

Mejora en el manejo de residuos orgánicos desde una planta de bivalvos *Mytilus chilensis* para su directa disposición en suelos Catálisis de residuos orgánicos

¹Diego Bustos, ¹Pamela Olivares-Ferreti, ¹Viviana Chavez, ²Hector Herrera y ^{1,3}Jorge Parodi

¹Laboratorio Tonalli Ltda., Temuco, Chile

²Mares limpios Spa, Puerto Montt, Chile

³Departamento de análisis de datos, Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de Chile, Temuco, Chile

Correspondencia

*Jorge Parodi

Universidad Autónoma de Chile,
Departamento de análisis de Datos,
Temuco,
Chile

jorge.parodi@uautonoma.cl

Jorge Parodi ORCID: 0000-0002-9117-5433

Pamela Olivares-Ferretti ORCID: 0000-0001-5759-3271

Resumen

Los residuos orgánicos provenientes de la industria son un problema de manejo. En particular porque se reubican principalmente en vertederos donde se desaprovecha su potencial nutritivo. La industria acuícola produce elevados volúmenes de residuos orgánicos. Como el manejo de bivalvos, que genera materia orgánica y conchas, que se pierden. La aplicación de materia orgánica en suelo es algo conocido y habitual, pero genera problemas de olores y la atracción de vectores, derivando en un problema de salud pública y debido a ello no es posible disponerlo directamente. Estudios previos han demostrado que el uso de surfactantes, en ciertas combinaciones, generan craqueo catalítico de manera enzimática de la materia orgánica sin la generación de olor. Nos propusimos evaluar un compuesto surfactante para determinar si reducía la generación de olor desde la materia orgánica generada en la mitilicultura y la factibilidad de disponerlo en el suelo. Nuestros resultados indican que usar concentraciones entre 0,5 a 1 % del catalizador sobre materia orgánica derivada de mitilidos, reduce significativamente el olor y previene la formación de ácidos orgánicos volátiles. Sumado a eso, demostró una respuesta cinética, dependiente del tiempo y concentración para la generación de un reportero de nitritos como indicador de la degradación proteínicas. Interesantemente, el material catalizado no mostró ser tóxico en reporteros para agua dulce, no generó efectos fitotóxicos en pruebas de germinación y logra generar un aumento en las concentraciones de materia orgánica en suelo. Estos datos no permiten indicar que se genera un tipo de compost denominado enmienda orgánica ya que es materia disponible directa al suelo, esto permite tomar este tipo de residuos y darle un destino en suelos degradados para ser recuperados y reducir la descarga en vertederos.

Palabras Claves: Biosensores; Catalizador; Mitilidos; Residuos; Economía circular.

Improved management of organic waste from a *Mytilus chilensis* bivalve plant for direct disposal in soils Catalysis of organic waste

Abstract

Organic wastes from industry are a management problem. In particular because they are mainly relocated to landfills where their nutritional potential is wasted. The aquaculture industry produces high volumes of organic waste. Such as the handling of bivalves, which generates organic matter and shells, which are lost. The application of organic matter in soil is something known and common, but it generates odor problems and attracts vectors, resulting in a public health problem and because of this it is not possible to dispose of it directly. Previous studies have shown that the use of surfactants in certain combinations generate enzymatic catalytic cracking of organic matter without generating odor. We set out to evaluate a surfactant compound to determine if it reduced odor generation from organic matter generated in miticides and the feasibility of disposing of it in the soil. Our results indicate that using concentrations between 0.5 to 1 % of the catalyst on organic matter derived from mytilids significantly reduces odor and prevents the formation of volatile organic acids. In addition, it demonstrated a time- and concentration-dependent kinetic response for the generation of a nitrite reporter as an indicator of protein degradation. Interestingly, the catalyzed material did not show to be toxic in freshwater reporters and did not generate phytotoxic effects in germination tests and manages to generate an increase in the concentrations of organic matter in the soil. These data do not allow to indicate that a type of compost called organic amendment is generated, since it is matter available directly to the soil, this allows to take this type of waste and give it a destination in degraded soils to be recovered and reduce the discharge in landfills.

Key Words: *Biosensors; Biosensors; Catalyst; Mitilides; Waste; Circular Economy*

Introducción

La obtención de nutrientes para los cultivos es un problema en las faenas agrícolas (Rahman et al., 2021), en la actualidad las fuentes de nitrógeno principalmente vienen de compuestos nitrogenados, que deben ser incorporados a los cultivos y que tienen un alto costo (Pacheco-Ruíz et al., 2004). Nuevas fuentes, que permiten utilizar desechos orgánicos, parecen ser fuentes para entregar nutrientes al suelo (Santos et al., 2021; Zhang et al., 2021). Uno de estos modelos es el compostaje de materia orgánica para producir tierra con un alto valor de materia orgánica, para las faenas agrícolas (Gurusamy et al., 2021; Xie et al., 2021). El hacer compostaje es una estrategia para reducir los volúmenes de basura orgánica, reduce un problema tanto a nivel industrial como hogareño con los residuos orgánicos (Lett, 2014). Pero ¿cómo ocurre el compostaje? A grandes rasgos es un proceso químico-biológico bastante complejo que concentra el proceso de descomposición,

permitiendo controlar mejor sus variables, logrando una mejor eficiencia. Sin embargo, tiene algunos requisitos de entrada y proceso que limitan su acción, además genera un tipo de producto que no siempre es utilizado de manera completa y requiere diversos componentes biológicos (Pascual et al., 1999). El proceso de descomposición se refiere a cómo el material orgánico muerto se degrada en moléculas simples, liberando materia orgánica e inorgánica al medio. El proceso de descomposición (estabilización) de la materia orgánica por la acción biológica es un fenómeno intrínseco a la vida y fundamental en los ecosistemas. En este proceso la presencia de necrobiota (bacterias, hongos, protozoos, etc.) corresponde a los organismos saprofitos que dan inicio al proceso liberando moléculas que alimentan a los sucesivos eslabones tróficos (Griffiths et al., 2020).

Los dos modelos principales de descomposición son anaerobio o fermentativo y aerobio. En el primero los compuestos orgánicos se descomponen por la acción de organismos vivos que no requieren aire en el sentido normal. Estos organismos utilizan nitrógeno, fósforo y otros nutrientes para vivir y desarrollar protoplasma celular, pero reducen el nitrógeno orgánico a ácidos orgánicos y amoníaco (Boros et al., 2020). Para una descomposición eficiente también se deben considerar factores como la temperatura, siendo este un factor clave, esta biomasa en descomposición alcanza su propia temperatura interna y la temperatura ambiente regula la velocidad del proceso (Benbow et al., 2020; Boros et al., 2020). Otros factores relevantes serán el acceso al oxígeno y la acción mecánica producto de corrientes que permite mover capas de agentes saprofitos y el tamaño de las partículas o matriz de descomposición (Guo et al., 2021).

En forma general, el compostaje permite poner en las mejores condiciones lo descrito como el proceso de descomposición, en forma general un sistema cerrado que permite generar las condiciones fisicoquímicas para que esto ocurra, acumulando temperatura y nutrientes para la siguiente fase en una forma mucho más eficiente (Canet & Pomares, 1995). En la primera etapa el compost alcanza una alta temperatura y entrega lo suficiente elementos energéticos para que se inicie el proceso de descomposición, esta etapa es clave por la cantidad de gases que se generan y que es deseable que queden dentro del equipo de compostaje atrapados (Andreux, 1996; Graça et al., 2021), es quizás uno de los problemas del compostaje, domiciliario y de ahí la recomendación de no usar ciertos productos de entradas como proteínas animales, por los residuos formados y como los fermentos atraen vectores en especial moscas, como la de la fruta (Selvam et al., 2021).

Además de otros que se comienzan a describir, como el uso de los gases, la transferencia de resistencias, la degradación de antibióticos (Ezugworie et al., 2021; He et al., 2020). Se han indicado varias modificaciones a los sistemas de compostaje, que permiten reducir sus impactos, usar cierto tipos de sustratos para reducir la generación

de gases (Wong et al., 2009) también el incorpora mejoras, para la producción de compost como por ejemplo enmiendas orgánicas (tierra de hojas) (Stewart-Wade, 2020), el uso de minerales (Margaritis et al., 2018) y otras estrategias, lo que indica que aún estamos conociendo lo que ocurre dentro de una compostera y como esta tiene impacto en la generación de nutrientes, en especial nitrógeno (Wang et al., 2013). Sin duda, pese a esto problemas, el compostar materia orgánica es una gran opción para el manejo de residuos, pero que presentan algunas desventajas (Al-Ghouthi et al., 2021).

Nos hemos propuesto evaluar un compuesto, que tenga la capacidad de catalizar la materia orgánica, lo que permite generar la liberación de nutrientes desde ella y pueda servir para mejorar suelos de faenas agrícolas, debemos considerar que un catalizador en química se define como la capacidad de reducir la energía necesaria para transformar un sustrato en un producto, este fenómeno esta generado por moléculas con capacidad enzimática, que permite generar una curva típica de reacción, con constantes definidas en la ecuación de Michaelis-Menten (Estrella-González et al., 2019). Una molécula que tenga esta forma de reacción se podrá considerar un catalizador enzimático y permite reducir la energía y por ende el tiempo de la reacción (Estrella-González et al., 2019). Ese es el principio del compostaje, lograr por medio de condiciones cerradas acelera un proceso bioquímico, acelerar un reacción (Bao et al., 2021), Dentro de esto, se ha indicado que material generado en sistemas orgánicos, pueden ser descargados como enmienda orgánica, los cuales tiene ciertas características, desde su contenido de materia orgánica, humedad y propiedades fisicoquímicas, este sistema puede ser usado en faenas agrícolas como fertilizante y es una alternativa al compostaje, por tomar menos tiempo, pero de menor poder nutricional según las fuentes de origen (Abdalla et al., 2020; Stewart-Wade, 2020). El desarrollo del compuesto Catalizador, por parte de la empresa TEQUIA, fue evaluado laboratorio, midiendo compuestos orgánicos que se liberan desde la materia orgánica, expuesta al compuesto, con el fin de producir enmienda orgánica que se puede utilizar en faenas agrícolas, en el futuro desde diversas materias orgánicas y sin la generación de olor

o restricción de uso de fuentes, incorporando residuos industriales a este proceso.

Métodos

Desarrollo catalizador

El catalizador, CaDOS® es un producto registrado como detergente enzimático según norma de productos en la legislación nacional. Es una mezcla compleja de compuestos químicos y el surfactante aniónico sodio dodecibenceno sulfonato (SDBS) como principio activo, en un ambiente alcalino. El compuesto ha sido reportado al servicio nacional de medio ambiente en Chile y presentado al Servicio Agrícola Ganadero (SAG), para su uso en suelo.

Obtención de muestras

El material fue obtenido desde una planta de tratamiento de residuos de la mitilicultura ubicada en Chiloé, que contenía restos principalmente conchas y carne en descomposición. Las muestras fueron tomadas por la empresa Mares Limpios y reunidas en Puerto Montt y enviadas a nuestro laboratorio a 4 °C. Las muestras se almacenaron en un refrigerador antes de su proceso. El material fue molido en mortero en nuestro espacio para medir y comparar el tamaño de partículas, el material sin moler y molido fue catalizado con diluciones crecientes del catalizador en concentraciones V/V y por tiempo crecientes según cada experimento. El material resultante se le denomina catalizado y tiene su origen en materia orgánica tratada con CaDOS

Evaluación de olor

Se pidió a observadores independientes que indiquen desagradado en una escala subjetiva de 0 a 4, esto se registró antes del tratamiento, una vez aplicado el tratamiento y en muestras por el mismo tiempo sin tratamiento, esto según las consideraciones de la norma técnica chilena NCh3190 sobre observaciones estáticas o terrenos de la evaluación ambiental de olores por olfatoría dinámica.

Medición de nitritos

Se uso un espectrofotómetro Hanna instrumento modelo HI83399-02 para la medición se usó una serie de reactivos Hanna, estos reactivos siguen una adaptación del método del sulfato ferroso en el cual la reacción entre el nitrito y el reactivo provoca

un cambio de color en la muestra. Para el nitrato se usa la adaptación del método de reducción de cadmio. La reacción entre nitrato-nitrógeno y el reactivo causa un tono ámbar en la muestra. En ambos casos la intensidad del color se determina mediante un fotómetro compatible y la concentración se mostrará en mg/L (ppm) de nitrito o nitrato.

Medición de Nitrógeno, Potasio y Fosfato

Se usará un espectrómetro Hanna instrumento modelo HI83399-02 para la medición se usarán técnicas bioquímicas recomendadas por Hanna instrumentos, según norma EPA. Para el potasio se usará una modificación de las técnicas de turbimetría basada en tetrafenilborato. Para el nitrógeno se usará las técnicas del método cromatográfico ácido, como medida indirecta de nitritos y nitratos. Para el fosfato, se usará un método adaptado del ácido ascórbico y se estimará indirectamente la concentración de fósforo, en todos los casos la intensidad del color se determina mediante un fotómetro compatible y la concentración se mostrará en mg/L (ppm) de los distintos metabolitos.

Pruebas de granulometría, tamaño de partículas

Las muestras fueron sometidas a degradación física por tiempo de 1 a 2 hrs y luego se tomaron las muestras molidas y se llevan en una placa con 1 mL de agua destilada en un pocillo a ser micro fotografiadas con un estereomicroscopio y digitalizadas con una cama Celeron 50 mp. Se procesan las imágenes con el sistema ImageJ y se usa el "plugin" de análisis de partículas para estimar tamaño y distribución. La distribución de partículas fue graficada con el programa Graphpad Prism versión 9.4.1, observando su valores centrales y dispersión comparando las distribuciones de los tamaños.

Prueba de ecotoxicología

Las pruebas de ecotoxicidad se realizaron a los residuos de materia orgánica tratadas con el catalizador en forma diluida en % V/V. Por la posibilidad que material catalizado pueda ser lixiviados a napas de agua en los terrenos, es importante evaluar que el material siga siendo inocuo en el ambiente. Los especímenes *Daphnia magna* se utilizaron de acuerdo con la norma NCh 2083: Con temperatura constante 16°C, con un ciclo luz/oscuridad (12 h/12 h). El agua de cultivo para *D. magna* se preparó con 25 mL de

soluciones salinas (cloruro de calcio: 11,76 gr/L; sulfato de magnesio: 4,93 gr/L; bicarbonato sódico: 2,59 gr/L; cloruro de potasio: 0,23 gr/L), y se llena hasta 1000 ml con agua filtrada destilada. Luego, el agua se airea durante 24 horas antes de su uso. La densidad de cultivo creciente fue de 10 a 15 organismos de *D. magna* por 200 ml de agua, se colectaron neonatos y se sembraron 10 por envase, en 3 réplicas. Se mantiene a 15 °C durante el experimento y se evaluaron las formas móviles como vivas después de 24 hrs.

Prueba de germinación y afloramiento

Se utilizó como modelo la especie *Solanum lycopersicum*. Para los ensayos de germinación se ubicaron 5 semillas las que se dispusieron en una matriz sólida. Cada condición, control tierra y tratamiento, una mezcla de tierra con material catalizada de la planta de mitílicos. Se registró el día en que germinaron las semillas. Sucesivamente, en otra serie experimental, se monitorearon temporalmente las semillas, observando su crecimiento en el tiempo. Para el riego del control se utilizó agua corriente y para tratamiento se utilizó una mezcla con sobrenadante del lodo catalizado en concentraciones crecientes V/V (0,1-5%). El registro del crecimiento (en centímetros) del tallo de la semilla germinada fue diario, como indicativo del efecto del compuesto en las plantas. Las plantas fueron colectadas al día

10 de crecimiento de la plántula y se fotografiaron sus raíces. Para el análisis cuantitativo de la morfología de la raíz se usó el programa ImageJ y el "plugin" SNT, con el fin de estimar su área de desarrollo y compararla en las diversas condiciones.

Análisis de datos

Los datos se graficaron y fueron tratados con pruebas estadísticas de normalidad, con una prueba de ANOVA de dos vías con un post test de bonferroni, usando el programa Prism gradphad versión 9, los datos son presentado en promedio más menos SEM, un $p > 0,5$ se considerada como significativo

Resultados

Manejo del material, molido para disposición

El material recibido fue molido en forma manual y manejado por imagen para poder observar cambios en su tamaño. En la figura 1A, se observa la distribución del tamaño de las conchas antes del proceso con un tamaño promedio de 13 mm, luego de la molienda mecánica simple se logra reducir el tamaño a 7 mm, siendo un cambio significativo en el tamaño del material. Este cambio, puede significar un mejor manejo del material para su catalizacion o su disposición en suelos.

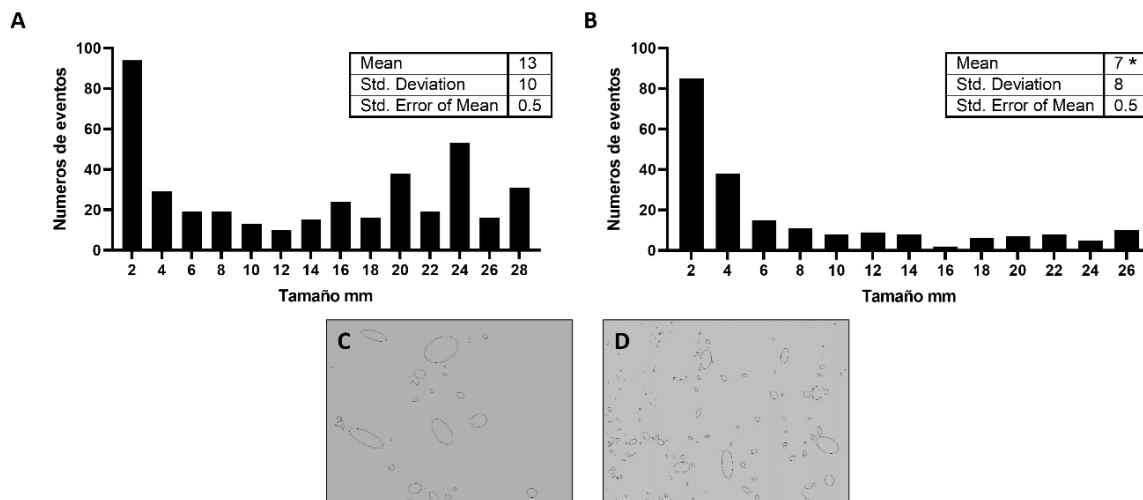


Figura 1. Manejo del material. En A medidas del tamaño de partículas de material original. En B medidas de partículas logradas después de moler el material. C, imagen representativa del análisis de partículas, sin moler, D imagen representativa del análisis de partículas molidas. Las barras son histogramas de eventos, de 3 experimentos independientes en 3 réplicas. El * es para un $p > 0.05$ indicando diferencia significativa en los promedios

Apreciación del olor desde las muestras, efecto de la concentración

Muchos de los problemas de usar materia orgánica, en faenas tiene que ver con la liberación de olores desagradables, esto por el proceso de descomposición anaeróbica (Xu et al., 2021), el proceso de compostaje busca precisamente en condiciones cerrada, acelerar esto y reducir el problema (Xie et al., 2021). El material sin moler fue expuesto a concentraciones creciente del Catalizador logrando reducir la percepción del olor como se muestra en la figura 2A, del mismo modo le

material molido también fue sometido al proceso de control de olor, como se observa en la figura 2B, mostrando que puede controlarse el olor del material, sin generar olor final en material. Este dato es clave para el manejo de residuos, porque lo que principalmente exige la norma ambiental para el uso de este material en suelos, es que no genere olores, que puedan atraer vectores y ser un problema de salud pública. El resultado permite sugerir un mejor uso del material a descartar desde la planta de mitílicos.

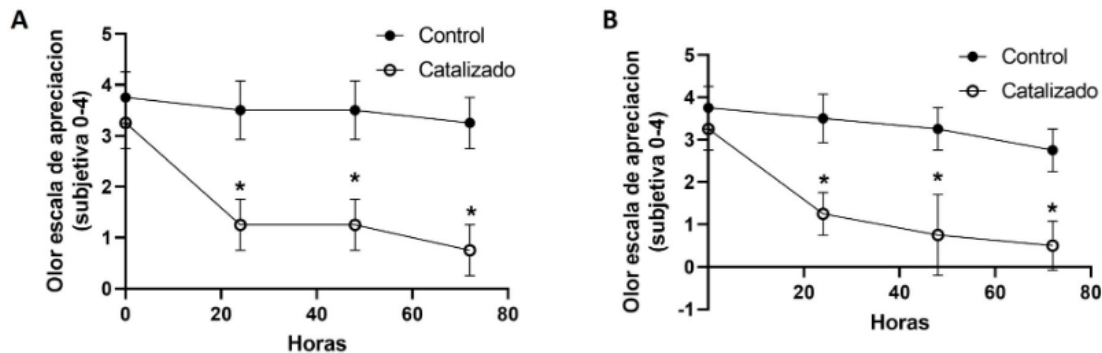


Figura 2. Estudios de olor, en A curva de percepción olor material sin moler, en B curva de percepción olor material molido. Los puntos son promedio \pm SEM, de 3 experimentos independientes en 3 replicas. El * es para un $p >$ de 0.05 indicando diferencia significativa en los promedios

Medición de la concentración de nitritos, estudio cinético y de dosis

El uso de moléculas nitrogenadas se ha descrito como una forma de evaluar calidad de compost y de tierras, en particular la concentración de nitritos es una forma de además de rompiendo de macromoléculas como proteínas (Schueler et al., 2021). Para poder indicar si el compuesto tiene una acción cinética y una relación dependiente de la concentración y el tiempo. En la figura 3A y 3B se observa el efecto en material sin moler, en la figura 3C y 3D el efecto en material molido y en la figura 3E y 3F, curvas temporales a dos concentraciones del catalizador en material sin moler y molido. Las figuras muestran que la generación del reportero de nitrito sigue una forma cinética, clásica con una V_m y K_m

similar en ambas condiciones además tiene una concentración de EC_{50} similar para el material sin moler y molido e indica una relación concentración dependiente en el efecto de degradar moléculas observado por el reportero. El tiempo también es dependiente en el efecto, indicando que a concentraciones bajas para a mayor tiempo se logra incrementar la generación del reportero de nitritos usado, como indicador de la ruptura de moléculas complejas como proteínas. Estos datos nos permiten sugerir que el compuesto tiene un efecto sobre el sustrato de materia orgánica dosis y concentración dependiente y que genera cambios en forma cinética de Michaelis-Menten con k_m de 0.2 % de V/V del CaDOS.

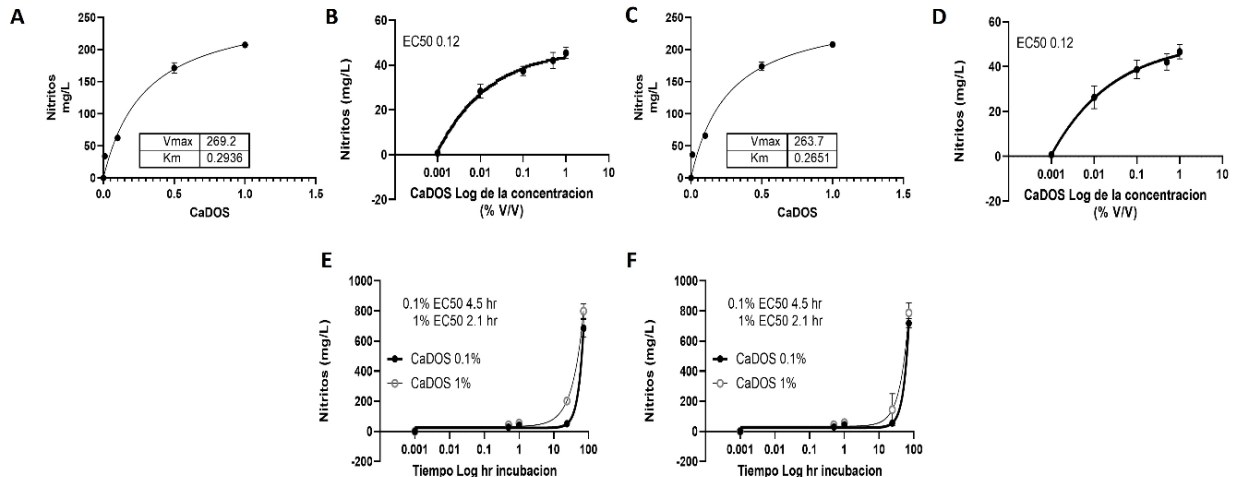


Figura 3. Estudios cinéticos, en A cinética de material sin moler, en B curva de progreso de concentración en material sin moler. en C cinética de material sin moler, en D curva de progreso de concentración en material sin moler en E curva progreso en el tiempo material sin moler, en F curva progreso en el tiempo material molido. Los puntos son promedio \pm SEM, de 3 experimentos independientes en 3 replicas

Estudios de relación masa y efecto de catalisis

Existe una relación de masa con el efecto de cualquier molécula, se plantea entonces un estudio donde se ve la relación en masa de catalizador y masa de sustrato para lograr lo efectos. En la figura 4A, observamos que hay una relación de masa efecto en generación del reportero, sin embargo se satura más a altas concentraciones, al observar el efecto a bajas concentraciones en la figura 4B, podemos ver como esta tiene una relación directamente proporcional en la figura 4C se

hace un estudio de relación masa estequiométrica, donde podemos observar que el material sin moler o molido, regresa en forma lineal con un mismo coeficiente de Pearson, indicando que al mantener la relación entre sustrato y reactante, se logra una degradación de la materia orgánica. Esta evidencia, nos permite sugerir que se puede manejar los residuos, de una forma eficiente a bajas concentraciones manteniendo una relación 1 a 1 con la masa de reactivo y sustrato.

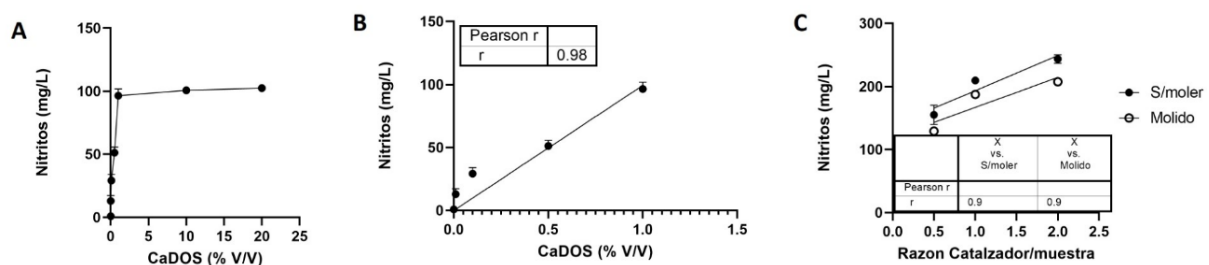


Figura 4. Estudios de relación masa y efecto, en A relación masa efecto, en B correlación entre masa y efecto de catalización y en C relación estequiométrica del material sin moler y molido. Los puntos son promedio \pm SEM, de 3 experimentos independientes en 3 replicas.

Estudios ecotoxicológicos y fitotoxicológicos

El impacto de los procesos de manejo de residuos en suelos debe ser evaluados, así como la incorporación de sustratos al suelo, para eso estudiamos los efectos del material catalizado en el suelo y en agua por la posibilidad de tener lixiviados con potencial

daño. Si bien la molécula en forma aislada ha sido estudiada en forma industrial para su registro y ha demostrado el Catalizador no tener efectos ambientales, es necesario contrastar si el material orgánico así tratado puede generar efectos en el ambiente. En la figura 5 A y 5B se ve el estudio con el uso de un bioreportero como la *D. magna* para

observar efectos ecotoxicológicos del material catalizado, en ambas figuras que corresponde a material sin moler y molido no se ve efecto en la viabilidad de los neonatos de *D. magna*. Por otro lado en la figura 6A, podemos observar imágenes del desarrollo de semillas en condiciones control o con tierra mezclada con material catalizado, en la figura 6B en la cuantificación de curvas de crecimiento en condiciones control y con material catalizado, ambas figuras no muestran cambios en desarrollo de las semillas lo que indica que el

material generado con la catálisis no altera el desarrollo de plantas, en la figura 6C, son imágenes de raíces en las condiciones de control y con material catalizado y en 6D puede observarse una cuantificación del área de desarrollo de las raíces, sin mostrar diferencias significativas. Estos datos nos dan soporte para indicar que el material tratado con el catalizador, al igual que el catalizador solo no genera alteraciones en el desarrollo de las semillas usadas en este protocolo.

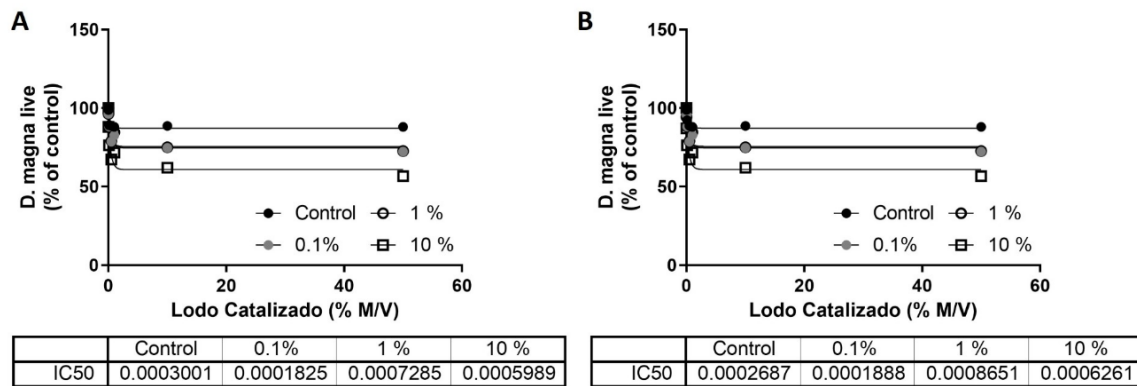


Figura 5. Estudios ecotoxicológicos, en A prueba de viabilidad de bioreportero en material sin moler catalizado, en B prueba de viabilidad de bioreportero en material molido catalizado. Los puntos son promedio \pm SEM, de 3 experimentos independientes en 3 replicas..

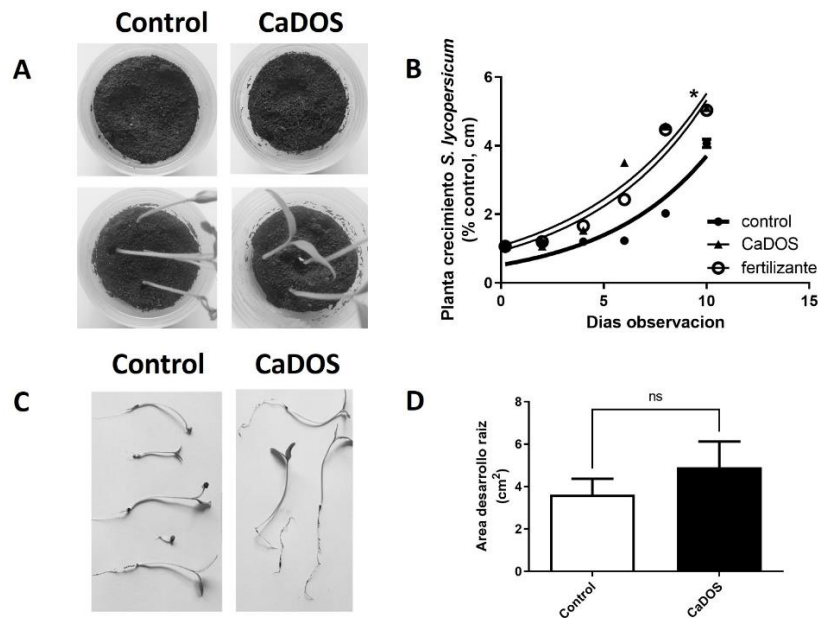


Figura 6. Estudios de fitotoxicidad, en A imagen representativa del crecimiento de plantas, en control y tierra con material catalizado, en B curva de progreso de tiempo del crecimiento de plántulas en tres condiciones. en C imagen representativa de raíces al final de la prueba de crecimiento, En D, grafico de barras representativo del área de las raíces medidas en las dos condiciones. Los puntos y barras son promedio \pm SEM, de 3 experimentos independientes en 3 replicas.

Cambios en el perfil orgánico del suelo

El perfil orgánico del suelo esta dado por la concentración de un trio de compuesto que son nitrógeno, fosfato y potasio y que se denominan NPK, por su sigla en inglés. Nos interesó saber si el material generado genera algún cambio en perfil orgánico del suelo y en especial su potencial uso en la recuperación de suelo. En las figuras 7A, 7C y 7E los cambios en las concentraciones de nitrógeno, fosforo y potasio respectivamente en tierra magra con la agregación de materia orgánica con el catalizador. En las figuras 7B, 7D y 7E,

podemos ver concentraciones de nitrógeno fosforo y potasio respectivamente, pero en suelo de tierra de hojas, rico en nutrientes con materia orgánica expuesta al catalizador. Los resultados indican que, al usar una tierra pobre en nutrientes, el material orgánico catalizado incrementa los niveles de NPK e incluso se asemejan a los valores de NPK de una tierra rica en nutrientes como la de hojas. Esto datos indican que el material orgánico de descarte, catalizado podría usarse en tierras pobres en nutrientes para incrementar la concentración de NPK.

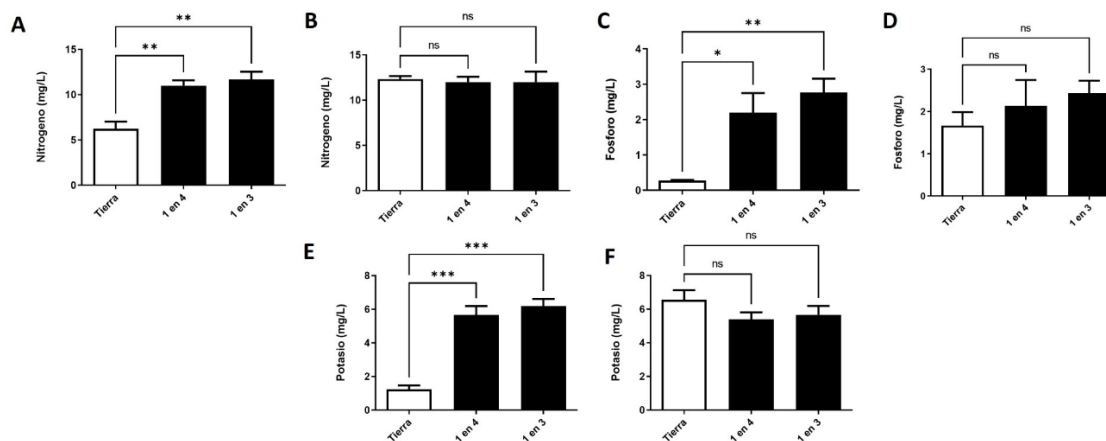


Figura 7. Valores de contenido organico en suelo. en A los valores de nitrógeno de tierra magra con material catalizado, en dos proporciones, en B valores de nitrógeno en tierra de hojas comercial más material catalizado en dos proporciones. en C los valores de fosforo de tierra magra con material catalizado, en dos proporciones, en D valores de fosforo en tierra de hojas comercial más material catalizado en dos proporciones. en E los valores de potasio de tierra magra con material catalizado, en dos proporciones, en F valores de potasio en tierra de hojas comercial más material catalizado en dos proporciones. Las barras son promedios \pm SEM de tres experimentos independientes con sus 3 replicas. El * es para un $p >$ de 0.05 indicando diferencia significativa en los promedios

Discusión

Los residuos de la industria son una molestia en general, se pierden en vertedero, no utilizándose como fuente de nutrientes y si bien las estrategias de compostar han sido integradas a estos procesos aun fallan en ser de largo tiempo, usar muchos espacios y tener volúmenes reducidos. El manejo con surfactante, ya sido demostrado ser útil en manejo de residuos industriales, como lodos de diversas fuentes (Plaza et al., 2022). Los datos generados en este estudio son una evidencia de que la materia orgánica, en un breve tiempo puede ser catalizada y ser usada como enmienda orgánica, a diferencia de lo que se ha reportado para compostera (Bao et al., 2021), En esa línea, el problema del uso de materia orgánica, es la generación de ácidos volátiles que dan olores desagradables (Zang et al., 2017), esto es secundario a la acción de bacterias anaeróbicas, que inicia el

proceso de descomposición (Griffiths et al., 2020), este proceso puede verse reducido en tiempo con las compostera, pero aun así no reduce el olor además que no se recomienda el uso de ciertas fuentes de proteínas por la atracción de vectores a las compostera (Bao et al., 2021). En nuestros resultados, el olor de este material fue totalmente controlado al usar CaDOS, lo que permite ser usado según normas ambientales en suelos no productivos, como se ve en la figura 2, sumado a esto se logró la liberación de biocompuestos esenciales para la recuperación de suelo, como diversas fuentes de nitrógeno y de minerales. Esta liberación la hace en forma dosis y tiempo dependiente, siguiendo una cinética de tipo Michaelis-Menten, con una estequiometria de 1 a 1 con el material, estas evidencias son importantes, para indicar unos efectos tipo enzimáticos en la ruptura de macromoléculas orgánicas y

secundariamente nos permite presentar un protocolo para optimizar el uso del catalizador en pruebas industriales como podemos ver la figuras 3 y 4. En la figura 3 podemos observar que la cinética tiene un Km de 0.2%, lo que indica que concentraciones cercanas a este valor logran un efecto medio, por lo que usar valores de 0.5 al 1% de catalizador no representa una pérdida de la actividad, como se ve en la figura 3, además el tiempo de catálisis puede ser de 12 horas a estas concentraciones logrando un aumento del marcador de nitritos en los estudios como se ve en la figura 3E y 3F. Es en conjunto con los datos estequiométricos de la figura 4 nos permite presentar un protocolo de manejo de la materia orgánica que se genera de las plantas mitíldo. Un importante control es que este material logrado no tenga efectos ambientales, se pudo identificar que el material catalizado no tuvo efectos ecos toxicológicos en pruebas con sensores y que tampoco presento efectos fitotóxicos en pruebas de germinación. Esto hallazgos en conjunto indican que es posible disponer este material catalizado en suelos, sin la generación de olores como un problema de salud pública, que no produce problemas ambientales y que entrega fuentes de nitrógeno a suelo, en la figura 5 y 6 podemos ver que la materia organiza sometida al proceso de catalización no genera efetos ambientales, observados la mantención de la viabilidad de *D. magna* descrito en figura 5 y por qué no se alteró germinación o el desarrollo de raíces resumido en la figura 6D. Finalmente, se midió en suelo degradados el impacto de la incorporación de materia orgánica catalizado, para esto se mido marcadores bioquímicos descritos como materia orgánica en suelo, nitrógeno, potasio y fosforo, denominado NPK por su sigla en inglés, en la figura 7. Lo interesante fue que este perfil aumento en tierras degradadas cuando se aplicó el material catalizado y logra niveles similares a los descritos para tierra de compostaje, como se observa en la figura 7A, C y E. Sin embargo, en este tipo de tierra ya rica en nutrientes, no logra aumentar la concentración, indicando que el material catalizado genera cambios nutricionales, pero no como fertilizante, como se puede observar en figuras 7B, D y F donde el material orgánico catalizado no incrementa lo niveles de NPK en suelo ya ricos en esos mismos nutrientes. Los datos son una aproximación en el manejo de

los residuos, sin olor y permitiendo hacer recircular nutrientes en suelo, como una enmienda orgánica. Es interesante, que hemos sugerido el uso del material, como un enmienda orgánica, en Chile la norma pone énfasis en relación con la generación de olor desde los residuos usados para este fin, así mismo con una concentración de fuentes de nitrógeno, que le permitan ser usado para ciertas faenas agrícolas (Ley N° 20412/2010), según esta ley se indica Existen distintos tipos de enmiendas orgánicas, que se pueden clasificar en: orgánicos de origen animal, lodos de tratamientos y de la industria o actividades productivas. Las fuentes de estas enmiendas son: guanos (frescos y semicompostados), estabilizados, guanos fosilizados, compost, humus, abonos verdes, residuos de cultivos, residuos de madera de la industria forestal, lodos de agroindustrias o de ciudades o combinaciones de las anteriores, por lo que el uso de lodos desde fuentes industriales pueden ser utilizados, pero el olor generado y su baja disponibilidad de nutrientes, no le hacen atractivos para este uso, el sistema como se muestras en nuestros resultados, indican que es factible catalizador, reducir el olor y dejar disponible materia orgánica para plantas. Nuevos estudios, para observar el efecto en suelos degradados, esto está en línea con las políticas de economía circular declaradas por diversos organismo ministeriales (González et al., 2018) y en relación con la reducción de desechos orgánicos según la nueva ruta de economía circular en Chile (<https://economiecircular.mma.gob.cl/hoja-de-ruta/>), abre oportunidades, para el uso de residuos de este tipo de industria, residuos que solo estaban destinados a rellenos sanitarios a fuentes de materia orgánica para faenas agrícolas y poder presentar un opción de catalizar estos residuos como un enmienda orgánica a un tiempo mucho menor de lo actualmente descrito y sin producir olores como un fuentes de problema de salud pública.

Lo discutido, nos permite indicar que el compostaje aún tiene muchas evidencias que deben ser exploradas, se sigue perfeccionando y es una real solución al manejo de los residuos, pero como aún tiene mucho que aportar ser mejorado e incluso reemplazado para algunos procesos, también se ve viable. El compuesto Catalizador que

hemos comenzado a explorar tiene un desarrollo nuevo pero basado en observaciones de compuesto surfactantes similares y se ha podido ver en terreno sus efectos (Parodi et al., 2022; Plaza et al., 2022), hemos podido apoyar su descripción con estudios in vitro e in vivo, en este estudio y donde podemos verlo como una alternativa para obtener nutrientes para recuperar suelos desgastados. Si bien, no presentamos toda la evidencia experimental, esta está disponible y la podemos contrastarla con el proceso de descomposición y compostaje, mostrando que podemos desarrollar una innovación de economía circular en el proceso de compostaje y manejo de residuos orgánicos.

Agradecimientos

Los autores dan las gracias a Mares limpios por facilitar las muestras de material de mitilidos, así mismo al proyecto CORFO 23RIECLL-247407 reto de innovación, foco los lagos circulares

Referencias

Abdalla, M. A., Endo, T., Maegawa, T., Mamedov, A., & Yamanaka, N. (2020). Effectiveness of organic amendment and application thickness on properties of a sandy soil and sand stabilization. *Journal of Arid Environments*, 183, 104273.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jariden.v.2020.104273>

Al-Ghouti, M. A., Khan, M., Nasser, M. S., Al-Saad, K., & Heng, O. E. (2021). Recent advances and applications of municipal solid wastes bottom and fly ashes: Insights into sustainable management and conservation of resources. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101267.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101267>

Andreux, F. (1996). Chapter 2 - Humus in World Soils. In A. Piccolo (Ed.), *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems* (pp. 45-100). Elsevier Science B.V.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-044481516-3/50003-7>

Bao, Y., Feng, Y., Qiu, C., Zhang, J., Wang, Y., & Lin, X. (2021). Organic matter- and temperature-driven deterministic assembly processes govern bacterial community

composition and functionality during manure composting. *Waste Management*, 131, 31-40.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.033>

Benbow, M. E., Receveur, J. P., & Lamberti, G. A. (2020). Death and Decomposition in Aquatic Ecosystems [Review]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8(17).
<https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00017>

Boros, G., Czeglédi, I., Erős, T., & Preiszner, B. (2020). Scavenger-driven fish carcass decomposition and phosphorus recycling: Laboratory experiments with freshwater fish and crayfish. *Freshwater Biology*, n/a(n/a).
<https://doi.org/10.1111/fwb.13576>

Canet, R., & Pomares, F. (1995). Changes in physical, chemical and physico-chemical parameters during the composting of municipal solid wastes in two plants in Valencia. *Bioresource Technology*, 51(2), 259-264.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)00132-K](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)00132-K)

Estrella-González, M. J., Jurado, M. M., Suárez-Estrella, F., López, M. J., López-González, J. A., Siles-Castellano, A., & Moreno, J. (2019). Enzymatic profiles associated with the evolution of the lignocellulosic fraction during industrial-scale composting of anthropogenic waste: Comparative analysis. *Journal of Environmental Management*, 248, 109312.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvma.2019.109312>

Ezugworie, F. N., Igbokwe, V. C., & Onwosi, C. O. (2021). Proliferation of antibiotic-resistant microorganisms and associated genes during composting: An overview of the potential impacts on public health, management and future. *Science of The Total Environment*, 784, 147191.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147191>

González, J. M., Ovalle, M. J., & Salazar, M. (2018). La economía circular como respuesta alternativa a los desafíos de la alimentación: análisis de caso para la situación de Chile. *Revista Chilena de Relaciones Internacionales*, 2(2), 94-104.

Graça, J., Murphy, B., Pentlavalli, P., Allen, C. C. R., Bird, E., Gaffney, M., Duggan, T., & Kelleher, B. (2021). Bacterium consortium drives compost stability and degradation of organic contaminants in in-vessel composting process of the mechanically separated organic fraction of municipal solid waste (MS-OFMSW). *Bioresource Technology Reports*, 13, 100621.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100621>

Griffiths, K., Krosch, M. N., & Wright, K. (2020). Variation in decomposition stages and carrion insect succession in a dry tropical climate and its effect on estimating postmortem interval. *Forensic Sciences Research*, 1-9.

<https://doi.org/10.1080/20961790.2020.1733830>

Guo, Y.-X., Chen, Q.-J., Qin, Y., Yang, Y.-R., Yang, Q.-Z., Wang, Y.-X., Cheng, Z.-a., Cao, N., & Zhang, G.-Q. (2021). Succession of the microbial communities and function prediction during short-term peach sawdust-based composting. *Bioresource Technology*, 332, 125079.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125079>

Gurusamy, N. N., Puffer, N., de Jongh, C., Rodriguez Gil, C., & Aspray, T. J. (2021). Effect of initial moisture content and sample storage duration on compost stability using the ORG0020 dynamic respiration test. *Waste Management*, 125, 215-219.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.048>

He, X., Han, L., & Huang, G. (2020). Analysis of regulative variables on greenhouse gas emissions and spatial pore gas concentrations with modeling during large-scale trough composting. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124066.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124066>

Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(1), 1-2.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70039-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70039-2)

Margaritis, M., Psarras, K., Panaretou, V., Thanos, A. G., Malamis, D., & Sotiropoulos, A. (2018). Improvement of home composting process of food waste using different minerals. *Waste Management*, 73, 87-100.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.009>

Pacheco-Ruiz, I., Zertuche-González, J. A., Arroyo-Ortega, E., & Valenzuela-Espinoza, E. (2004). Agricultural fertilizers as alternative culture media for biomass production of *Chondracanthus squarulosus* (Rhodophyta, Gigartinales) under semi-controlled conditions. *Aquaculture*, 240(1), 201-209.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.044>

Parodi, J., Scott, I., Chavez, V., & Vega, I. (2022). Catalysis of stranded material on beaches in Arauco, Chile: experience with stranded sardines as fertilizer with a chemical solution. *Green Technology, Resilience, and Sustainability*, 2(1).

<https://doi.org/10.1007/s44173-022-00008-w>

Pascual, J. A., García, C., & Hernandez, T. (1999). Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality. *Bioresource Technology*, 68(3), 255-264.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00160-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00160-6)

Plaza, T., Scott, I., Vega, I., Chavez, V., & Parodi, J. (2022). Management of industrial slurries with a chemical catalyst: generation of organic sustainable solution. *Green Technology, Resilience, and Sustainability*, 2(1).

<https://doi.org/10.1007/s44173-022-00006-y>

Rahman, M. H., Haque, K. M. S., & Khan, M. Z. H. (2021). A review on application of controlled released fertilizers influencing the sustainable agricultural production: A Cleaner production process. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101697.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101697>

Santos, A. F., Almeida, P. V., Alvarenga, P., Gando-Ferreira, L. M., & Quina, M. J. (2021). From wastewater to fertilizer products: Alternative paths to mitigate phosphorus demand in European countries.

Artículos

Chemosphere, 284, 131258.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131258>

Schueler, T. A., Dourado, M. L., Videira, S. S., da Cunha, C. D., & Rizzo, A. C. L. (2021). Biosolubilization of verdete: An alternative potassium source for agriculture fertilizer. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 34, 102031.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102031>

Selvam, A., Wang, X., & Wong, J. (2021). Chapter Five - Food Waste Composting: Challenges and Possible Approaches. In J. Wong, G. Kaur, M. Taherzadeh, A. Pandey, & K. Lasaridi (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 137-162). Elsevier.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819148-4.00005-1>

Stewart-Wade, S. M. (2020). Efficacy of organic amendments used in containerized plant production: Part 1 – Compost-based amendments. *Scientia Horticulturae*, 266, 108856.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108856>

Wang, X., Selvam, A., Chan, M., & Wong, J. W. C. (2013). Nitrogen conservation and acidity control during food wastes composting through struvite formation. *Bioresource Technology*, 147, 17-22.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.060>

Wong, J. W. C., Fung, S. O., & Selvam, A. (2009). Coal fly ash and lime addition enhances the rate and efficiency of decomposition of food waste during composting. *Bioresource Technology*, 100(13), 3324-3331.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.063>

Xie, D., Gao, M., Yang, M., Xu, M., Meng, J., Wu, C., Wang, Q., Liu, S., & Sun, X. (2021). Composting—a solution of eliminating a nitrite-rich wastewater by reusing it as a moisture conditioning agent. *Chemosphere*, 284, 131365.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131365>

Xu, Z., Ma, Y., Zhang, L., Han, Y., Yuan, J., Li, G., & Luo, W. (2021). Relating bacterial dynamics and functions to gaseous emissions during composting of kitchen and garden wastes. *Science of The Total Environment*, 767, 144210.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144210>

Zang, B., Li, S., Michel, F. C., Li, G., Zhang, D., & Li, Y. (2017). Control of dimethyl sulfide and dimethyl disulfide odors during pig manure composting using nitrogen amendment. *Bioresource Technology*, 224, 419-427.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.023>

Zhang, M.-j., Jia, J.-q., Lu, H., Feng, M.-c., & Yang, W.-d. (2021). Functional diversity of soil microbial communities in response to supplementing 50% of the mineral N fertilizer with organic fertilizer in an oat field. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(8), 2255-2264.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63331-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63331-7)