

Innovación para la vinculación socioproductiva 2025

Prototipo de biorreactor multifuncional de bajo costo para la producción local de bioinsumos agrícolas en la Región de Valparaíso

Cassamo Mussagy

Email: cassamocortecir@gmail.com

Número: 923779222

1. Nombre del Proyecto

Prototipo de biorreactor multifuncional de bajo costo para la producción local de bioinsumos agrícolas en la Región de Valparaíso

2. Resumen del Proyecto

La Región de Valparaíso enfrenta actualmente una serie de desafíos críticos que amenazan la sostenibilidad de su agricultura: aumento sostenido en el precio de los fertilizantes sintéticos, pérdida de fertilidad en los suelos y una prolongada crisis hídrica. Frente a este escenario, el presente proyecto propone el desarrollo y validación del LABISOST Modelo BioReactaMix, un biorreactor multifuncional de bajo costo, 100% desarrollado en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), destinado a la producción local y autónoma de bioinsumos agrícolas a partir de residuos orgánicos generados por los propios agricultores. El sistema permite operar en condiciones aerobias y anaerobias en un mismo equipo, y cuenta con un biofiltro de lecho fijo que mejora la eficiencia del proceso biológico, favoreciendo el desarrollo de microorganismos benéficos y aumentando la calidad microbiológica del bioinsumo producido. Esta capacidad dual amplía significativamente el espectro de bioinsumos que pueden generarse, incluyendo té de compost, lixiviados fermentados, bioestimulantes y consorcios microbianos adaptados a distintas necesidades productivas. Una de sus principales ventajas es que permite a los agricultores valorizar sus propios residuos orgánicos, como restos vegetales, estiércoles o desechos agroindustriales, transformándolos in situ en productos útiles para mejorar sus suelos y cultivos. Esta capacidad no solo reduce costos de producción, sino que además disminuye la dependencia de insumos externos, fomenta prácticas agroecológicas y contribuye a cerrar el ciclo de nutrientes dentro del mismo predio agrícola. En contraste con soluciones disponibles en el mercado, como el biorreactor aireado para compost desarrollado por Bio-Feed (<https://www.bio-feed.cl/te-de-compost-aireado/>) —que produce extractos líquidos de colonias microbianas, pero que solo trabaja bajo condiciones aeróbicas y a un costo estimado de \$1.980.000 CLP más IVA— el BioReactaMix representa una alternativa más versátil, modular, replicable y accesible, con un costo proyectado de ~ \$700.000 - \$900.000 CLP. El diseño del prototipo considera materiales accesibles y reutilizables, y contempla la transferencia de capacidades técnicas mediante talleres prácticos con agricultores, fomentando la autonomía tecnológica y fortaleciendo las redes locales de innovación rural. La iniciativa busca posicionar una solución concreta, desarrollada desde la academia, al servicio de las comunidades agrícolas de la Región de Valparaíso. El proyecto contribuye a los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Naciones Unidas, 2015): • ODS 2 – Hambre cero: Apoya la producción sostenible y la seguridad alimentaria mediante bioinsumos regenerativos. • ODS 9 – Industria, innovación e infraestructura: Promueve tecnología de bajo costo y desarrollada en Chile, con base científica. • ODS 12 – Producción y consumo responsables: Valoriza residuos orgánicos como materia prima para insumos agrícolas. • ODS 13 – Acción por el clima: Reduce el uso de agroquímicos y su huella ambiental. • ODS 15 – Vida de ecosistemas terrestres: Aporta a la restauración de suelos degradados y mejora la biodiversidad microbiana. Este proyecto representa una innovación tecnológica aplicada desde la PUCV hacia los territorios, con impacto directo en la agricultura regional, fortaleciendo un modelo de desarrollo más resiliente, justo y ecológicamente sustentable. VER FIGURAS DE LA PROPUESTA EN EL LINK (https://drive.google.com/file/d/1tLtSRz86m2PMXPZ-TDdRpSHIOQZMLYn_/view?usp=drive_link)

3. Objetivo General

Desarrollar, validar y transferir un prototipo funcional de biorreactor multifuncional de bajo costo, capaz de operar en condiciones aerobias y anaerobias, para la producción local de bioinsumos agrícolas a partir de residuos orgánicos, promoviendo la autonomía tecnológica de los agricultores y contribuyendo a la sostenibilidad socioproductiva de la Región de Valparaíso.

4. Objetivos Específicos

- Montar el prototipo multifuncional BioReactaMix de 150 L, garantizando su capacidad de operar en condiciones aerobias y anaerobias, utilizando materiales reutilizables y de bajo costo.
- Validar la eficiencia de transferencia de oxígeno durante las fermentaciones aerobias y la producción anaerobia de bioinsumos agrícolas, utilizando diversas materias primas orgánicas para evaluar su capacidad de generar té de compost enriquecido, lixiviados fermentados, bioestimulantes y consorcios microbianos.
- Evaluar la eficiencia operativa del biorreactor en ambos modos de operación (aerobio y anaerobio), mediante el análisis de parámetros operacionales como el tiempo de proceso, la calidad microbiológica de los bioinsumos y la estabilidad del sistema.
- Realizar pruebas de campo para evaluar el desempeño del prototipo en condiciones reales de producción agrícola, midiendo su impacto en la mejora de suelos, cultivos y la viabilidad de su implementación en el entorno agrícola.

5. Problema

5.1 ¿Cuál es el problema, oportunidad o necesidad que da origen a su proyecto?

El proyecto surge de la urgencia de enfrentar los desafíos críticos que actualmente amenazan la agricultura en la Región de Valparaíso. Entre estos retos destacan el aumento constante en el precio de los fertilizantes sintéticos, la degradación progresiva de los suelos y la persistente crisis hídrica. Estos problemas no solo comprometen la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, sino que también limitan la capacidad de los productores para mantener una producción eficiente y rentable, mientras incrementan significativamente los costos operacionales. Desde una perspectiva cualitativa, la dependencia de fertilizantes sintéticos crea un ciclo insostenible de insumos caros y no renovables que deterioran tanto la viabilidad económica como la salud ambiental de la agricultura. A la par, la pérdida de fertilidad de los suelos y la escasez de agua restringen la capacidad de los campos para sostener cultivos a largo plazo, afectando la seguridad alimentaria y la rentabilidad, particularmente en pequeñas y medianas explotaciones agrícolas. La crisis hídrica, con un déficit en los recursos hídricos disponibles para la agricultura, agrava aún más la situación, forzando a los agricultores a recurrir a sistemas de riego más caros y menos eficientes, exacerbando el estrés hídrico. Cuantitativamente, el precio de los fertilizantes sintéticos ha experimentado un aumento del 20% en los últimos años, una tendencia que se ha acelerado debido a factores geopolíticos globales, como el conflicto entre Rusia y Ucrania, así como la subida de aranceles impuestos por Estados Unidos a varios países, lo que ha alterado las cadenas de suministro y aumentado los costos de producción a nivel mundial. Este aumento ha elevado los costos de producción agrícola, ejerciendo una presión económica aún mayor sobre los agricultores, especialmente en países como Chile que dependen de estos insumos para mantener la productividad de sus cultivos. Este contexto ha impulsado la búsqueda de

alternativas más sostenibles, como los bioinsumos. En este escenario, varios países están invirtiendo considerablemente en el desarrollo y uso de bioinsumos, como compost, lixiviados fermentados y bioestimulantes, como una forma de reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos y promover una agricultura más ecológica y económica. A nivel local, la crisis de fertilizantes se entrelaza con otros problemas estructurales, como la degradación de los suelos y la escasez de agua. Más del 57% de los suelos en la región presentan niveles de fertilidad subóptimos, resultado de una sobreexplotación continua, la falta de prácticas de manejo sostenible, erosión y el uso excesivo de químicos. Esta degradación no solo reduce la capacidad de los suelos para retener nutrientes y agua, sino que también aumenta la dependencia de fertilizantes externos y de sistemas de riego costosos, que se ven particularmente afectados por la reducción en los volúmenes de agua disponibles para riego. El uso de bioinsumos agrícolas emerge como una solución clave para mitigar estos desafíos. Estos productos, derivados de microorganismos, compost y lixiviados fermentados, restauran la fertilidad del suelo de manera natural, mejorando su estructura y promoviendo la actividad biológica. Un suelo saludable retiene mejor la humedad, lo que permite reducir la cantidad de riego necesario y mitigar los efectos de la crisis hídrica. Además, los bioinsumos aumentan la resiliencia de los cultivos, favoreciendo su adaptación a condiciones extremas, como la sequía. Al reemplazar parcialmente los fertilizantes sintéticos, los bioinsumos no solo mejoran la sostenibilidad agrícola, sino que también promueven la reciclaje de residuos orgánicos, como restos vegetales y estiércoles, reduciendo costos y fomentando una economía circular más eficiente. Este panorama resalta la necesidad urgente de una innovación tecnológica que aborde estos problemas de manera integral. El biorreactor multifuncional propuesto no solo reduce la dependencia de insumos externos, sino que capacita a los agricultores para producir sus propios bioinsumos a partir de residuos orgánicos locales. Este enfoque innovador no solo mejora la salud del suelo y optimiza el uso del agua, sino que también promueve una agricultura más autónoma, sostenible y adaptada a las condiciones locales de la región.

5.2 ¿A quienes afecta este problema, oportunidad o necesidad?

El problema de los altos costos de los fertilizantes sintéticos, la degradación de los suelos y la escasez de agua constituye una amenaza directa para los agricultores nacionales, particularmente para los de pequeña y mediana escala en la Región de Valparaíso, quienes luchan por mantener la rentabilidad y la sostenibilidad de sus explotaciones. Estos agricultores producen cultivos esenciales para la economía local, como frutas, hortalizas y otros productos agrícolas, fundamentales para la seguridad alimentaria de la región. Sin embargo, el impacto de los elevados costos de insumos, la pérdida de fertilidad de los suelos y la falta de agua está socavando su capacidad de sostener la productividad y competitividad a largo plazo. La vulnerabilidad de estos agricultores se ve agudizada por su alta dependencia de insumos externos y la falta de acceso a tecnologías innovadoras que permitan gestionar de manera eficiente los recursos disponibles. Las tecnologías existentes, que podrían mejorar la fertilidad del suelo y optimizar el uso del agua, son costosas e inaccesibles, lo que profundiza aún más el desafío para los pequeños productores. Esta crisis no solo afecta a los agricultores, sino también a los productores de alimentos, quienes, al depender de insumos caros, ven cómo el precio de los alimentos aumenta, afectando la competitividad de sus productos en el mercado y poniendo en riesgo la seguridad alimentaria local. Además, el sector agroindustrial regional, que depende de la materia prima agrícola para procesar productos, se ve gravemente afectado por la escasez de recursos y la reducción de la productividad. El impacto ambiental es otro factor crítico, pues el uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos y la degradación de los suelos están

provocando una crisis ecológica, con consecuencias devastadoras como la contaminación de fuentes hídricas y la pérdida de biodiversidad.

5.3 ¿Cuál es el tamaño del problema, oportunidad o necesidad?

El tamaño del problema es considerable y afecta a una gran parte de la agricultura regional. En la Región de Valparaíso, más del 60% de los suelos agrícolas presentan niveles de fertilidad subóptimos, lo que reduce su capacidad para sostener cultivos de manera eficiente. Además, la escasez de agua ha provocado una disminución en la disponibilidad de recursos hídricos para riego, lo que limita la producción agrícola y complica el mantenimiento de cultivos en áreas afectadas por el déficit hídrico. La alta dependencia de fertilizantes sintéticos y el costo creciente de estos insumos agravan la situación, forzando a los agricultores a dedicar una proporción significativa de sus recursos a estos productos no renovables, dejando pocas opciones para mejorar la sostenibilidad de las explotaciones. Este escenario presenta una clara oportunidad para el desarrollo y la implementación de tecnologías innovadoras, como el biorreactor multifuncional BioReactaMix de 150 L para la producción local de bioinsumos agrícolas. Esta tecnología ofrece una solución accesible y económica que puede mejorar la fertilidad del suelo, reducir la dependencia de insumos sintéticos y optimizar el uso del agua. Los productores de pequeña y mediana escala, que constituyen la base de la agricultura regional, son particularmente vulnerables a estos desafíos, lo que resalta la necesidad de una tecnología de bajo costo y eficiente que les permita mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de sus explotaciones sin depender de insumos externos costosos. La adopción de esta tecnología no solo aliviaría la presión económica sobre los agricultores, sino que también contribuiría al fortalecimiento de la seguridad alimentaria local y a la promoción de un modelo agrícola más resiliente y ecológicamente sostenible. Además, el sector agroindustrial local se beneficiaría de una oferta más estable, menos costosa y competitiva de materias primas, lo que fortalecería la cadena de valor agroalimentaria en la región.

6. Solución

6.1 ¿En qué consiste su propuesta de solución?

La propuesta de solución consiste en el desarrollo de un biorreactor multifuncional BioReactaMix de bajo costo, diseñado para la producción local de bioinsumos agrícolas a partir de residuos orgánicos. Este sistema es modular y adaptable, lo que permite su uso tanto para fermentaciones aerobias como anaerobias, ofreciendo una solución integral para la gestión sostenible de los recursos en la agricultura. El prototipo BioReactaMix tiene una capacidad inicial de 150 L y será construido con materiales simples, accesibles y reutilizables, que aseguran su bajo costo y facilidad de uso para pequeños y medianos productores agrícolas. Su diseño modular permite operarlo de manera independiente en condiciones aerobias, para la producción de compost y bioestimulantes, o acoplar un módulo adicional para fermentaciones anaerobias, enfocado en la generación de lixiviados fermentados, consorcios microbianos y biogás. Estimando los costos para la construcción del prototipo del biorreactor “Bioreactamix” (Chile): o Cilindro de 150 L (plástico reutilizado de la industria): \$30.000 – \$50.000 CLP o Tapas superior e inferior con soporte: \$90.000 CLP (estimado para 3 unidades) o Válvulas para fluidos (2 unidades): \$30.000 CLP o Válvula de presión: \$25.000 CLP o Conector para manguera: \$5.000 CLP o Mangueras de aire (2 unidades): \$10.000 CLP o Compresor de aire portátil: \$80.000 – \$150.000 CLP o Tubo cilíndrico con malla y manguera espiral perforada: \$50.000 CLP o Eje con impulsor y soporte de torque acoplado: \$120.000 CLP o Bolsa de gas (gas bag): \$30.000 CLP o

Mano de obra: ~ \$250.000 CLP Costo total estimado del prototipo: ~ \$700.000 - \$900.000 CLP. Atributos principales del BioReactaMix: → Capacidad adaptable de 150 L para diversas aplicaciones. → Sistema modular para adaptar las condiciones de fermentación: aerobias o anaerobias, según la necesidad del agricultor. → El sistema incluye una bolsa de gas para almacenar biogás generado durante las fermentaciones anaerobias. → El diseño está pensado para facilitar la operación sin necesidad de personal especializado. → El biorreactor está compuesto por materiales sencillos, como válvulas de presión, mangueras de aire, compresores portátiles, y un eje con impelidor, que permiten la operación eficiente sin grandes costos de infraestructura. → La producción de bioinsumos agrícolas contribuye a la regeneración de suelos, la mejora de la fertilidad de la tierra, la optimización del uso del agua y la reducción de la dependencia de fertilizantes sintéticos. → Es una tecnología versátil, que se puede usar para la producción de compost, bioestimulantes, lixiviados fermentados y otros insumos orgánicos, promoviendo una agricultura más sostenible y autosuficiente. El BioReactaMix tiene como objetivo no solo mejorar la productividad agrícola de los pequeños y medianos agricultores, sino también promover la sostenibilidad a través de la reducción de costos y la optimización de recursos. La tecnología proporciona una solución accesible y efectiva para enfrentar desafíos como la escasez de agua, la degradación de suelos y el alto costo de los insumos agrícolas, permitiendo a los productores generar sus propios bioinsumos de manera local.

6.2 ¿Cuál es el estado del arte?

En la actualidad, existen diversos modelos de biorreactores, tanto aeróbicos como anaeróbicos, que se han desarrollado para la producción de bioinsumos agrícolas, bioenergía, y el tratamiento de residuos orgánicos. Sin embargo, a pesar de la abundante literatura científica y patentes relacionadas con biorreactores, nuestra propuesta se distingue por su tecnología modular y de acoplamiento, la cual permite operar en condiciones tanto aerobias como anaerobias, según las necesidades del proceso. Esto otorga una flexibilidad que no se ha encontrado en soluciones similares. Para este análisis, se realizó una búsqueda exhaustiva en plataformas de patentes como Espacenet, Patentscope e INAPI, en las cuales se documentan numerosos biorreactores de uso agrícola, pero no se identificó ninguna solución que combine de manera eficiente ambas tecnologías en un único dispositivo, ni que ofrezca la capacidad de generar biogás de manera simultánea a la producción de bioinsumos. En términos de avances científicos, la investigación ha mostrado que los biorreactores anaeróbicos y aerobios son eficaces para la descomposición de residuos orgánicos y la producción de biofertilizantes, compost, y biogás, contribuyendo a la reducción de la dependencia de fertilizantes sintéticos y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles. Sin embargo, la versatilidad y bajo costo de los biorreactores combinados con la capacidad de adaptarse a diferentes tipos de fermentación sigue siendo una característica única de nuestra propuesta. Además, se ha realizado un análisis económico preliminar que demuestra la viabilidad y accesibilidad del proyecto para los agricultores locales. Asimismo, se han preparado los primeros diseños técnicos y esquemas del biorreactor (Figura 2 y 3). Esto confirma que el prototipo es factible de implementar y tiene un gran potencial de escalabilidad, optimizando el uso de recursos y reduciendo costos operacionales.

6.3 Grado de Madurez Tecnológica de la Solución

La propuesta de solución, el biorreactor multifuncional BioReactaMix para la producción de bioinsumos, se encuentra actualmente en el nivel TRL 3, ya que hemos completado la fase de diseño conceptual y pruebas experimentales de los componentes clave del sistema. Sin embargo, aún no se ha construido el prototipo completo para

realizar pruebas en condiciones reales de operación. Actualmente, hemos validado el concepto y los principios fundamentales del biorreactor mediante análisis previos y pruebas parciales de los subsistemas involucrados. Evidencia que respalda la selección de TRL 3: 1. Diseño del prototipo: Se han elaborado los planos y dibujos técnicos detallados del biorreactor multifuncional, que incluyen la configuración de los sistemas aeróbicos y anaeróbicos, con módulos de acoplamiento para cada tipo de fermentación, así como el sistema de almacenamiento de biogás. Estos diseños sirven como base para la construcción del prototipo (Figura 1 y 2). 2. Pruebas de componentes individuales: Se han realizado pruebas y validaciones en laboratorio sobre los componentes individuales del sistema, y uso de materia prima para generar biogás a partir del residuo de bioinsumos utilizados para mejoramiento de cultivos. Estas pruebas publicadas en revistas de alto impacto confirmaron que los parte de los subsistemas funcionan según lo esperado en condiciones controladas. → Mussagy CU, Caicedo-Paz AV, Hucke HU, Briones SA, Mascioli HZ, Andrade MAP, Peixoto G, Santander C, Godoy K, Farias FO, Cornejo P. Exploring the potential of red araçá pomace as a feedstock for biogas and biofertilizer production after antioxidant recovery in an organic biorefinery framework. *Biomass Conv. Bioref.* (2025). <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06807-y> → Mussagy CU, Caicedo-Paz AV, Figueroa D, Santander C, Gonzalez F, Tropea A, Mondello L, Spadaro D, Trocino S, Piazza R, Marques R, Godoy K, Cornejo P (2025). Maximizing *Haematococcus* biorefineries: Ionic liquid-based astaxanthin recovery, biocosmetic formulation, solar cell applications, and biofertilizer valorization. *Bioresource Technology*, 426, 132347. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132347> 3. Análisis económico y factibilidad: Se ha realizado un análisis preliminar de viabilidad económica y operativa, demostrando que el bioreactor propuesto tiene un gran potencial para ser implementado de manera rentable en condiciones reales de producción agrícola. El siguiente paso en el proceso es la construcción del prototipo completo, lo que permitirá avanzar a un TRL 4 en laboratorio y posterior TRL 5, a través de pruebas en un entorno real, con el objetivo de probar el sistema en condiciones de producción agrícola. POR FAVOR VER LINK PARA VISUALICION DEL PROTOTIPO (https://drive.google.com/file/d/1tLtSRz86m2PMXPZ-TDdRpS1IOQZMLYn_/view?usp=drive_link)

6.4 Grado de diferenciación de su propuesta.

El biorreactor multifuncional BioReactaMix para la producción de bioinsumos se diferencia significativamente de los productos y tecnologías existentes en el mercado debido a su versatilidad y capacidad de acoplamiento modular para realizar tanto fermentaciones aeróbicas como anaeróbicas. A continuación, en la Tabla 1, se detallan las principales características diferenciadoras en comparación con las soluciones competidoras, pero más costosas, como el Biofeed y otras tecnologías comerciales: Tabla 1. Comparación de características diferenciadoras entre el bioreactor propuesto (BioReactaMix) y las soluciones competidoras en el mercado. Características BioReactaMix Competencia Versatilidad de operación El biorreactor permite realizar tanto procesos aeróbicos como anaeróbicos en un solo sistema mediante módulos de acoplamiento, adaptándose a diferentes necesidades de producción de bioinsumos como compost, lixiviados fermentados, etc. Las tecnologías existentes están diseñadas para un solo tipo de fermentación, lo que obliga a los agricultores a adquirir equipos separados o realizar modificaciones costosas para cambiar entre procesos aeróbicos y anaeróbicos. Sistema de almacenamiento de biogás Incluye un módulo adicional para almacenar biogás generado durante la fermentación anaeróbica, aprovechando este recurso para otras aplicaciones como generación de energía en la explotación agrícola. La mayoría de los biorreactores anaeróbicos existentes no cuentan con un sistema integrado de almacenamiento de biogás, limitando su eficiencia y potencial para optimizar los recursos disponibles. Accesibilidad y costos El BioReactaMix será construido con

materiales simples y de bajo costo (cilindros de 150L, válvulas, compresores de aire portátiles), lo que reduce considerablemente los costos y hace la tecnología más asequible para los agricultores locales. Muchos sistemas de biorreactores comerciales son costosos y requieren componentes especializados que aumentan los costos de implementación, haciéndolos inaccesibles para los agricultores de pequeña y mediana escala. Escalabilidad y personalización El diseño modular permite personalizar y escalar el sistema según las necesidades de producción específicas, facilitando su adopción en diversas condiciones agrícolas y tipos de cultivos. Las soluciones en el mercado suelen ser rígidas, no fácilmente adaptables a diferentes escalas de operación o tipos de cultivos, lo que limita su aplicabilidad y adopción en diversas condiciones.

6.5 ¿Cuál es la hipótesis que se pondrá a prueba?

La hipótesis que se pondrá a prueba en el desarrollo de este proyecto es, verificar si "el biorreactor multifuncional BioReactaMix propuesto, al integrar la capacidad de realizar tanto fermentaciones aeróbicas como anaeróbicas mediante módulos acoplables, optimizará la producción de bioinsumos agrícolas (como compost, lixiviados fermentados, bioestimulantes y consorcios microbianos) a un costo reducido, mejorando la sostenibilidad y eficiencia en la agricultura de pequeña y mediana escala, en comparación con las tecnologías existentes." Esta hipótesis se basa en la suposición de que la flexibilidad operativa y el costo del BioReactaMix permitirá a los agricultores adaptar los procesos a sus necesidades específicas, optimizando el uso de recursos como el agua y los fertilizantes, y mejorando la fertilidad del suelo de manera más económica y ecológica que las soluciones actuales en el mercado. Además, la capacidad de acoplar un módulo de almacenamiento de biogás durante el proceso anaeróbico permitirá aprovechar recursos adicionales para otras aplicaciones, como la generación de energía, lo que incrementará aún más la eficiencia del sistema.

7. Oportunidad de mercado

7.1 ¿Cuál es el mercado objetivo de su propuesta?

El mercado objetivo de nuestra propuesta está centrado en los agricultores de pequeña y mediana escala en la Región de Valparaíso y otras regiones agrícolas de Chile, así como en países de América Latina (Brasil, entre otros) que enfrentan desafíos similares relacionados con la degradación del suelo y dependencia de fertilizantes sintéticos. En la Región de Valparaíso, hay aproximadamente 14,578 productores con explotaciones pequeñas y medianas, lo que representa una parte significativa del total nacional (INE, 2009). Estas explotaciones enfrentan desafíos como la dependencia de fertilizantes sintéticos y la escasez de agua, afectando su sostenibilidad económica y ambiental (IDAC, 2011). Estos agricultores cultivan productos esenciales como frutas, hortalizas, vinos y flores. Además, se estima que, a nivel nacional, las pequeñas y medianas explotaciones constituyen más del 90% de los productores agropecuarios, con una distribución heterogénea según su tamaño y Valor Bruto de Producción (VBP). Por ejemplo, el subsegmento de explotaciones con un VBP entre 200 y 600 UF concentra el 52% de las explotaciones pequeñas (IDAC, 2011). La solución propuesta puede generar ahorros de hasta un 30% en los costos de fertilizantes sintéticos, dependiendo del tipo de cultivo y tamaño de la explotación. Además, la generación de biogás a partir de la fermentación anaeróbica puede traducirse en un ahorro adicional de hasta \$50,000 a \$100,000 CLP mensuales en costos de electricidad, si se utiliza para generación de energía o se vende a la red eléctrica. El mercado objetivo es amplio y presenta una clara oportunidad de expansión, no solo a nivel nacional, sino también en América Latina,

con un gran potencial de escalabilidad gracias a la creciente demanda de soluciones económicas y sostenibles en el sector agrícola y agroindustrial.

7.2 ¿Cuál es su propuesta de continuidad?

El proyecto comienza con la adjudicación del financiamiento inicial de veinticinco millones de pesos (\$25,000,000) del proyecto InES I+D “INID230010, el cual permitirá la construcción del prototipo del bioreactor multifuncional BioReactaMix y su validación en un entorno de prueba. Durante esta fase, se llevarán a cabo pruebas experimentales y ajustes en el diseño para garantizar la funcionalidad del sistema en condiciones reales. Este proceso se realizará en estrecha colaboración con Molledal SPA, quien jugará un papel clave en la implementación y prueba del bioreactor en su entorno productivo. Una vez completada esta fase, se evaluará la efectividad del prototipo y se buscarán fuentes adicionales de financiamiento para la expansión del proyecto. Entre las principales fuentes contempladas se encuentran FONDEF IDeA, FIA, Fundación COPEC UC, CORFO y otras iniciativas de financiamiento público-privado que apoyen la innovación y la sostenibilidad agrícola. Estos recursos se destinarán a la optimización y escalabilidad del sistema, permitiendo su implementación en otras explotaciones agrícolas de pequeña y mediana escala. La continuidad del proyecto dependerá de una estrategia de colaboración con actores locales e internacionales, que permita extender el impacto de la tecnología y garantizar su adopción masiva.

7.3 ¿Cuál o cuáles son los actores o entidades claves para el desarrollo del proyecto?

Los actores clave para el desarrollo de este proyecto incluyen tanto entidades públicas como privadas que desempeñan un rol fundamental en la innovación, escalabilidad y sostenibilidad de la tecnología propuesta: 1. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV): apoya la investigación y el desarrollo del prototipo del BioReactaMix. La PUCV contribuye con su infraestructura, recursos humanos y conocimientos técnicos en áreas clave como biotecnología, ingeniería y sostenibilidad agrícola. El papel de la PUCV también será esencial para la realización de pruebas científicas, la recolección de datos y la mejora continua del sistema. 2. Molledal SPA: Empresa privada que se encuentra directamente vinculada al proyecto, ya que está interesada en adoptar la tecnología del biorreactor multifuncional BioReactaMix para la producción de bioinsumos. Esta colaboración es crucial para las pruebas de campo, la validación del prototipo y la retroalimentación práctica sobre su desempeño en condiciones reales. Molledal SPA, además, tiene experiencia en producción de bioinsumos y es una de las empresas con capacidad de implementación local de tecnologías innovadoras. 3. CORFO: Entidad pública que puede financiar la innovación y el emprendimiento en Chile. Su apoyo será crucial para la expansión y escalabilidad del bioreactor, y facilitará la obtención de recursos para el desarrollo de prototipos adicionales y su implementación en otras regiones. 4. FONDEF: es una fuente importante para el financiamiento de nuevas tecnologías y la transferencia de conocimiento al sector productivo. Este apoyo institucional permitirá realizar estudios más profundos sobre el impacto de los bioinsumos en la agricultura y extender la implementación de la tecnología en el mercado. Estos actores trabajarán de manera colaborativa para garantizar que el proyecto avance de manera eficiente y sostenible, maximizando su impacto en la agricultura local y contribuyendo a la resolución de los problemas asociados con el uso de insumos sintéticos, la degradación del suelo y la escasez de agua.

8. Equipo

Investigador Responsable

- **Nombre:** Cassamo Ussemame Mussagy
- **Rut:** 28083772-5
- **Unidad Académica:** Escuela de Agronomía
- **CV Responsable:** https://drive.google.com/file/d/1zsIMY9jPP4yBpraEZ5PDD4Ko1fOwvxt8/view?usp=drive_link

Investigador@s

Nombre del investigador: Stephanie Braun Galleani
Rut del investigador: 15557447-K
Unidad académica del investigador: Escuela de Ingeniería Bioquímica

9. Entidad Patrocinadora

Nombre patrocinador: El Molledal SPA
Rut patrocinador: 77.886.612-9
Rubro del patrocinador: Investigación y desarrollo experimental; actividades silvoagropecuarias; ventas al por menor y mayor
Región del patrocinador: Valparaíso
Ciudad del patrocinador: Limache
Descripción: Microempresa local dedicada a actividades de apoyo a la agricultura, investigación y desarrollo en ciencias naturales e ingeniería, y comercialización de insumos agropecuarios. Actúa como entidad colaboradora para impulsar soluciones sustentables en el ámbito agrícola.
Link carta de patrocinio: https://drive.google.com/file/d/1E5d1BqITL2iSpVe5-QgHTDEuWQkUBWm1/view?usp=drive_link

10. Plan de trabajo y presupuesto

Objetivo específico: Montaje del prototipo multifuncional

Actividades:

- **Diseño y fabricación del biorreactor BioReactaMix de 150 L**
Desarrollo y construcción del prototipo multifuncional de biorreactor capaz de operar tanto en condiciones aerobias como anaerobias.
Presupuesto: \$3500000
Duración: Mayo - Junio meses
- **Pruebas de ajuste y calibración del sistema de acoplamiento modular**
Pruebas para asegurar el funcionamiento adecuado del acoplamiento modular para realizar fermentaciones aerobias y anaerobias, utilizando materiales reutilizables y de bajo costo.
Presupuesto: \$2000000
Duración: Junio - Julio meses

Objetivo específico: Validación de la eficiencia de transferencia de oxígeno y producción de bioinsumos

Actividades:

- **Evaluación de la eficiencia de transferencia de oxígeno en fermentación aeróbica**
Medición y análisis de la transferencia de oxígeno en el proceso de fermentación aeróbica para validar la eficiencia del sistema.
Presupuesto: \$1500000
Duración: Julio - Agosto meses
- **Evaluación de la producción anaeróbica de bioinsumos**
Validación de la eficiencia en la producción de biogás y bioinsumos agrícolas en condiciones anaerobias, utilizando diversas materias primas orgánicas como residuos agrícolas.
Presupuesto: \$2500000
Duración: Agosto - Septiembre meses
- **Análisis de calidad microbiológica de los bioinsumos producidos**
Análisis microbiológico de los bioinsumos generados para garantizar su calidad y efectividad como fertilizantes o bioestimulantes.
Presupuesto: \$1000000
Duración: Septiembre meses

Objetivo específico: Evaluación de eficiencia operativa del biorreactor

Actividades:

- **Evaluación de parámetros operacionales: tiempo de proceso y estabilidad del sistema**
Análisis de los tiempos de proceso en ambos modos (aerobio y anaerobio), así como la estabilidad operativa del sistema durante las fermentaciones
Presupuesto: \$1200000
Duración: Octubre meses
- **Pruebas de campo para evaluar el desempeño en condiciones reales de producción agrícola**
Pruebas en condiciones agrícolas reales para medir el impacto del biorreactor en la mejora de suelos y cultivos. Evaluación de la viabilidad de su implementación en entornos agrícolas locales.
Presupuesto: \$3500000
Duración: Octubre - Noviembre meses

Objetivo específico: Transferencia tecnológica y difusión de resultados

Actividades:

- **Elaboración de material audiovisual y documentación técnica**
Creación de material audiovisual y documentación técnica para facilitar la transferencia de la tecnología y resultados a los agricultores locales.
Presupuesto: \$1800000
Duración: Diciembre meses

Presupuesto total: 25000000