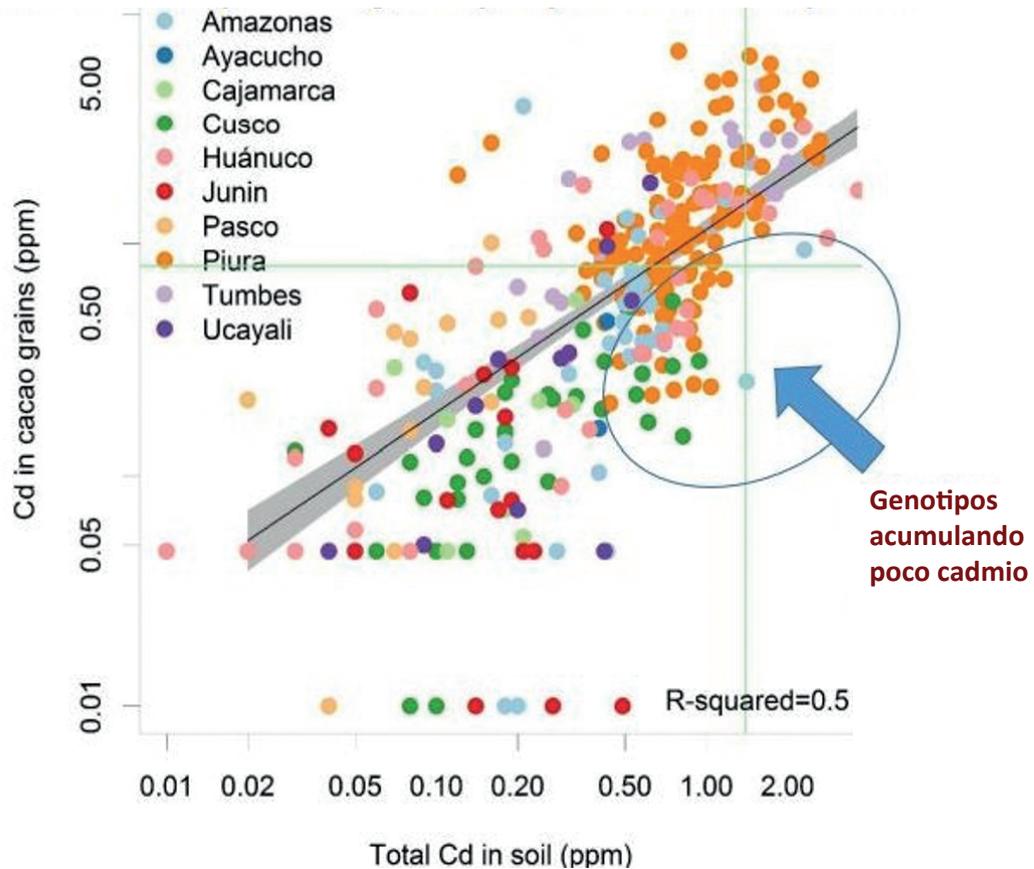


Figura 13. Identificación de genotipos que posiblemente tengan capacidad de ser empleados como patrón para reducir la absorción de cadmio.

Fuente: Cámara Peruana del Café y Cacao. Convenio Nacional del Café y Cacao 2019. Visto en: <https://camcafeperu.com.pe/convencion/>



7. Conclusiones

- Respecto al desarrollo de tecnologías, China y Japón son los países líderes en invenciones y solicitudes de patentes relacionadas a la remoción y disminución de cadmio en suelos de cultivo; asimismo, entre las compañías privadas y universidades destacan *Denki Kagaku Kogyo K.K.* (Japón) y *Taiheiyo Cement Corporation*, así como la *Sichuan Agricultural University* (China), respectivamente.
- Del análisis sobre el número de invenciones y solicitudes de patentes se observó que las compañías generalmente no se orientan en internacionalizar sus invenciones, sino que protegen únicamente el o los procesos y productos que vienen utilizando. Las invenciones y solicitudes de patentes identificadas se basan principalmente en dos áreas de interés: a) la remoción y disminución de cadmio mediante componentes químicos y, b) la remoción y disminución de cadmio mediante componentes biológicos.
- Respecto a las publicaciones científicas, se evidenció una tendencia al incremento destacándose China como el país líder, seguido por India, Irán y los Estados Unidos.
- Respecto al contexto tecnológico nacional, solo existe una solicitud de patente en el Perú sin vigencia en la actualidad. Asimismo, existen 11 proyectos financiados por FONDECYT relacionados a disminuir el cadmio en cacao y siete proyectos

financiados por Innóvate Perú. Se encontraron dos tesis y un artículo científico relacionado al cadmio en el sector agrícola. Finalmente, se encontró un proyecto realizado por el INIA relacionado a la prevención y mitigación del cadmio en cacao mediante un mejor uso de la diversidad genética, inoculación de micorrizas y manejo del suelo.

Anexos

Anexo 1. Remoción y disminución de cadmio en suelos para cultivo utilizando componentes químicos.

Número de publicación	Título en idioma original	Resumen	Solicitante
CN108277009A	<i>Blueberry cultivating soil repairing agent as well as preparation method and application thereof.</i>	La invención muestra un agente reparador del suelo, que se encuentra conformado por la materia prima de partes de <i>Disporopsis aspera</i> (acacetina), <i>Rabdosis rubescens</i> , suspensión de coco, entre otras. Muestra datos favorables en la reducción de cadmio del suelo para el cultivo de arándanos.	<i>Ma Jun.</i>
CN107033920A	<i>Heavy metal passivator for remediating cadmium contamination in rice field and preparation method and application thereof</i>	El pasivador está compuesto por: ácido húmico soluble, polvo de hierro nanométrico, agentes nutricionales, promotor, cal, fosfato de potasio y agua. Este logró obtener una disminución del contenido de cadmio en los cultivos de arroz.	<i>Tepp Environment Technology Co. Ltd.</i>
CN106590678A	<i>Clay mineral-based trace element regulator used for treating rice field cadmium pollution</i>	Un regulador de oligoelementos basado en minerales de arcilla es usado para tratar la contaminación por cadmio en los campos de arroz. El regulador de oligoelementos contiene EDTA (Na ₂ Mn), dióxido de silicio, sulfato de zinc, sulfato de magnesio, sulfato ferroso, óxido de calcio y mineral de arcilla). Se demostró que la biodisponibilidad del cadmio en el suelo se reduce con la aplicación de esta técnica y consecuentemente se disminuye la concentración de cadmio en el arroz.	<i>Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences.</i>
CN106424115A	<i>In-situ passivation remediation method for cadmium polluted rice soil</i>	Se describe un método de remediación de pasivación <i>in situ</i> en arrozales contaminados con cadmio. Se emplea una mezcla de sepiolita, lodo rojo y turba, que se dispersa y mezcla en el suelo del arrozal contaminado con cadmio. Posteriormente, se realiza el riego y trasplante de arroz, que es manejado de acuerdo con las labores agrícolas normales del cultivo. Los resultados mostraron que el método propuesto tiene una alta estabilidad al momento de reducir el cadmio en los arrozales.	<i>Hunan Modern Environmental Technology Co Ltd.</i>
CN105964676A	<i>Method for reducing accumulation of heavy metal in rice plants through biodegradable chelating agent</i>	Se refiere a un método para reducir la acumulación de metales pesados en las plantas de arroz. Consiste en la dilución en agua del ramnolípido del agente quelante biodegradable de modo que se obtiene un diluyente que es aplicado al campo de arroz dos veces, logrando reducir el contenido de metales pesados de los granos de arroz. Los resultados demostraron que 1 mol del producto tiene el poder de complejidad máxima de 0.2 mol de Cd ²⁺ .	<i>Hengshan Shaoxiang Agricultural Development Co. Ltd.</i>

Número de publicación	Título en idioma original	Resumen	Solicitante
CN105838383A	<i>Treatment method for phosphated residues, soil restoration agent and method for reducing content of cadmium in rice</i>	<p>La invención proporciona un método de tratamiento para residuos fosfatados y un agente de restauración del suelo con los efectos de adsorción y fijación de iones de metales pesados, especialmente cadmio. El agente de restauración del suelo fue preparado mezclando residuos fosfatados, que contienen azufre, ácido sulfámico, ácido húmico y arcilla silicatada. Se debe resaltar que el agente de restauración del suelo es bajo en costo.</p> <p>La invención dio como resultado la eliminación de iones de metales pesados y concentración de cadmio en el suelo, mejorándolo a través del agente de restauración para plantar el arroz.</p>	<i>Shanghai Lichang Environment Engineering Co. Ltd.</i>
CN105598157A	<i>Method for reducing cadmium content in tobaccos</i>	<p>Un producto preparado en base a una solución de silicato de sodio y dihidrógeno fosfato de potasio, el cual se rocía uniformemente en el suelo. Posteriormente la zeolita y la lignina alcalina son mezcladas e incorporadas al suelo por medio de un arado profundo; esto permite la mezcla homogénea de todos los productos utilizados, quedando listo el suelo para la instalación del cultivo de tabaco. El método sirve para reducir el contenido de cadmio, específicamente en las hojas de tabaco.</p>	<i>Changsha Company of Hunan Tobacco Company; Hunan Agricultural University.</i>
CN105521991A	<i>Combined remediation method for cadmium – polluted paddy field soil by drying and wetting control in combination with electrodynamic force and hyperaccumulators</i>	<p>Un método combinado de remediación para suelos de arrozales contaminados con cadmio es descrito En primer lugar, se forma un proceso de secado con alternancia de humectación (riego ahorrador de agua) para promover la transformación del cadmio en el arrozal en una forma disponible para la planta. Luego se promueve la migración de cadmio de forma disponible soluble en agua a una región del cátodo en forma de suministro de energía solar. El método puede promover la transformación y absorción de metales pesados (en especial cadmio), logrando la remediación en suelos ligeramente contaminados. La remediación en suelos ligeramente contaminados.</p>	<i>Hohai University.</i>
CN104874601A	<i>Competitive-adsorption – based in-situ quick restoration method for cadmium-polluted paddy field.</i>	<p>La invención describe un método de restauración rápida <i>in situ</i> para arrozales contaminados con cadmio. Para ello, se realiza una solución acuosa de un agente complejante, el cual se rocía en el suelo del arrozal contaminado con cadmio. Los iones de cadmio se disuelven en el agua y se libera un agente complejante, el cual es usado en los arrozales. El método ahorra energía, es rápido y beneficioso con el medio ambiente para los arrozales contaminados por el cadmio.</p>	<i>Tianjin Polytechnic University.</i>
CN104772330A	<i>Method for separating harmful heavy metals in paddy field</i>	<p>Se describe un método para separar metales pesados nocivos en arrozales. Para ello, el suelo se transforma en coloide y usando un dispersor se deja fluir en el campo de arroz y la adsorción de desplazamiento se realiza usando un desplazador de agregación. Luego, se utiliza un sistema de separación para separar los metales pesados nocivos como el plomo, cadmio, arsénico, cromo y mercurio en el suelo. De esta forma, se puede cumplir el objetivo de restaurar el campo de arroz contaminado por el metal pesado nocivo.</p>	<i>Lei Zhigang.</i>

Número de publicación	Título en idioma original	Resumen	Solicitante
CN103551377A	<i>Method for effectively reducing heavy metal cadmium and lead in tobacco leaves</i>	Se proporciona una tecnología para reducir efectivamente el cadmio y plomo acumulados en las hojas de tabaco. Para ello, antes de realizar un trasplante de las plántulas de tabaco, se aplica una cierta cantidad de ácido húmico en el suelo para reducir adecuadamente la absorción de cadmio y plomo del suelo disminuyendo su contenido en las hojas de tabaco, siendo la tasa de reducción de cadmio es de 34.13 %.	<i>Chongqing Tobacco Monopoly Bureau, Southwest University, Tobacco Science Research Institute, Chongqing City Company Of China National Tobacco Corporation.</i>
CN102174326A	<i>Heavy metal composite passivating agent used for paddy soil and preparation method thereof</i>	Un agente pasivante usado en arrozales y su método de preparación son descritos. El agente pasivante compuesto de metales pesados se prepara a partir de tres materias primas, polvo mineral de espuma de mar, óxidos de hierro y manganeso y cal viva. Los resultados muestran que el agente pasivante reduce el cadmio del suelo de un arrozal en un 39.7 a 53.8 %.	<i>Institute of Subtropical Agriculture.</i>

Anexo 2. Remoción y disminución de cadmio en suelos para cultivo utilizando componentes biológicos.

Número de publicación	Título en idioma original	Resumen	Solicitante
CN110468080A	<i>Microorganism microbial agent for promoting growth of rice and reducing cadmium and preparation method and use method of microorganism microbial agent</i>	Esta invención describe un agente inoculante microbiano para promover la reducción de cadmio y el crecimiento del arroz. La invención, describe el método de preparación y uso del mismo. Esta invención consiste en un tratamiento microbiano para reducir la contaminación por metales pesados. Los inoculadores utilizados para esta patente son: <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Burkholderia</i> spp., <i>Pseudomonas schneiderei</i> , <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Micromonospora spinosporum</i> , quienes han mostrado una influencia activa en la absorción de cadmio para el crecimiento del arroz. El agente bacteriano microbiano, proporcionado por la invención, tiene y promueve la potencialidad de crecimiento del arroz (32.90%). Además, puede reducir efectivamente la concentración de cadmio en el tallo y hojas en un 79% y 90%, respectivamente.	<i>Hunan Sanye Environmental Protection Technology Co Ltd Hunan Agricultural University.</i>
CN110408407A	<i>Cadmium passivating agent for tobacco planting soil and preparation method thereof</i>	La presente invención proporciona un tipo de pasivador de cadmio para el suelo con cultivo de tabaco y el método de preparación del mismo. Este pasivador precipita con el cadmio, reduciendo efectivamente el Cd disponible en suelo. El pasivador obtenido reduce sustancialmente el contenido de cadmio en el suelo después una semana de su aplicación y, el contenido de cadmio en el tabaco de cosecha se reduce como consecuencia del mismo.	<i>Changsha Kaize Engineering Design Co Ltd.</i>

Número de publicación	Título en idioma original	Resumen	Solicitante
AU2019100801A4	<i>Method for controlling heavy metal contamination of peanut</i>	La invención reduce la biodisponibilidad y el contenido de metales pesados (cadmio, cromo, plomo, cobre, zinc) en el suelo mediante una tecnología combinada de fijación química (durante la siembra de maní) y la fitorremediación (después de cosechar maní). Consiguiendo de esta forma que el contenido de metales pesado en el grano de maní se reduzca considerablemente.	<i>Shandong Peanut Research Institute.</i>
CN109848205A	<i>Method for reducing cadmium accumulation in lettuce by applying Solanum photeinocarpum straw</i>	La presente invención proporciona un método en el cual la aplicación de <i>Solanum photeinocarpum</i> reduce la acumulación de Cd en la lechuga romana. La invención puede promover el crecimiento de la lechuga romana y reducir significativamente la acumulación de cadmio en esta. Los resultados mostraron que, la reducción de cadmio ha sido significativa, donde se ha llegado a obtener 10 mg kg ⁻¹ como máximo valor del cadmio en el sitio de siembra de lechuga romana y disminución de la concentración de cadmio en la parte aérea de la misma.	<i>Sichuan Agricultural University.</i>
CN107488620A	<i>Cadmium-contaminated paddy field soil microbial passivating agent</i>	La presente invención describe un tipo de pasivador de microorganismos para un arrozal con contaminación por cadmio. Donde el pasivador contiene: <i>Pseudomonas alcaligenes</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , bacterias reductoras de sulfato, nutrientes y portadores de estos microorganismos. Se resalta que, la aplicación de esta tecnología es de costo bajo, fácil de operar y su aplicación es de gran valor, ya que esta invención ha mostrado que puede reducir la absorción del arroz al ion cadmio por la aplicación del pasivador.	<i>Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences.</i>
CN106914488A	<i>Soil restoring agent for cadmium pollution paddy field and application</i>	Respecto al agente de reparación del suelo, este se conforma por: despojos de carbón, sepiolita, diatomita, polvo quemado ligero, cal, fosfato de calcio y magnesio, y fertilizante de zinc. El agente de reparación del suelo se rocía uniformemente y se forma una mezcla con el suelo lo suficiente para abarcarlo en su totalidad. Se observó una alta eficiencia, donde se obtuvo que la cantidad de aplicación de la invención es de 100 300 kg/ mu para restaurar un arrozal contaminado con cadmio.	<i>Hunan Soil and Fertilizer Institute.</i>
CN106424130A	<i>Restoration method for cadmium-contaminated rice field</i>	Describe un método de restauración para un arrozal contaminado con cadmio, mediante la siembra previa de <i>Sedum plumbizincicola</i> la que es eliminada luego de un cierto tiempo para luego sembrar arroz. Al arrozal se le incluye biochar y luego de la cosecha de arroz, se detecta el contenido de cadmio en el campo y en los granos de arroz. Gracias a la solidificación del biochar se logra una tasa de eliminación adecuada para el cadmio en los arrozales.	<i>Hunan University of Science and Engineering.</i>
CN105964681A	<i>Method for improving soil cadmium removal capability of tobacco by use of fertilization and harvesting technology</i>	Un método para mejorar la capacidad de eliminación de cadmio en el suelo del tabaco se basa en el uso de una tecnología de fertilización y cosecha. Se trasplantaron plántulas de tabaco a suelo contaminado con cadmio, se realiza el manejo convencional con aplicaciones de fertilizantes y se cosechan las plántulas. Se realiza nuevamente el cultivo convencional y se incorporan fertilizantes adicionales para promover el crecimiento del tabaco regenerado, con el propósito de eliminar cadmio en el suelo. El método es simple y de bajo costo, y se pueden obtener hasta dos cosechas. Al mejorar la capacidad de eliminación del cadmio, el tabaco obtiene mayor cantidad proteica sirviendo de este modo como alimento, y se puede evitar que metales pesados entren nuevamente en la cadena alimentaria.	<i>Hunan Agricultural University.</i>

Número de publicación	Título en idioma original	Resumen	Solicitante
CN105521991A	<i>Combined remediation method for cadmium – polluted paddy field soil by drying and wetting control in combination with electrodynamic force and hyperaccumulators</i>	Se describe un método combinado de remediación para suelos de arrozales contaminados con cadmio. En primer lugar, se forma un proceso de secado con alternancia de humectación (riego ahorrador de agua). De esta forma se busca promover la transformación del cadmio en el arrozal en una forma disponible para la planta, luego se promueve la migración de cadmio de forma disponible soluble en agua a una región del cátodo en forma de suministro de energía solar.	<i>Hohai University.</i>
CN103952333A	<i>Cadmium-resistant bacteria and method for inhibiting heavy metal cadmium absorption of paddy rice</i>	Se emplean bacterias resistentes al cadmio y a un método para inhibir la absorción de cadmio en el arroz con cáscara. Las bacterias resistentes al cadmio son <i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Fujian Agriculture and Forestry University.</i>
CN101745519A	<i>Agricultural safety production operating method by utilizing low cadmium-accumulation Chinese cabbage</i>	La invención se refiere a la tecnología de producción segura de cultivos en suelos contaminados con cadmio. Para ello, la col plantada en el campo absorberá el cadmio del suelo. La parte de la raíz de la planta es tratada adecuadamente para garantizar la seguridad de los alimentos. Los resultados mostraron que, el cadmio excesivo en el suelo contaminado se puede extraer continuamente, y el contenido de cadmio en la parte comestible de la col china cumple con el estándar de seguridad vegetal, lo cual puede ser distribuido como alimento no contaminado.	<i>Institute of Applied Ecology.</i>
CN101133710A	<i>Method for controlling the accumulation of the heavy metal cadmium in the rice corn</i>	Se desarrolló un método para controlar el contenido de granos de arroz, en base a la preparación de la tierra antes del trasplante de plántulas en el campo de arroz. Se aplica un ferroquelato al suelo para una mezcla homogénea. El ferroquelato también puede ser aplicado en las etapas de formación de espigas y llenado de arroz. Este método puede hacer que el contenido de cadmio en los granos de arroz sea inferior a 0.2 mg kg ⁻¹ , lo cual convierte a este método como eficaz en controlar la acumulación de este metal pesado.	<i>China National Rice Research Institute.</i>

Anexo 3. Principales publicaciones científicas.

Título	Año	Autores	Revista
<i>Rice intercropping with alligator flag (Thalia dealbata): A novel model to produce safe cereal grains while remediating cadmium contaminated paddy soil.</i>	2020	Wang J., Lu X., Zhang J., Ouyang Y., Wei G., Xiong Y.	<i>Journal of Hazardous Materials</i>
<i>Simultaneous removal of arsenic, cadmium, and lead from soil by iron – modified magnetic Biochar.</i>	2020	Wan X., Li C., Parikh S.J	<i>Environmental Pollution</i>
<i>Mechanisms for cadmium adsorption by magnetic biochar composites in an aqueous solution.</i>	2020	Khan Z.H., Gao M., Qiu W., Islam M.S., Song Z.	<i>Chemosphere</i>
<i>Remediation of cadmium and lead polluted soil using thiol-modified biochar.</i>	2020	Fan J., Cai C., Chi H., Reid B.J., Coulon F., Zhang Y., Hou Y.	<i>Journal of Hazardous Materials</i>
<i>A novel phytoremediation method assisted by magnetized water to decontaminate soil Cd based on harvesting senescent and dead leaves of Festuca arundinacea</i>	2020	Autores: Luo J., He W., Qi S., Wu J., Gu X.S.	<i>Journal of Hazardous Materials</i>
<i>Phytoremediation of cadmium – contaminated wetland soil with Typha latifolia L. and the underlying mechanisms involved in the heavy-metal uptake and removal.</i>	2020	Yang Y., Shen Q.	<i>Environmental Science and Pollution Research</i>
<i>Remediation of cadmium – contaminated soils using Brassica napus: Effect of nitrogen fertilizers.</i>	2020	Zeng X., Zou D., Wang A., Zhou Y., Liu Y., Li Z., Liu F., Wang H., Zeng Q., Xiao Z	<i>Journal of Environmental Management</i>

Anexo 4. Proyectos financiados por FONDECYT – CONCYTEC.

Tipo de concurso	Entidad solicitante	Título
Proyectos de Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico 2020	Universidad Nacional de San Martín	Uso potencial de inoculantes micorrizicos nativos en la regulación del transporte de cadmio suelo-planta en el cacao peruano (<i>Theobroma cacao</i> L.)
Proyectos de Investigación Básica 2019-01	Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas	Fitoextracción de cadmio con hierba mora (<i>Solanum nigrum</i> L.) en suelos cultivados con cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en Amazonas
Proyectos de Investigación Básica 2019-01	Universidad Nacional Agraria de la Selva	Efecto de la zeolita, sulfato de zinc y enmiendas líquidas orgánicas en la mitigación y control del cadmio en el suelo y en las almendras de cacao

Tipo de concurso	Entidad solicitante	Título
Proyectos de Investigación Básica 2019-01	Universidad Nacional de San Martín	Estudio del mecanismo de transporte de cadmio (Cd) en el cacao criollo <i>Theobroma cacao</i> L., y la implicancia de sus posibles transportadores genéticos
Proyectos de Investigación Básica 2019-01	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Deposición de cadmio (Cd ²⁺) en la estructura de la semilla de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) e impacto de la estrategia de fermentación en su eliminación.
Proyectos de Investigación Básica 2019-01	Universidad Nacional de Piura	Aislamiento y caracterización dependiente e independiente de cultivo de rizobacterias tolerantes a cadmio asociadas a los cultivos de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la región Piura y su potencial uso como estrategia de biorremediación para generar una producción segura de granos cacao.
Proyectos Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico 2018	Universidad Católica Sedes Sapientiae	Biorremediación con micorrizas arbusculares nativas en el control del cadmio de clones de <i>Theobroma cacao</i> como estrategia sostenible a la seguridad alimentaria ecológica en la amazonia peruana.
Proyectos Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico 2018	Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas	Disminución de la absorción del cadmio en el cacao peruano mediante la edición genética de sus transportadores empleando la tecnología CRISPR Cas9
Proyecto de Investigación Básica 2018-01	Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas	Estudio del mecanismo de transporte de cadmio (Cd) en el cacao criollo <i>Theobroma cacao</i> L., y la implicancia de sus posibles transportadores genéticos
Ideas Audaces 2016-01	Bioxlab S.A.C.	FERTILEV: Reducción ecológica de cadmio en fruto de cacao
Proyectos de Investigación Básica y Aplicada 2015 – 01	Universidad Nacional Agraria de la Selva	Estrategias tecnológicas para reducir el contenido de cadmio en las almendras del cultivo de cacao

Anexo 5. Proyectos financiados por Innóvate Perú.

Código de proyecto	Entidad solicitante	Título
PIPEA-4-P-048-11	Agrícola La Venta S.A	Desarrollo de técnicas de manejo de suelos para la disminución de cadmio a niveles mínimos permisibles en el cultivo de espárrago (<i>Asparagus officinalis</i> L) verde fresco, validado científicamente para la región de Ica
PIPEI-4-F-153-12	Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo LTDA	Desarrollo de un plan de manejo de la fertilidad orgánica de los suelos para reducir la acumulación del cadmio en las almendras de cacao en el ámbito de la Cooperativa Agraria industrial Naranjillo LTDA

PITEI-3-P-279-041-15	Cooperativa Agroindustrial ASPROC – NBT LTDA	Desarrollo e implementación de una estrategia de manejo integral para mitigar la acumulación de cadmio en plantaciones de cacao (variedades finas) en la zona de Tocache San Martín Perú
PITEI-4-P-127-142-16	Asociación De Productores	Desarrollo de una tecnología orgánica en el proceso productivo y post cosecha para reducir los niveles de asimilación de cadmio en las almendras de cacao en el valle del alto Huallaga.
PIMEN-13-P-192-088-17	Ladd – Brenton Mark	Formular y validar “biochar” como enmienda al suelo para inmovilizar el cadmio y reducir su concentración en el grano del cacao.
Startup Perú	Bioxlab S.A.C.	Fertilev: bioestimulante agrícola reductor de cadmio en cacao
PVE-6-P-051-18	Bioprocesos Industriales Consultores Sociedad Anónima Cerrada	Validación de prototipo de consorcio microbiano inmovilizado para la reducción de cadmio en plantaciones de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) por bioadsorción competitiva.

Anexo 6. Tesis y publicaciones nacionales

Título	Año	Tipo de publicación	Institución	Resumen
Biotransformación de cadmio por medio de bacterias de suelo en biorreactores Air Lift.	2015	Tesis de pregrado	Universidad Nacional Agraria de la Selva	Se planteó biotransformar el cadmio (Cd) mediante la acción metabólica de bacterias de suelos desarrolladas en biopelículas en biorreactores air lift, relacionando el impacto ambiental que produce el cadmio en los suelos de Tingo María. Se diseñó una investigación poniendo en operación 4 biorreactores air lift en cultivo discontinuo (lote o batch) a diferentes concentraciones de Cd (60, 100, 200 y 300 mg/L) con – 120 ml de inóculo de siembra y 680 ml de medio mínimo de sales como nutriente por un tiempo de operación de 7 días. En el biorreactor con 200 mg/L de Cd se presentó la mayor eficiencia de biotransformación con respecto a los demás, con un porcentaje del 78.58%.
La fitorremediación como alternativa en la recuperación de suelos afectados con desmontes de construcción – Cajabamba.	2019	Tesis de pregrado	Universidad Nacional de Cajamarca.	El objetivo del trabajo de investigación fue demostrar cuantitativamente que a través de la fitorremediación es posible la recuperación de suelos degradados para su uso agrícola. Se utilizó el método descriptivo donde se evaluaron tres metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd) y Cromo (Cr) en parcelas de tratamiento con cuatro especies vegetativas: Taya, asociación de rye grass y trébol rojo y maíz, de uso común para los pobladores de la zona, la evaluación se desarrolló con las muestras de suelo que se obtuvo antes de iniciar el proceso de siembra de los cultivos y al finalizar su proceso vegetativo, con los resultados se demostró que la Fitorremediación influye para que el suelo disminuya la concentración de los metales pesados.

Título	Año	Tipo de publicación	Institución	Resumen
Fitorremediación con Maíz (<i>Zea mays</i> L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados.	2018	Artículo científico	Universidad Nacional Agraria La Molina	Se realizó el presente trabajo utilizando maíz como planta fitorremediadora. Para ello se emplearon los suelos agrícolas de las localidades Mantaro y Muqui del valle del Mantaro, cuyos contenidos de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en el suelo superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de suelos del Perú. Con ello, se pudo comprobar que la planta de maíz absorbe los metales pesados del suelo como lo demuestra la mayor acumulación de plomo y cadmio en la raíz de ésta, confirmando que la aplicación de las enmiendas orgánicas contribuye a solubilizar el Pb y Cd del suelo. Sin embargo, el vermicompost de Stevia fue más efectivo absorbiendo los metales pesados del suelo. Los cálculos del Factor de Bioconcentración (FBC) y de Translocación (FT), indicaron que el maíz es una planta exclusiva o estabilizadora.



Instituto Nacional de Innovación Agraria



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Av. La Molina 1981, La Molina
(51 1) 240-2100 / 240-2350
www.inia.gob.pe



ISBN: 978-9972-44-078-6

