

Alga marina (Macrocystis Pyrifera) como alternativa nutricional sostenible en porcinos:

Estudio monográfico

Angie Hernández Morales

Erika Johana Jaramillo Cárdenas

Asesor

Madeleydi Ortiz duran

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Zootecnia

2025

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecerle a Dios por ayudarme a cumplir una meta importante en mi vida, también quiero extender mi agradecimiento a mi compañera de investigación ya que no hubiera sido posible este trabajo sin sus ideas y esfuerzos. Asimismo, deseo expresar mi agradecimiento al director de esta monografía, Dra. Madeleydi Duran Ortiz, por la dedicación y el apoyo brindado a este trabajo, por las sugerencias e ideas que direcciono de manera respetuosa y facilitadoras. También gracias a mis padres, que me brindaron una infancia llena de anécdotas maravillosas, que me proporcionaron las fuerzas y energía para lograr crecer como persona y como profesional. Pero, sobre todo, gracias a mi hijo, porque ha sido mi motor a seguir y por el seguiré luchando, porque es el mejor regalo que DIOS me ha dado, por el luchare y seguiré luchando. A todos, muchas gracias.

Quiero agradecerle a Dios por haberme permitido llegar a la meta propuesta, por darme la fuerza y valentía necesaria para culminar este proceso de aprendizaje, a mi compañera de trabajo de grado por su esfuerzo, dedicación y empeño. A nuestro director, la Dra. Madeleydi Duran Ortiz por el apoyo y acompañamiento en el desarrollo del proyecto y a lo largo de la carrera. A mis padres quienes han luchado incansablemente por brindarme lo mejor, por los valores éticos inculcados en mi vida y por hacer de mí una mejor persona, a mis hermanas por el amor y apoyo incondicional siempre.

Dedicatoria

A Dios por ser nuestra guía y permitirnos culminar una etapa más en la vida.

Resumen

El presente estudio monográfico tiene como propósito evidenciar, a través de la revisión de documentos científicos, el potencial del alga marina *Macrocystis pyrifera* como materia prima en dietas alternativas para la alimentación porcina. Este enfoque busca responder a la necesidad de encontrar opciones sostenibles y económicas que contribuyan a mejorar la productividad y el bienestar de los sistemas agropecuarios, particularmente en unidades campesinas. Se realizó una revisión exhaustiva de fuentes documentales para evaluar los aportes nutricionales de *Macrocystis pyrifera*, destacando su contenido de proteínas, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos que benefician el desarrollo y la salud de los cerdos. Asimismo, se identificaron diversas formas de implementación de esta alga en dietas porcinas, tales como harinas, suplementos y mezclas con otros insumos alimenticios. Los resultados obtenidos sugieren que la inclusión de *Macrocystis pyrifera* en la alimentación porcina no solo mejora el perfil nutricional de las dietas, sino que también ofrece beneficios económicos y ambientales al reducir la dependencia de insumos convencionales costosos y la huella ecológica de los sistemas productivos, además, se determinó que esta práctica es factible en unidades campesinas, siempre que se adapten los procesos de recolección, conservación y formulación a las condiciones locales. En conclusión, el uso de *Macrocystis pyrifera* representa una alternativa innovadora y sostenible para optimizar la nutrición porcina, promover la sostenibilidad y fortalecer la economía rural.

Palabras clave: Alga marina, Suplementación Porcina, Nutrición Animal

Abstract

The purpose of this monographic study is to highlight, through the review of scientific documents, the potential of the seaweed *Macrocystis pyrifera* as a raw material in alternative diets for pig feeding. This approach seeks to address the need to find sustainable and economical options that contribute to improving the productivity and welfare of agricultural systems, particularly in small-scale farming units. An exhaustive review of documentary sources was conducted to evaluate the nutritional contributions of *Macrocystis pyrifera*, emphasizing its content of proteins, minerals, vitamins, and bioactive compounds that benefit the growth and health of pigs. Additionally, various methods for implementing this seaweed in pig diets were identified, such as flours, supplements, and mixtures with other feed inputs; The results suggest that the inclusion of *Macrocystis pyrifera* in pig feeding not only enhances the nutritional profile of diets but also offers economic and environmental benefits by reducing reliance on expensive conventional inputs and the ecological footprint of production systems. Furthermore, it was determined that this practice is feasible in small-scale farming units, provided that collection, preservation, and formulation processes are adapted to local conditions. In conclusion, the use of *Macrocystis pyrifera* represents an innovative and sustainable alternative to optimize pig nutrition, promote sustainability, and strengthen the rural economy.

Keywords: Seaweed, Swine Supplementation, Animal Nutrition.

Tabla de Contenido

Introducción	13
Objetivos	15
Objetivo General	15
Marco Teórico	16
Problemática	16
Limitaciones Nutricionales	17
Disponibilidad y Economía de Escala	18
Estabilidad y Homogeneidad del Producto	19
Eficiencia en la Conversión Alimenticia	19
Inversión en Investigación y Desarrollo	20
Limitaciones Económicas	20
La Monopolización del Mercado	22
Impacto en la Rentabilidad de la Industria Porcina	22
Desafíos y Oportunidades de la Sostenibilidad Ambiental en la Fabricación de Alimentos	
Balanceados	23
Sostenibilidad y Disponibilidad de Recursos	23
Seguridad Alimentaria y Diversificación de Fuentes de Nutrientes	23
Mitigación de la Resistencia a los Antibióticos	24
Beneficios Económicos y Adaptabilidad	24
Importancia del Uso de Algas en la Alimentación de Cerdos	25

Utilización de Recursos Renovables	25
Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	26
Mejora de la Eficiencia Alimenticia	26
Reducción de la Presión Sobre los Ecosistemas Terrestres	26
Descripción Morfológica y Taxonomía de (<i>Macrocystis Pyrifera</i>)	27
Descripción Morfológica	27
Distribución Geográfica y Habitación de <i>Macrocystis Pyrifera</i>	28
Características del Hábitat	29
Profundidad.	29
Importancia Ecológica como Especie Clave en Ecosistemas Marinos.....	29
Habitad y Refugio	30
Alimento y Nutrientes	30
Estructura del Habita.....	30
Ciclo de Vida y Reproducción	30
Fase Gametofito	31
Fase Esporofito.....	31
Mecanismos de Esporas	31
Producción de Esporas	31
Dispersión de Esporas	32
Asentamiento y Germinación.....	32
Factores Ambientales que Afectan la Reproducción y el Crecimiento de <i>M. Pyrifera</i>	32
Temperatura del Agua.....	32
Luz Solar	33

Nutrientes	33
Salinidad del Agua	33
Estructura y Fisiología	34
Estructura General.....	34
Estipe.....	34
Fronδας.....	34
Adaptaciones Especiales	34
Tolerancia a la Salinidad.....	35
Regulación del Metabolismo.....	35
Resistencia a las Olas y Corrientes	35
Capacidad de Almacenamiento de Nutrientes	35
Mecanismo de Absorción de Nutrientes y Metabolismo	36
Absorción de Nutrientes.....	36
Metabolismo Primario.....	36
Metabolismo Secundario.....	36
Regulación Metabólica.....	36
Ecología y Biología Poblacional.....	37
Interacciones Ecológicas con otras Especies Marinas	37
Interacciones Tróficas	37
Refugio y Hábitat	37
Competencia y Facilitación.....	37
Impactos Antropogénicos.....	38
Dinámica Poblacional y Factores que Influyen en la Densidad y Distribución.....	38

Factores Abióticos.....	38
Factores Bióticos.....	38
Importancia Económica y usos Comerciales de (Macrocystis Pyrifera).....	39
Industria de Bioproductos	39
Usos comercial	42
Estado del Arte.....	45
Uso de (Macrocystis Pyrifera) en la Alimentación de Cerdos.....	45
Composición Nutricional de (Macrocystis pyrifera).....	45
Beneficios del Uso de (Macrocystis pyrifera) en Cerdos	49
Mejora del crecimiento y rendimiento	49
Tasa de crecimiento.....	49
Ganancia de Peso	49
Salud Digestiva	53
Composición de la Fibra Dietética en (Macrocystis pyrifera)	55
Beneficios de la fibra dietética en (Macrocystis pyrifera).	56
Salud Digestiva	56
Mejora de la Calidad de la Carne.....	57
Resistencia a Enfermedades.....	58
Polisacáridos y su Potencial Inmunomodulador	59
Alginatos	59
Fucanos.	59
Laminarina	59
Fenoles y antioxidantes.	59

	10
Florotaninos.....	59
Pigmentos.....	59
Estudios Relevantes en el Uso de (Macrocystis Pyrifera)	60
Efectos Prebióticos de la Fibra de Algas.....	60
Objetivo del Estudio	62
Metodología	62
Diseño experimental.	62
Sujetos del estudio.	62
Duración del estudio.	63
Mediciones.	63
Resultados	63
Reducción de la grasa Intramuscular	63
Perfil de Ácidos Grasos.....	63
Conclusiones	63
Resultados	64
Efecto de la Fibra Dietética.....	66
Compuestos Bioactivos.....	66
Conclusiones	67
Recomendaciones.....	70
Referencias bibliográficas	71

Listas de Figura

Figura 1 *Efectos de (Macrocystis pyrifer) en la Ganancia de Peso Acumulado en Cerdos en Etapa de Levante..... ¡Error! Marcador no definido.*

Figura 2 *Efectos de (Macrocystis pyrifer) en la Ganancia de Peso Acumulado en Cerdos en Etapa de Engorde ¡Error! Marcador no definido.*

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Investigaciones Sobre el uso de Algas Marinas en la Alimentación Animal</i>	40
Tabla 2 <i>Investigaciones sobre el uso de Algas Marinas en la Alimentación Humana</i>	42
Tabla 3 <i>Composición Nutricional de (Macrocystis pyrifera)</i>	46
Tabla 4 <i>Resumen de Aminoácidos en (Macrocystis pyrifera) según Diferentes Investigaciones</i>	47
Tabla 5 <i>Tasas de Crecimiento en Porcinos al Suministrar (Macrocystis pyrifera) en la Dieta.</i>	50
Tabla 6 <i>Investigaciones sobre la Salud Digestiva en Cerdos por la Inclusión de (Macrocystis pyrifera) en la Alimentación.</i>	54

Introducción

La alimentación en la producción animal es uno de los factores que genera un incremento en los costos de producción, por lo que no debe sorprender que tanto los productores, nutricionistas, empresas productoras de balanceados estén interesados en cualquier desarrollo que reduzca sus gastos, ya sea ofreciendo concentrados balanceados a menor costo, sin afectar el desarrollo productivo pues permiten ayudar a sus animales a utilizar el alimento de forma más eficientemente. (NutriNews 2018).

Las estrategias de las industrias es evaluar el potencial de materias primas, en donde una vez caracterizada, el siguiente paso deberá ser maximizar su valor nutritivo mediante el uso juicioso de aditivos para la alimentación animal de granja. Entre los ingredientes innovadores se encuentran los de origen proteico, energético, aminoácidos industriales, aceites de algas y complementarios para optimizar las dietas, reducir los costos y aumentar la productividad (Ravindran 2016).

La alimentación de los cerdos en la producción porcina moderna depende en gran medida de ingredientes convencionales, principalmente maíz y soja, debido a su alto contenido energético y proteico respectivamente. Sin embargo, esta dependencia genera varios problemas que afectan a la sostenibilidad y viabilidad económica del sector porcino. Los principales problemas incluyen altos costos, disponibilidad limitada y un mercado altamente monopolizado. Estos factores, combinados con los crecientes desafíos ambientales, hacen necesario identificar y desarrollar nuevas alternativas alimenticias, como el uso de algas marinas (Kerns y Good, 2018).

La dependencia de ingredientes alimenticios convencionales en la dieta de los cerdos plantea serios desafíos económicos y de sostenibilidad. La exploración de alternativas, como el uso de algas marinas, ofrece una oportunidad para diversificar las fuentes de alimentación,

reducir costos y mejorar la sostenibilidad ambiental de la producción porcina (Zamora y Borquez, 2022). La investigación y el desarrollo en este campo son cruciales para asegurar la viabilidad futura de la industria porcina en un contexto global cada vez más desafiante (Bonny y Gardner, 2020).

La búsqueda de alternativas alimenticias para porcinos se ha vuelto crucial debido a los crecientes desafíos económicos, ambientales y de sostenibilidad que enfrenta la industria porcina. La (*Macrocystis pyrifera*), una macroalga de rápido crecimiento y rica en nutrientes, se presenta como una alternativa viable y prometedora por las siguientes razones:

Alto valor nutricional, (*Macrocystis pyrifera*) es rica en proteínas, minerales esenciales (como calcio, magnesio y yodo), vitaminas (A, C, E, y B12) y antioxidantes. Estos componentes son cruciales para el crecimiento y la salud de los cerdos. La inclusión de esta alga en la dieta de los porcinos puede mejorar la calidad nutricional de su alimentación, proporcionando una fuente más equilibrada de nutrientes (Ortiz, et al., 2006). La sostenibilidad ambiental ya que el cultivo y la cosecha de (*Macrocystis pyrifera*) son procesos ambientalmente sostenibles. Las algas marinas no requieren tierra cultivable, agua dulce, ni fertilizantes para crecer, reduciendo así la presión sobre los recursos terrestres y acuíferos. Además, las algas actúan como sumideros de carbono, ayudando a mitigar el cambio climático (Gomez-Pinchetti, et al., 2020).

La presente monografía pretende evidenciar a través de revisión de documentos científicos la utilización del alga marina (*Macrocystis pyrifera*) como materia prima en dietas alternativas para la alimentación porcina ya que puede mejorar el bienestar animal y reflejarse en parámetros zootécnicos adecuados para proceso productivo.

Objetivos

Objetivo General

Evidenciar a través de revisión de documentos científicos la utilización del alga marina (*Macrocystis pyrifera*) como materia prima en dietas alternativas para la alimentación porcina

Objetivos Específicos

Revisar fuentes documentales que refieren los aportes nutricionales del alga marina (*Macrocystis pyrifera*) y su uso en la alimentación de porcinos.

Identificar las diferentes alternativas de implementación del alga marina (*Macrocystis pyrifera*) como alternativa nutricional en la alimentación porcina.

Determinar la posibilidad de implementar las diferentes alternativas que ofrece el alga marina (*Macrocystis pyrifera*) en la alimentación porcina en unidades campesinas.

Marco Teórico

Problemática

La carne de cerdo es una de las fuentes de proteína animal más consumidas en el mundo. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la carne de cerdo representa aproximadamente el 36% del total de carne producida en el mundo, superando a la carne de pollo y de res (Pork, 2022). Este alto nivel de producción y consumo destaca la importancia del sector porcino en la dieta global y su papel crucial en la seguridad alimentaria (Godfray, et al., 2010).

El sector porcino contribuye significativamente a las economías de muchos países, tanto en términos de ingresos como de empleo. En países como Estados Unidos, España, y China, la industria porcina es una parte integral del sector agrícola, generando miles de millones de dólares en ingresos y empleando a millones de personas (USDA, 2023). Además, la producción porcina impulsa otros sectores económicos, como la producción de alimentos balanceados, el transporte, y la comercialización (García-Gudiño, et al., 2020).

Los cerdos son animales altamente eficientes en la conversión de alimento en carne, lo que los convierte en una opción favorable para la producción de proteína animal. La eficiencia alimenticia del cerdo, medida como la cantidad de alimento requerida para producir un kilogramo de carne, es una de las más altas entre los animales de granja (Patience, et al., 2015). Esto hace que la producción porcina sea una opción sostenible y económica para satisfacer la creciente demanda de proteínas en el mundo (Rauw, et al., 2020).

El sector porcino es diverso y adaptable, con la capacidad de ajustarse a diferentes entornos y sistemas de producción (Boggia, et al., 2010). Los cerdos pueden criarse en sistemas intensivos, semintensivos y extensivos, lo que permite a los productores adaptarse a las

condiciones locales y a las preferencias del mercado. Esta flexibilidad es una de las razones por las que la producción porcina ha podido expandirse y prosperar en todo el mundo (McGlone, 2013).

La industria porcina ha sido un líder en la adopción de nuevas tecnologías y prácticas de manejo para mejorar la productividad y la sostenibilidad (Dekkers, 2004). Esto incluye el uso de sistemas de alimentación automatizados, técnicas de mejoramiento genético, y prácticas de gestión ambiental que minimizan el impacto de la producción porcina en el medio ambiente (Rovira et al., 2016).

El sector porcino juega un papel crucial en la seguridad alimentaria global, proporcionando una fuente accesible y asequible de proteína de alta calidad (FAO, 2018). La producción porcina contribuye significativamente a satisfacer la creciente demanda de alimentos en el mundo, especialmente en países en desarrollo donde la carne de cerdo es una parte esencial de la dieta (Nardone, et al., 2010).

La industria porcina enfrenta múltiples desafíos en la elaboración de alimentos balanceados que satisfagan los requerimientos nutricionales de los animales y que sean sostenibles económica y ambientalmente.

Limitaciones Nutricionales

Los alimentos balanceados para cerdos dependen en gran medida de ingredientes convencionales como el maíz y la soya, que son las principales fuentes de energía y proteína (Patience, et al., 2015). Sin embargo, estos ingredientes presentan variabilidad en su contenido nutricional debido a factores como las condiciones de cultivo, las prácticas agrícolas, y las fluctuaciones estacionales (Mullan, et al., 2004).

La dependencia de los alimentos balanceados para cerdos en ingredientes convencionales como el maíz y la soya es un aspecto crítico de la industria porcina actual. Este hecho se ha consolidado debido a varios factores, incluidos la disponibilidad, el costo, el contenido nutricional, y la infraestructura establecida para el cultivo, procesamiento, y distribución de estos ingredientes.

El maíz es ampliamente utilizado como la principal fuente de energía en las dietas porcinas debido a su alto contenido energético (alrededor de 3,42 Mcal/kg de energía metabolizable) y su bajo contenido en fibra, lo que lo hace altamente digestible para los cerdos (NRC, 2012). Su perfil nutricional equilibrado proporciona los carbohidratos necesarios para el crecimiento y la reproducción de los cerdos, lo que lo convierte en un ingrediente esencial en la formulación de alimentos balanceados (Stein, et al., 2016).

La harina de soya es la fuente de proteína vegetal más utilizada en las dietas de los cerdos debido a su alto contenido en proteína cruda (aproximadamente 44-48%) y su excelente perfil de aminoácidos, que incluye lisina, metionina, y treonina (De lange, et al., 2010). Estos aminoácidos son esenciales para el crecimiento muscular y el desarrollo general de los cerdos. La soya también contiene una baja cantidad de factores antinutricionales, lo que la hace una opción preferida sobre otras fuentes de proteína vegetal (Cromwell, 2013).

Disponibilidad y Economía de Escala

Tanto el maíz como la soya se cultivan en grandes cantidades a nivel mundial, con una infraestructura establecida para su producción y distribución. Estados Unidos, Brasil y Argentina son los principales productores de estos cultivos, lo que garantiza un suministro constante y estable para los productores de alimentos balanceados (FAO, 2021). La economía de escala

resultante de la producción masiva de estos cultivos contribuye a mantener los costos relativamente bajos en comparación con otros ingredientes (USDA, 2023).

Los ingredientes alternativos a menudo tienen costos más altos y una disponibilidad limitada en comparación con el maíz y la soya. Por ejemplo, ingredientes como el trigo, la cebada, y la harina de canola pueden usarse en dietas porcinas, pero suelen tener un costo por unidad de energía o proteína más alto (Chadd, et al., 2002). Además, estos ingredientes pueden no estar disponibles en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades de grandes operaciones porcinas (Patience, et al., 2015).

La falta de diversificación en los ingredientes de los alimentos balanceados limita la capacidad de los productores de ajustar las dietas para satisfacer las necesidades específicas de los animales en diferentes etapas de desarrollo (Stein, et al., 2007). Esto puede llevar a una subóptima ingesta de nutrientes, afectando el crecimiento y la salud de los cerdos.

Estabilidad y Homogeneidad del Producto

La consistencia en la calidad y el perfil nutricional de la harina de maíz y de soya hace que estos ingredientes sean fáciles de integrar en las dietas balanceadas (Swick, 2017). La homogeneidad de estos productos permite una formulación precisa y predecible de los alimentos, lo que es crucial para el manejo eficiente de las granjas porcinas (Mullan y Pluske, 2004).

Eficiencia en la Conversión Alimenticia

Los cerdos tienen una alta eficiencia en la conversión del maíz y la soya en carne, lo que los convierte en una opción atractiva para los productores (Rauw, et al., 2020). La eficiencia alimenticia es un factor clave en la rentabilidad de la producción porcina, y la utilización de maíz y soya como ingredientes principales en las dietas contribuye a maximizar esta eficiencia (Morales et al., 2013).

Inversión en Investigación y Desarrollo

La industria de alimentos balanceados ha invertido significativamente en la investigación y el desarrollo de productos a base de maíz y soya, optimizando sus perfiles nutricionales y mejorando su disponibilidad (Baker, et al., 2021). Estas inversiones han dado lugar a mejoras en la eficiencia y la sostenibilidad de la producción porcina, lo que refuerza aún más la dependencia de estos ingredientes convencionales (Kim, et al., 2019).

Limitaciones Económicas

El aumento de los precios de los ingredientes convencionales como el maíz y la soya ha incrementado los costos de producción de alimentos para cerdos (Rauw, et al., 2020). Esto afecta directamente la rentabilidad de los productores porcinos, especialmente en mercados donde los márgenes de ganancia son bajos (Chadd, et al., 2002).

La dependencia de Importaciones, genera una insuficiente producción nacional, ya que Colombia no produce suficiente maíz y soya para cubrir la demanda interna, lo que obliga a los productores a depender de importaciones. Según la Federación Nacional de Avicultores de Colombia (FENAVI, 2022), cerca del 70% del maíz y el 95% de la soya utilizados en la producción de alimentos balanceados son importados. Esta dependencia expone a los productores a las fluctuaciones de precios en el mercado internacional (Gutiérrez, et al., 2020).

Las fluctuaciones del tipo de cambio también afectan, ya que el valor del peso colombiano frente al dólar estadounidense es un factor crítico que afecta el costo de las importaciones (Gutiérrez, et al, 2020). Las fluctuaciones en el tipo de cambio pueden incrementar significativamente los costos de las materias primas, como se observó en 2022, cuando el peso colombiano se depreció aproximadamente un 17% frente al dólar (Martínez, 2019).

La volatilidad de precios en el mercado internacional se afecta además por los factores Climáticos y Geopolíticos, los precios del maíz y la soya en el mercado internacional están sujetos a la volatilidad causada por factores climáticos, como sequías en los principales países productores (Estados Unidos, Brasil, Argentina), y por factores geopolíticos, como conflictos comerciales y restricciones a la exportación (FAO, 2023). Estos eventos pueden causar fluctuaciones significativas en los precios, afectando directamente el costo de producción de alimentos balanceados en Colombia (Martínez, 2019).

La especulación financiera en los mercados de futuros de materias primas también contribuye a la volatilidad de los precios. Los inversores compran y venden contratos de futuros basados en las expectativas de precios futuros, lo que puede llevar a picos y caídas en los precios más allá de lo que dictan los fundamentos del mercado (FAO, 2023).

Los costos de transporte y logística se afectan además por la infraestructura limitada, y se puede decir que Colombia enfrenta desafíos significativos en términos de infraestructura de transporte y logística. La red de carreteras y puertos es insuficiente para manejar de manera eficiente el volumen de importaciones de maíz y soya, lo que se traduce en costos adicionales para los productores porcinos (García, 2021).

Las tarifas de fletes internacionales, como el transporte marítimo también han aumentado en los últimos años, en parte debido a la pandemia de COVID-19 y sus efectos en las cadenas de suministro globales. Según (FENAVI, 2023), los costos de fletes internacionales se incrementaron hasta en un 300% entre 2020 y 2022, impactando negativamente el costo de las materias primas importadas.

La Monopolización del Mercado

El mercado de importación de maíz y soya en Colombia está altamente concentrado, con unos pocos grandes proveedores controlando la mayoría del mercado. Esta concentración limita la capacidad de los productores para negociar precios más bajos y reduce la competencia, lo que resulta en precios más altos para los alimentos balanceados (Díaz, 2022).

Las Prácticas Comerciales Desleales como la fijación de precios y los acuerdos de exclusividad, que impiden la entrada de nuevos competidores y dificultan la diversificación de proveedores (Superintendencia de industria y comercio, 2021).

Impacto en la Rentabilidad de la Industria Porcina

El aumento en el costo de las materias primas ha llevado a un incremento en los costos de producción para los porcicultores. Según un estudio de la “Asociación Colombiana de Porcicultores” (Porkcolombia, 2023), los costos de alimentación representan entre el 60% y el 70% de los costos totales de producción. Este aumento de costos reduce significativamente los márgenes de beneficio de los productores.

Los altos costos de las materias primas también afectan la competitividad de la industria porcina colombiana en el mercado internacional (Porkolombia, 2023). Los productores colombianos enfrentan dificultades para competir con países como Brasil y Estados Unidos, donde los costos de producción son más bajos debido a la disponibilidad y el menor costo de las materias primas (DANE, 2022).

Desafíos y Oportunidades de la Sostenibilidad Ambiental en la Fabricación de Alimentos Balanceados

Buscar alternativas en el uso de nuevas materias primas, como las algas marinas, en la elaboración de alimentos balanceados para cerdos es esencial debido a varios factores críticos que afectan la sostenibilidad, la eficiencia de la producción animal, y la salud pública.

Sostenibilidad y Disponibilidad de Recursos

Las algas marinas, que no requieren tierra cultivable ni agua dulce, representan una fuente sostenible de nutrientes que puede aliviar la presión sobre estos recursos limitados (Cambell, et al., 2019). Además, tienen una baja huella de carbono y puede incluso contribuir a la captura de CO₂, lo que las convierte en una alternativa atractiva en el contexto de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la producción animal (Smetacek, y Zingone, 2013

Seguridad Alimentaria y Diversificación de Fuentes de Nutrientes

Las algas marinas ofrecen una fuente de nutrientes diversa y rica en proteínas, ácidos grasos esenciales, vitaminas, y minerales que pueden complementar o sustituir las materias primas convencionales (Bleakley y Hayes, 2017) y así, disminuir la dependencia de un número limitado de cultivos para la alimentación animal que pone en riesgo la seguridad alimentaria global.

El uso de algas marinas contribuye a una mayor resiliencia del sistema alimentario al diversificar las fuentes de materia prima, reduciendo la vulnerabilidad frente a crisis agrícolas como sequías o enfermedades de cultivos (Makkar, et al., 2016).

Mitigación de la Resistencia a los Antibióticos

La creciente preocupación por la resistencia a los antibióticos ha llevado a la búsqueda de alternativas en la alimentación animal. Las algas marinas contienen compuestos antimicrobianos naturales que pueden reducir la necesidad de antibióticos en la alimentación animal, ayudando a mitigar el riesgo de resistencia microbiana (Shannon y Abu-Ghannam, 2016).

Beneficios Económicos y Adaptabilidad

Aunque la implementación de nuevas materias primas como las algas marinas puede tener costos iniciales, a largo plazo, su uso puede resultar económicamente beneficioso debido a su alto rendimiento y disminuir la dependencia de materias primas convencionales, cuyos precios pueden ser volátiles, reduciendo los costos en el largo plazo (Tabassum y Murphy, 2017).

Una de las bondades de las algas marinas es que, pueden ser cultivadas en diversas condiciones ambientales y geográficas, lo que ofrece flexibilidad y adaptabilidad para su producción en diferentes regiones, incluso en áreas costeras donde otros tipos de agricultura no son viables (Kraan, 2013).

En la producción pecuaria un sistema de producción desarrollado en diferentes regiones geográficas del país y con diversas estructuras productivas es la Porcicultura. Uno de los principales desafíos ambientales de este sistema porcícola es encontrar formas de reducir la afectación ambiental, sin comprometer parámetros zootécnicos en la productividad ni en la rentabilidad. Esto requiere buscar y adaptar prácticas más sostenibles, como el uso eficiente de recursos, la gestión adecuada de los desechos y la integración de sistemas agrícolas - y ganaderos para, minimizar los impactos negativos en los ecosistemas circundantes (Westhoesk, et al., 2014).

Es relevante mencionar que, a pesar de los desafíos, existen, varias oportunidades para mejorar la sostenibilidad ambiental de la porcicultura. Estas alternativas incluyen la implementación de tecnologías innovadoras, como la digestión anaeróbica para el tratamiento de desechos (Biodigestores), la producción de alimentos balanceados alternativos utilizando subproductos agrícolas y la adopción de prácticas de manejo en abonamiento del suelo, con el objeto de reducir el uso de agroquímicos, la generación de olores desagradables, la dependencia de materias primas convencionales y el costo de producción por animal. (Van Zanten, et al.,2018).

La sostenibilidad ambiental de la porcicultura es un desafío complejo que requiere un enfoque holístico y colaborativo. Si bien existen preocupaciones legítimas sobre los impactos ambientales de esta industria, también hay oportunidades significativas para mejorar su desempeño mediante la adopción de prácticas más sostenibles y la innovación tecnológica. Al abordar estos desafíos de manera proactiva, podemos trabajar hacia un futuro donde la porcicultura sea parte de un sistema alimentario global más equitativo y sostenible.

Importancia del Uso de Algas en la Alimentación de Cerdos

La utilización de Alga Marina (*Macrocystis pyrifera*) en la alimentación de cerdos se presenta como una estrategia prometedora desde el punto de vista de la sostenibilidad, ya que ofrece una serie de beneficios ambientales, económicos y nutricionales que se fundamentan en varios aspectos claves:

Utilización de Recursos Renovables

Las algas marinas son organismos autótrofos que no requieren tierra ni agua dulce para su cultivo, puesto que, pueden crecer en ambientes marinos utilizando nutrientes del agua y la luz

solar. Esto reduce la presión sobre los recursos naturales limitados y disminuye la competencia por el uso de la tierra y el agua con la agricultura convencional (Godlewska, et al., 2017).

Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

El cultivo de algas puede contribuir a la captura de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico durante su crecimiento, ayudando así a mitigar el cambio climático. Además, al incorporar algas en la dieta de los cerdos, se puede reducir la dependencia de ingredientes convencionales, como la soya y el maíz, cuya producción está asociada con producción de gases de efecto invernadero (Spolaore, et al., 2006).

Mejora de la Eficiencia Alimenticia

Las algas marinas son una fuente rica en nutrientes, incluidos proteínas, vitaminas, minerales y ácidos grasos omega-3. Al incorporar algas en la dieta de los cerdos, se pueden mejorar los índices de conversión alimenticia y ser más eficientes en parámetros zootécnicos, lo que resulta en una menor utilización de recursos convencionales, óptima utilización de recursos y disminuir la huella ambiental por unidad de carne producida (Makkar, et al., 2016).

Reducción de la Presión Sobre los Ecosistemas Terrestres

Al reducir la demanda de cultivos terrestres para la alimentación animal, el uso de algas marinas en la dieta de los cerdos puede ayudar a preservar los ecosistemas terrestres, mitigar la deforestación y proteger la biodiversidad (Ochsenkühn-Petropoulou, et al., 2016).

El uso de algas marinas en la alimentación de cerdos podría convertirse en una opción sostenible desde el aspecto zootécnico y ambiental, lo que puede contribuir a disminuir el uso de materias primas convencionales y la mejora de la eficiencia alimentaria en la producción porcina. Su implementación requiere más investigación y desarrollo, pero ofrece un potencial

considerable para promover sistemas de producción animal más sostenibles y resilientes en el futuro.

Descripción Morfológica y Taxonomía de (*Macrocystis Pyrifera*)

El Alga Marina (*Macrocystis pyrifera*), es conocida como el "sargazo gigante", es una especie de alga parda (Phaeophyceae) que se encuentra en aguas frías y templadas alrededor del mundo.

Descripción Morfológica

El Alga Marina (*Macrocystis pyrifera*) Se caracteriza por su tamaño extraordinario, con tallos que pueden alcanzar longitudes de hasta 50 metros, lo que la convierte en una de las algas más grandes del mundo (Novelo y Tavera, 2022). Posee una morfología distintiva, con hojas largas y en forma de cinta que crecen en racimos desde un disco basal que se adhiere al sustrato (Rosas-Alquicira, et al., 2008). En la parte superior de los tallos, se desarrollan estructuras reproductivas en forma de esporóforos que contienen gametos masculinos y femeninos (Schroeter, et al., 2016).

Descripción Taxonomía

Reino Cromista,

Filo Ocrofita

Clase Phaeophyceae

Orden.Laminariales

Familia.Lessoniaceae,

Género *Macrocystis*,

Especie (*Macrocystis pyrifera*)

La taxonomía de (*Macrocystis pyrifera*) se basa en características morfológicas distintivas, así como en análisis genéticos y filogenéticos. Esta especie pertenece al orden Laminariales, que incluye a las algas pardas gigantes, y es miembro de la familia Lessoniaceae. Es una de las algas más grandes y de mayor importancia económica en su hábitat, tanto por sus propiedades nutricionales como por sus aplicaciones industriales (Kelp, 2019).

(*Macrocystis pyrifera*) es una especie emblemática de algas marinas que desempeña un papel importante en los ecosistemas costeros, proporcionando hábitat y alimento para una variedad de organismos marinos. Su tamaño impresionante y su morfología distintiva la convierten en un objeto de interés para científicos y amantes de la naturaleza por igual.

Distribución Geográfica y Hábitat de *Macrocystis Pyrifera*

(*Macrocystis pyrifera*), conocida como sargazo gigante, es una especie de alga parda que se encuentra en aguas frías y templadas alrededor del mundo. Su distribución geográfica abarca una amplia variedad de regiones costeras en ambos hemisferios, donde las condiciones ambientales son propicias para su crecimiento (Graham, et al., 2007). En el hemisferio norte, *Macrocystis* se encuentra principalmente en la costa oeste de América del Norte, desde Alaska hasta Baja California en México. También se ha registrado en el Golfo de California y en algunas zonas de la costa este de Asia, como Japón y Corea. En el hemisferio sur, esta especie es común en las aguas costeras de Sudamérica, incluyendo Chile, Argentina y Uruguay. Además, se encuentra en las islas del sur del Océano Pacífico, como Nueva Zelanda y Tasmania, así como en partes de Australia (Krumhansl, et al., 2016).

La amplia distribución geográfica de *Macrocystis* y su capacidad para formar hábitats submarinos diversos hacen de esta especie un componente importante de los ecosistemas costeros en muchas partes del mundo (Guiry, et al., 2022). Esta distribución está influenciada por

una serie de factores ambientales, incluyendo la temperatura del agua, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la exposición a las corrientes oceánicas. Prefiere aguas frías y ricas en nutrientes, donde puede formar extensos bosques submarinos conocidos como "bosques de Kelp" (Guiry, et al., 2022).

Características del Hábitat

El hábitat de *Macrocystis* es fundamental para su supervivencia y su papel en los ecosistemas marinos. Estos bosques de algas proporcionan refugio, alimento y hábitat para una amplia variedad de organismos marinos, contribuyendo así a la biodiversidad y la productividad del ecosistema costero (Reed, et al., 2003). Entre estas tenemos:

Profundidad

Suele crecer en aguas poco profundas, aunque puede encontrarse a profundidades de hasta 30-40 metros en áreas con aguas más claras y bien iluminadas (Reed, et al., 2003).

Sustrato. Se adhiere al sustrato a través de un disco basal y forma extensos bosques submarinos en fondos rocosos o arenosos (Lafferty, y Hofmann, 2016).

Corrientes Oceánicas. Prefiere áreas con corrientes oceánicas moderadas que proporcionen un flujo constante de nutrientes y eviten la acumulación de sedimentos (Lafferty, y Hofmann, 2016).

Temperatura del Agua. Prefiere aguas frías con temperaturas que oscilen entre los 6°C y los 20°C (Lafferty, y Hofmann, 2016).

Importancia Ecológica como Especie Clave en Ecosistemas Marinos

El alga marina (*Macrocystis pyrifera*) juega un papel crucial como especie clave en los ecosistemas marinos en los que habita. Su presencia y abundancia tienen numerosos efectos ecológicos que impactan en la biodiversidad y el funcionamiento de estos ecosistemas:

Habitad y Refugio

Los bosques de (*Macrocystis pyrifera*) proporcionan hábitat y refugio para una amplia variedad de organismos marinos, incluyendo peces, invertebrados, aves marinas y mamíferos marinos. Estos organismos utilizan los bosques de algas como áreas de reproducción, alimentación y refugio contra depredadores (Graham, 2004).

Alimento y Nutrientes

El (*Macrocystis pyrifera*) es una fuente importante de alimento para muchos organismos marinos, incluyendo erizos de mar, caracoles, cangrejos y peces herbívoros. Cuando las algas se descomponen, liberan nutrientes en el agua que son utilizados por otros organismos, contribuyendo así a la productividad del ecosistema (Reed, et al., 2011)

Estructura del Habita

La estructura tridimensional de los bosques de (*Macrocystis pyrifera*)_crea micro hábitats variados que aumentan la diversidad de especies y promueven la coexistencia de organismos con diferentes necesidades ecológicas. Esta complejidad estructural también proporciona protección contra la erosión costera y ayuda a mitigar los efectos del cambio climático, como la acidificación oceánica y el calentamiento global. (Steneck, et al., 2002).

Ciclo de Vida y Reproducción

El ciclo de vida de (*Macrocystis pyrifera*)_al igual que otras algas pardas, es caracterizado por una alternancia de generaciones con un único conjunto de cromosomas en las células de un organismo (fase haploide), conocida como gametofito, y una fase diploide, denominada esporofito. La comprensión de estas fases es fundamental para entender la reproducción y la dinámica poblacional de esta especie (Graham, 2004).

Fase Gametofito

El gametofito de (*Macrocystis pyrifera*) es la fase haploide del ciclo de vida. Se desarrolla a partir de esporas haploides liberadas por el esporofito. Esta fase se caracteriza por la presencia de gametangios, estructuras especializadas que producen gametos (óvulos y espermatozoides). Los gametofitos femeninos producen óvulos, mientras que los gametofitos masculinos producen espermatozoides. La fertilización ocurre cuando los espermatozoides nadan hacia los óvulos y se fusionan, formando un cigoto diploide (Reed, et al., 2011).

Fase Esporofito

El esporofito de (*Macrocystis pyrifera*) es la fase diploide del ciclo de vida, que se desarrolla a partir del cigoto diploide (Steneck, et al., 2002). El cigoto se desarrolla y crece para formar una nueva planta adulta, conocida como esporofito. El esporofito es la forma dominante y más visible de (*Macrocystis pyrifera*), con su estructura característica de estipe y frondas. Los esporofitos producen esporas diploides mediante meiosis, que luego son liberadas al medio ambiente para iniciar la fase gametofito.

Mecanismos de Esporas

La reproducción y dispersión de esporas son procesos fundamentales en el ciclo de vida de (*Macrocystis pyrifera*), contribuyendo a la distribución y persistencia de esta especie en los ecosistemas marinos. A continuación, se presenta una revisión bibliográfica sobre los mecanismos involucrados en estos procesos:

Producción de Esporas

(*Macrocystis pyrifera*) produce esporas diploides en los esporofitos adultos. Estas esporas se forman mediante el proceso de meiosis y están contenidas en estructuras llamadas soros, ubicadas en las láminas de las frondas maduras. Las esporas son liberadas al medio ambiente

cuando las estructuras del soro se rompen debido a la acción del agua y el movimiento de las olas (Reed, et al., 2011).

Dispersión de Esporas

Una vez liberadas al medio ambiente, las esporas de *M. pyrifera* son transportadas por corrientes marinas y mareas, lo que les permite dispersarse a áreas distantes de donde fueron liberadas (Druehl, 2016). La dispersión de esporas también puede ser facilitada por organismos marinos, como peces, aves marinas y mamíferos marinos, que pueden transportar esporas adheridas a sus cuerpos o plumas.

Asentamiento y Germinación

Una vez que las esporas son transportadas a un nuevo lugar, pueden asentarse en sustratos adecuados, como rocas o conchas. Bajo condiciones ambientales apropiadas, las esporas germinan y comienzan a desarrollarse en gametofitos, completando así el ciclo de vida de *M. pyrifera* (Graham, y Wilcox, 2000).

Factores Ambientales que Afectan la Reproducción y el Crecimiento de *M. Pyrifera*

(Macrocystis pyrifera) es una especie de alga marina que se encuentra influenciada por una variedad de factores ambientales que afectan su reproducción y crecimiento. Entre estos tenemos:

Temperatura del Agua

Esta macroalga se encuentra principalmente en costas templadas y frías, formando bosques submarinos que sirven de hábitat y alimento para numerosas especies marinas. Las investigaciones han destacado que el rango de temperaturas y las variaciones térmicas tienen efectos significativos sobre el desarrollo de sus fases de vida (esporofito y gametofito) y sobre su productividad general (Rothausler, et al., 2009)

Las investigaciones sobre (*Macrocystis pyrifera*) indican que las temperaturas óptimas para su crecimiento varían entre 10°C y 18°C. Dentro de este rango, se ha demostrado que la tasa de crecimiento del esporofito es máxima, y la productividad de la biomasa es la más alta (Wernberg, et al., 2011). A estas temperaturas, tanto el desarrollo del gametofito como del esporofito ocurre de manera eficiente, lo que asegura una regeneración y crecimiento continuo de la población.

Luz Solar

La disponibilidad de luz solar es esencial para el crecimiento de *M. pyrifera*, ya que es la fuente de energía para la fotosíntesis que se realiza a través de las frondas que, desempeñan una importante función morfológica en la vida del alga, así como en el ecosistema marino (Krumhansl, et al., 2016).

Nutrientes

La disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno y fósforo son esenciales para el desarrollo de las algas marinas. Esta disponibilidad de nutrientes en el agua puede verse afectada por factores como productividad primaria y actividad bacteriana (Christie, et al., 2009).

Salinidad del Agua

Cambios significativos en la salinidad pueden tener efectos adversos en la fisiología y la distribución de *M. pyrifera* (Filbee-Dexter, y Wernberg, 2018), especialmente en la germinación de las esporas y el crecimiento del alga puesto que, la preferencia son aguas con salinidad relativamente constante.

Es relevante identificar estos factores ambientales que son complejos y que puede variar según la región y las condiciones locales para la gestión y conservación de las poblaciones de (*Macrocystis pyrifera*).

Estructura y Fisiología

La anatomía y estructura interna de (*Macrocystis pyrifera*) están adaptadas para su vida en el ambiente marino y son fundamentales para su funcionamiento biológico. Algunas características importantes:

Estructura General

Macrocystis es un alga marina de gran tamaño que forma bosques submarinos en las costas rocosas (Druehl, 2016). Su estructura consta de un estipe largo y cilíndrico que se extiende desde el fondo marino hasta la superficie del agua, donde se encuentran las frondas (Dayton, 1985).

Estipe

El estipe de *M. pyrifera* está compuesto por tejido parenquimatoso, que le otorga rigidez y resistencia a la flexión. En el interior del estipe se encuentran conductos que transportan agua y nutrientes desde la base hasta las frondas superiores (Red, et al., 2011).

Frondas

Las frondas de *M. pyrifera* son largas y laminadas, con una estructura similar a las hojas de las plantas terrestres. Están compuestas por tejido fotosintético que absorbe la luz solar para la fotosíntesis y la producción de energía (Connell, et al., 2008).

Adaptaciones Especiales

(*Macrocystis pyrifera*) presenta adaptaciones especiales en su anatomía y estructura interna que reflejan su adaptación al ambiente marino y son fundamentales para su función en los ecosistemas costeros, pueden resistir la fuerza de las olas y las corrientes marinas, así como para maximizar la captación de luz solar y nutrientes (Krumhansl, et al., 2016).

Estas adaptaciones fisiológicas son esenciales para la supervivencia y el éxito de (*Macrocystis pyrifera*) en su hábitat marino y son objeto de estudio en la investigación sobre la ecología y la conservación de los bosques de algas.

Tolerancia a la Salinidad

M. pyrifera ha desarrollado adaptaciones para tolerar una amplia gama de salinidades en el agua de mar (Connel et al., 2008). Los mecanismos fisiológicos, como la regulación osmótica, ayudan al alga a mantener el equilibrio de agua y sales en sus células (Graham, et al., 2000).

Regulación del Metabolismo

Macrocystis puede regular su metabolismo para adaptarse a cambios en la disponibilidad de nutrientes y luz solar. Durante períodos de alta luminosidad, el alga aumenta la fotosíntesis para maximizar la captación de energía, mientras que, en condiciones de baja luz, puede reducir la actividad fotosintética para conservar energía (Krumhansl, et al., 2016).

Resistencia a las Olas y Corrientes

La estructura robusta del estipe de *M. pyrifera* y su capacidad para absorber y disipar la energía de las olas y las corrientes marinas son adaptaciones fisiológicas cruciales para su supervivencia en ambientes costeros expuestos (Red, et al., 2011).

Capacidad de Almacenamiento de Nutrientes

(*Macrocystis pyrifera*) tiene la capacidad de almacenar nutrientes en su tejido, lo que le permite sobrevivir durante períodos de escasez de nutrientes o cambios en las condiciones ambientales (Filbee-Dexter, et al., 2018).

Mecanismo de Absorción de Nutrientes y Metabolismo

(*Macrocystis pyrifera*) es un alga parda que exhibe una serie de mecanismos de absorción de nutrientes y procesos metabólicos adaptativos que le permiten sobrevivir y prosperar en su ambiente marino.

Absorción de Nutrientes

(*Macrocystis pyrifera*) absorbe nutrientes del agua de mar a través de sus tejidos, incluyendo el estipe y las frondas. El alga utiliza una combinación de difusión pasiva y transporte activo para absorber nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y micronutrientes (Graham, 2004).

Metabolismo Primario

M. pyrifera lleva a cabo la fotosíntesis para producir energía a partir de la luz solar, utilizando clorofila y otros pigmentos fotosintéticos presentes en sus cloroplastos. Durante la fotosíntesis, el alga fija dióxido de carbono (CO₂) y produce oxígeno (O₂), contribuyendo así a la producción primaria en el ecosistema marino (Graham, 2004).

Metabolismo Secundario

Además de su papel en la fotosíntesis, (*Macrocystis pyrifera*) produce una variedad de metabolitos secundarios, como polifenoles y alginatos, que tienen funciones defensivas y estructurales (Roleda, et al., 2009). Estos metabolitos pueden proporcionar protección contra herbívoros y patógenos, así como contribuir a la capacidad de flotación del alga (Gómez, et al., 2009).

Regulación Metabólica

(*Macrocystis pyrifera*) regula su metabolismo en respuesta a cambios en las condiciones ambientales, como la disponibilidad de luz, nutrientes y temperatura. Esta regulación metabólica

puede incluir ajustes en la tasa de fotosíntesis, la acumulación de metabolitos de reserva y la redistribución de nutrientes en la planta (Graham, 2004).

Ecología y Biología Poblacional

Interacciones Ecológicas con otras Especies Marinas

Las interacciones ecológicas entre (*Macrocystis pyrifera*) y otras especies marinas son fundamentales para la estructura y función de los ecosistemas costeros en los que habita.

Interacciones Tróficas

(*Macrocystis pyrifera*) es un hábitat y fuente de alimento para una variedad de organismos marinos, incluyendo herbívoros como erizos de mar, caracoles y peces (Sala, et al., 2001). Estas especies herbívoras pueden afectar la densidad y distribución de *M. pyrifera*, lo que a su vez puede tener impactos en la estructura y biodiversidad de los ecosistemas de bosques de algas (Steneck, et al., 2002).

Refugio y Hábitat

Los bosques de *M. pyrifera* proporcionan refugio y hábitat para una variedad de organismos marinos, incluyendo peces, crustáceos, moluscos y otros invertebrados. Estas especies pueden utilizar los bosques de algas como áreas de alimentación, reproducción y refugio contra depredadores (Graham, et al., 2000).

Competencia y Facilitación

(*Macrocystis pyrifera*) puede competir con otras algas marinas por espacio y recursos, influyendo en la estructura y composición de las comunidades bentónicas (Filbee-Dexter y Scheibling, 2014), además, puede actuar como especie facilitadora al proporcionar estructura tridimensional y microhábitats que benefician a otras especies (Gómez, et al., 2009).

Impactos Antropogénicos

Las actividades humanas, como la pesca, la contaminación y el cambio climático, pueden alterar las interacciones ecológicas entre (*Macrocystis pyrifera*) y otras especies marinas, estos impactos negativos pueden afectar la salud, la resiliencia de los bosques de algas entre otros. (Krumhansl, et al., 2016). Por ello las interacciones ecológicas y su comprensión son cruciales para el manejo y la conservación de los ecosistemas marinos en los que se encuentra presente esta importante alga parda (Krumhansl, et al., 2016).

Dinámica Poblacional y Factores que Influyen en la Densidad y Distribución

La dinámica poblacional de (*Macrocystis pyrifera*) está influenciada por una serie de factores abióticos y bióticos que afectan su densidad y distribución en los ecosistemas marinos. A continuación, se presenta una revisión bibliográfica sobre este tema:

Factores Abióticos

Temperatura del Agua. La temperatura del agua influye en el crecimiento y reproducción de *M. pyrifera*. Agua más fría favorece su desarrollo, mientras que temperaturas extremadamente altas pueden limitarlo (Wernberg, et al., 2012).

Iluminación. La disponibilidad de luz solar afecta la fotosíntesis y el crecimiento de *M. pyrifera*. En áreas con poca luz, la densidad de algas puede ser menor (Reed, et al., 2008).

Oleaje y Corrientes. La fuerza de las olas y las corrientes puede afectar la estabilidad y distribución de los bosques de *M. pyrifera*. Oleajes fuertes pueden arrancar las algas del sustrato y reducir su densidad (Wernberg, et al., 2012).

Factores Bióticos

Depredación. La presión de erizos de mar, caracoles y otros organismos puede reducir la densidad de *M. pyrifera* al consumir sus tejidos (Graham, 2007).

Competencia Interespecífica. Otras especies de algas marinas pueden competir con *M. pyrifera* por espacio y recursos, lo que afecta su densidad y distribución.

Mutualismo. Algunas especies pueden facilitar el establecimiento y crecimiento de *M. pyrifera* proporcionando sustrato o protección contra herbívoros (Graham, 2007).

Importancia Económica y usos Comerciales de (*Macrocystis Pyrifera*)

Comúnmente conocida como alga gigante, es una especie de alga marrón que se encuentra predominantemente en las aguas templadas y frías de los océanos Pacífico y Atlántico. Esta alga es una de las más grandes y de más rápido crecimiento en el mundo, su importancia económica y usos comerciales son significativos.

Industria de Bioproductos

(*Macrocystis pyrifera*) es una fuente importante de bioproductos debido a su alta biomasa y su capacidad para producir compuestos valiosos como el alginato, un polisacárido que se utiliza en diversas industrias.

Alginatos. Los alginatos son utilizados como espesantes, gelificantes y estabilizadores en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Su versatilidad en aplicaciones industriales se debe a sus propiedades viscosas y gelificantes únicas (McHugh, 2003).

Alimentación animal. El uso de (*Macrocystis pyrifera*) como suplemento en la alimentación animal está aumentando debido a su alto contenido en nutrientes y minerales, que mejoran la salud y el rendimiento de los animales.

Suplemento nutricional. La industria alimentaria animal ha estado en constante búsqueda de ingredientes que mejoren la calidad nutricional y la sostenibilidad de los alimentos balanceados. Entre estos ingredientes, el uso de algas marinas ha tomado un papel relevante debido a su alto contenido en nutrientes y su potencial para sustituir fuentes de alimento

tradicionales (Marin, et al., 2015). Esta alga posee una composición rica en proteínas, minerales, vitaminas, y antioxidantes, lo que la convierte en una excelente opción para la alimentación animal (López y Garcia, 2017). Además, su incorporación en alimentos balanceados

Tabla 1

Investigaciones Sobre el Uso de Algas Marinas en la Alimentación Animal

Estudio	Especie animal	Alga Utilizada	Objetivo Principal	Resultados relevantes	Referencia
Marín, A., et al. (2015)	Ganado vacuno	(Macrocystis pyrifera)	Evaluar el valor nutricional de algas en la alimentación bovina	Mejora en la digestibilidad y aumento en la absorción de minerales	Marín et al., 2015
López, M., y García, L. (2017)	Pollos de engorde	Ascophyllum nodosum	Determinar el efecto del suplemento de algas en el crecimiento de pollos	Aumento en la tasa de crecimiento y menor incidencia de enfermedades	López y García, 2017
Silva, P., y Gómez, F. (2019)	Cerdos	(Macrocystis pyrifera)	Reducir el uso de antibióticos mediante el uso de suplementos de algas	Reducción significativa en la necesidad de antibióticos gracias a las propiedades inmunoestimulantes	Silva y Gómez, 2019

Estudio	Especie animal	Alga Utilizada	Objetivo Principal	Resultados relevantes	Referencia
Pérez, J., et al. (2020)	Vacas lecheras	(Macrocystis pyrifera) y Laminaria digitata	Evaluar el impacto de las algas en la calidad de la leche	Mejora en la composición de ácidos grasos (aumento de omega-3) en la leche	Pérez et al., 2020
Martínez, C., y Ramírez, D. (2021)	Ovejas	Ulva lactuca y (Macrocystis pyrifera)	Mejorar la eficiencia alimentaria y la productividad	Aumento en la ganancia de peso y mejora en la eficiencia de conversión alimentaria	Martínez y Ramírez, 2021
Walker, R., et al. (2023)	Ganado vacuno	Asparagopsis taxiformis		Reducción de hasta un 80% en las emisiones de metano en ganado alimentado con suplementos de algas	Walker et al., 2023

Nota. La tabla 1, muestra algunos estudios claves sobre el uso de diferentes especies de algas marinas en la alimentación animal, destacando los beneficios observados en cuanto a crecimiento, salud y sostenibilidad, con un enfoque especial en (Macrocystis pyrifera)

Agricultura. En la agricultura, (Macrocystis pyrifera) se utiliza como fertilizante orgánico debido a su alto contenido en potasio, nitrógeno y otros nutrientes esenciales.

Biofertilizantes. La aplicación de extractos de esta alga en cultivos ha mostrado mejoras en el crecimiento de las plantas, rendimiento y resistencia a enfermedades (Craigie, 2011).

Usos comercial

Alimentación. (*Macrocystis pyrifera*) es consumida directamente en algunos países asiáticos y se utiliza como ingrediente en productos alimenticios debido a su alto valor nutricional.

Productos Alimenticios: Esta alga se procesa en forma de polvo o extracto y se utiliza en sopas, ensaladas y otros alimentos procesados. Su alto contenido en fibra, vitaminas y minerales la hace un complemento alimenticio ideal (Holdt & Kraan, 2011).

Tabla 2.

Investigaciones sobre el uso de Algas Marinas en la Alimentación Humana

Alga Utilizada	Objetivo Principal	Resultados Relevantes	Referencia
(<i>Macrocystis pyrifera</i>)	Evaluar el potencial antioxidante de <i>M. pyrifera</i> en la dieta humana	Alta capacidad antioxidante y actividad antirradicales libres, contribuyendo a la prevención de enfermedades crónicas	Jiménez-Escrig y Goni, 1999
<i>Ulva lactuca</i> y <i>Porphyra</i> spp.	Evaluar el valor nutricional de diversas algas en la dieta humana	Alto contenido de proteínas, fibra y minerales, recomendadas para suplementar la dieta vegetariana y vegana	Fleurence, 2016
(<i>Macrocystis pyrifera</i>)	Estudiar el perfil de ácidos grasos y componentes bioactivos en <i>M. pyrifera</i>	Presencia significativa de ácidos grasos omega-3 y omega-6, y compuestos bioactivos con	Ortiz et al., 2006

Alga Utilizada	Objetivo Principal	Resultados Relevantes	Referencia
		potencial beneficioso para la salud cardiovascular	
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Analizar el uso de algas en productos alimentarios para mejorar la salud digestiva	Alga rica en fibra dietética, ayudando a la regulación del tránsito intestinal y mejora del microbiota	Cornish y Garbary, 2010
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Determinar los efectos del consumo de algas en la reducción del colesterol	Disminución significativa de los niveles de colesterol LDL y triglicéridos en humanos, gracias a los compuestos bioactivos presentes en las algas	Saini et al., 2020
(<i>Macrocystis pyrifera</i>) y <i>Gracilaria</i> spp.	Evaluar la capacidad de las algas para modular la inflamación y el estrés oxidativo en humanos	Reducción de marcadores inflamatorios y disminución del estrés oxidativo en individuos que consumieron algas	Ponce y Flores, 2021

Nota. La tabla 2 muestra una visión general de las investigaciones clave que exploran los beneficios del consumo de algas marinas, con un enfoque en su valor nutricional, su impacto en la salud cardiovascular, digestiva, y en la prevención de enfermedades crónicas, destacando (*Macrocystis pyrifera*) como una fuente relevante de compuestos bioactivos.

Cosmética. La industria cosmética utiliza extractos de (*Macrocystis pyrifera*) en productos para el cuidado de la piel y el cabello debido a sus propiedades hidratantes y antioxidantes.

Productos de Cuidado Personal: Los extractos de esta alga se encuentran en cremas hidratantes, champús y acondicionadores, aprovechando sus propiedades emolientes y regeneradoras (Kim et al., 2017).

Biocombustibles. El potencial de (*Macrocystis pyrifera*) para la producción de biocombustibles es un área de investigación creciente debido a su rápido crecimiento y alta productividad.

Producción de Biogás y Bioetanol: Investigaciones indican que esta alga puede ser una fuente viable de biogás y bioetanol, ofreciendo una alternativa sostenible a los combustibles fósiles (Gómez et al., 2014).

Estado del Arte

Uso de (*Macrocystis Pyrifera*) en la Alimentación de Cerdos

La investigación sobre el uso de algas marinas en la alimentación animal ha ganado considerable atención en los últimos años, con un enfoque particular en (*Macrocystis pyrifera*), también conocida como alga gigante. Esta alga es valorada por su alto contenido nutricional y sus múltiples beneficios para la salud animal. Este estado del arte revisa los estudios más relevantes sobre el uso de (*Macrocystis pyrifera*) en la alimentación de cerdos, destacando sus efectos sobre el crecimiento, la salud digestiva, la calidad de la carne y la inmunidad.

Composición Nutricional de (Macrocystis pyrifera)

(*Macrocystis pyrifera*) es rica en una variedad de nutrientes esenciales que son beneficiosos para la alimentación animal.

Tabla 3

Nutriente	Concentración Reportada	Comentarios Relevantes	Referencia
Proteínas	10 - 15%	Fuente significativa de proteína vegetal para animales rumiantes y no rumiantes. Mejora en la digestibilidad.	Marín et al., 2015
Fibra Cruda	30 - 35%	Alto contenido de fibra (algina) con beneficios digestivos. Mejora la salud intestinal en animales de granja.	Peña-Rodríguez et al., 2011
Ácidos grasos	2.5 - 5%	Presencia de ácidos grasos esenciales como omega-3 y omega-6, beneficiosos para la salud animal.	Ortiz et al., 2006
Minerales	20 - 30%	Rico en calcio, magnesio, potasio y yodo. Promueve el crecimiento óseo y la función metabólica.	Rupérez, 2002
Carbohidratos (incluyendo alginatos)	45 - 50%	Fuente energética importante, mejorando la eficiencia alimentaria en animales de producción.	Marín et al., 2015
Vitaminas (A, C, E)	Presente en concentraciones variables	Las vitaminas antioxidantes apoyan la función inmunológica en animales y el desarrollo saludable.	Dawczynski et al., 2007
Aminoácidos esenciales	Lisina (6-7%), Metionina (2-3%), Treonina (4-5%)	Aminoácidos esenciales para la síntesis proteica y el crecimiento de animales, especialmente en cerdos y aves.	Kumar et al., 2015
Antioxidantes	Altas concentraciones de fucoïdan y polifenoles	Potente actividad antioxidante, mejora la salud animal y reduce el estrés oxidativo.	Peña-Rodríguez et al., 2011
Polisacáridos sulfatados	10 - 15%	Efecto inmunoestimulante, útil en la reducción del uso de antibióticos en animales de granja.	Kumar et al., 2015

Composición Nutricional de (Macrocystis pyrifera)

Nota. La tabla 3 resume la composición nutricional de (*Macrocystis pyrifera*) según diversos estudios que demuestran su potencial en la nutrición animal. Se destaca su contenido en proteínas, ácidos grasos, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos, que pueden mejorar la digestibilidad, el crecimiento y la salud general en diferentes especies animales.

Tabla 4

Resumen de Aminoácidos en (Macrocystis pyrifera) según Diferentes Investigaciones

Aminoácido	Concentración Reportada (%)	Comentarios Relevantes	Referencia
Alanina	3.6 - 4.2%	Aminoácido no esencial importante para la energía celular	Ortiz et al., 2006
Arginina	4.1 - 4.8%	Importante para el ciclo de la urea y la síntesis de proteínas	Dawczynski et al., 2007
Ácido aspártico	7.8 - 8.2%	Contribuye a la síntesis de proteínas y al metabolismo energético	Mabeau Y Fleurence, 1993
Ácido glutámico	11.2 - 12.0%	Alto contenido, importante para el sistema nervioso y como saborizante (umami)	Peña-Rodríguez et al., 2011
Cistina	1.5 - 2.0%	Contribuye a la formación de proteínas estructurales como el colágeno	Ortiz et al., 2006
Fenilalanina	4.5 - 5.0%	Aminoácido esencial importante para la producción de	Rupérez, 2002
Glicina	4.2 - 4.5%	Contribuye a la síntesis de colágeno y funciones inmunológicas	Kumar et al., 2015
Histidina	1.7 - 2.1%	Importante para el crecimiento en niños y reparación de tejidos	Dawczynski et al., 2007
Isoleucina	3.1 - 3.6%	Aminoácido esencial involucrado en la regulación del azúcar en sangre	Ortiz et al., 2006

Aminoácido	Concentración Reportada (%)	Comentarios Relevantes	Referencia
Leucina	6.4 - 6.8%	Participa en la síntesis de proteínas musculares	Rupérez, 2002
Lisina	6.8 - 7.4%	Importante para la síntesis de colágeno y la absorción de calcio	Peña-Rodríguez et al., 2011
Metionina	1.8 - 2.3%	Aminoácido esencial con funciones antioxidantes y en la síntesis de otros aminoácidos	Ortiz et al., 2006
Prolina	3.5 - 4.0%	Contribuye a la síntesis de colágeno y la regeneración de tejidos	Kumar et al., 2015
Serina	3.8 - 4.3%	Importante en la síntesis de proteínas y en las membranas celulares	Mabeau Y Fleurence, 1993
Tirosina	3.6 - 4.0%	Precursora de neurotransmisores como la dopamina y la norepinefrina	Ortiz et al., 2006
Treonina	3.9 - 4.5%	Aminoácido esencial importante para la función hepática y el sistema inmunológico	Rupérez, 2002
Triptófano	1.0 - 1.3%	Precursor de la serotonina, contribuye al bienestar emocional	Dawczynski et al., 2007
Valina	4.0 - 4.5%	Aminoácido esencial que promueve la recuperación muscular	Kumar et al., 2015

Nota. La tabla 4 proporciona un resumen de los aminoácidos presentes en (*Macrocystis pyrifera*) según diferentes investigaciones, destacando su perfil nutricional completo y su relevancia tanto para la salud humana como para su uso potencial como fuente de proteínas en la dieta.

Beneficios del Uso de (*Macrocystis pyrifera*) en Cerdos

Mejora del crecimiento y rendimiento

La inclusión de (*Macrocystis pyrifera*) en la dieta de los cerdos puede mejorar significativamente su tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia.

Tasa de crecimiento

Estudios han mostrado que los cerdos alimentados con dietas suplementadas con algas tienen una mejor conversión alimenticia y mayor ganancia de peso (Makkar et al., 2016).

Ganancia de Peso

La inclusión de (*Macrocystis pyrifera*) en la dieta animal, en particular en porcinos, ha demostrado beneficios sustanciales en la síntesis proteica y el crecimiento muscular debido a su composición nutricional rica en proteínas de alta calidad, aminoácidos esenciales, minerales y otros nutrientes críticos. Estos componentes juegan un papel clave en los procesos metabólicos que promueven la síntesis proteica, lo que se traduce en un mejor crecimiento muscular (Ortiz, et al., 2012).

(*Macrocystis pyrifera*) contiene una cantidad significativa de proteínas (10-15% de su peso seco) que son de alta calidad debido a su perfil balanceado de aminoácidos esenciales, tales como lisina, metionina y treonina, que son fundamentales para la síntesis de proteínas en animales monogástricos como los cerdos (Castro, et al., 2018).

Los aminoácidos esenciales no pueden ser sintetizados por los animales, por lo que deben ser obtenidos a través de la dieta. La lisina, por ejemplo, es crítica para el crecimiento muscular, ya que está directamente involucrada en la síntesis de proteínas musculares y en la reparación de tejidos. El aporte adecuado de lisina y otros aminoácidos a través de (*Macrocystis pyrifera*) optimiza el proceso de crecimiento muscular en porcinos (García, et al., 2017).

Tabla 5.

Tasas de Crecimiento en Porcinos al Suministrar (Macrocystis pyrifera) en la Dieta.

Porcentaje de (Macrocystis pyrifera) en la Dieta	Duración del Estudio	Tasa de Crecimiento Reportada (Ganancia de Peso Diario - GPD)	Efectos Notables	Referencia
5% de (Macrocystis pyrifera)	8 semanas	600 g/día (20% mayor en comparación con el grupo control)	Aumento significativo de peso, mejor conversión alimenticia	Ortiz et al., 2012
10% de (Macrocystis pyrifera)	6 semanas	550 g/día (15% mayor que el grupo control)	Mejor digestibilidad, menor incidencia de enfermedades digestivas	Castro et al., 2018
7% de (Macrocystis pyrifera)	10 semanas	580 g/día (18% más que el grupo control)	Incremento en la eficiencia alimentaria, mejora en la salud intestinal	Hernández-Corona et al., 2020
12% de (Macrocystis pyrifera)	8 semanas	500 g/día (sin diferencias significativas con el grupo control)	Efectos negativos en la palatabilidad con porcentajes altos, sin mejoras en crecimiento	Pino et al., 2016
8% de (Macrocystis pyrifera)	7 semanas	570 g/día (17% mayor que el grupo control)	Mejora en el perfil de ácidos grasos, reducción en grasa corporal	Morales et al., 2015
6% de (Macrocystis pyrifera)	9 semanas	590 g/día (19% más que el grupo control)	Mayor retención de minerales, especialmente calcio y fósforo	García et al., 2017

Nota. La tabla 5 resume diferentes estudios que evaluaron el uso de (Macrocystis pyrifera) en la dieta de porcinos.

Las investigaciones muestran un aumento significativo en la tasa de crecimiento y eficiencia alimentaria cuando se usa hasta un 8-10% de esta alga en la dieta. Sin embargo,

niveles superiores al 10% pueden afectar negativamente la palatabilidad y no mostrar mejoras en el rendimiento. Además, se observan beneficios adicionales, como una mejor retención de minerales y la mejora del perfil de ácidos grasos en porcinos.

La inclusión de (*Macrocystis pyrifera*) en la dieta mejora la eficiencia de la conversión alimenticia, lo que significa que los cerdos pueden convertir los alimentos en masa corporal de manera más eficiente. Esto se debe a la alta biodisponibilidad de los nutrientes presentes en las algas, lo que resulta en

Mayor crecimiento muscular. Los Junto con la mejora de la digestibilidad, *Macrocystis* permite una mayor asimilación de nutrientes esenciales para el crecimiento. Esto significa que una mayor proporción de proteínas y aminoácidos consumidos son absorbidos y utilizados por el organismo para el desarrollo muscular, en lugar de ser excretados. Estudios han mostrado que los porcinos alimentados con dietas suplementadas con (*Macrocystis pyrifera*) muestran una mejor eficiencia de conversión alimentaria, lo que indica que los animales utilizan mejor las proteínas de la dieta para el crecimiento corporal. Esto puede explicarse por la presencia de compuestos bioactivos en el alga que favorecen la digestión y absorción de nutrientes (Castro, et al., 2018).

Mejor utilización de ácidos grasos. La inclusión de *Macrocystis* en la nutrición animal mejora la utilización de los ácidos grasos debido a varios mecanismos: mejora la digestión y absorción de los lípidos, modifica favorablemente el perfil de ácidos grasos en los tejidos, reduce el estrés oxidativo que degrada los lípidos, y estimula el metabolismo lipídico. Estos factores combinados promueven una mayor eficiencia en el uso de los ácidos grasos como fuente de energía, mejorando la salud y el rendimiento productivo de los animales.

Los compuestos que contiene (*Macrocystis pyrifera*), como polisacáridos sulfatados y fucoidan, mejoran la emulsificación de los lípidos en el tracto digestivo, facilitando la absorción de ácidos grasos. Estos compuestos actúan como agentes emulsificantes, ayudando a descomponer los lípidos en formas más pequeñas que son más fácilmente absorbidas por los enterocitos en el intestino delgado. Al mejorar la emulsificación y absorción de los ácidos grasos, permite una utilización más eficiente de los lípidos de la dieta, lo que se traduce en un mayor aporte de energía disponible para el animal (Castro et al., 2018).

El uso de (*Macrocystis pyrifera*) en la dieta de animales ha mostrado modificar el perfil de ácidos grasos en los tejidos, promoviendo una mayor acumulación de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) beneficiosos como los ácidos grasos omega-3 (EPA y DHA), mientras reduce la concentración de ácidos grasos saturados. Estos cambios en el perfil lipídico son beneficiosos tanto para la salud animal como para la calidad del producto final (carne, leche, etc.) (Morales, et al., 2015). Este mismo autor reporto que cerdos alimentados con dietas suplementadas con (*Macrocystis pyrifera*) mostraron un aumento significativo en la concentración de ácidos grasos poliinsaturados en el tejido muscular y una disminución en los niveles de grasa saturada, lo cual es beneficioso para la calidad del producto final. Algunos de los componentes bioactivos de (*Macrocystis pyrifera*), como el fucoidan y el ácido algínico, han demostrado estimular el metabolismo lipídico, promoviendo la oxidación de ácidos grasos y reduciendo la acumulación de grasa en el cuerpo. Estos compuestos actúan regulando enzimas clave del metabolismo lipídico, como la lipasa y las enzimas responsables de la oxidación de ácidos grasos en el hígado. La inclusión de (*Macrocystis pyrifera*) fomenta la utilización de los ácidos grasos como fuente de energía en lugar de su almacenamiento como grasa, lo que contribuye a un mayor rendimiento y crecimiento del animal (Hernández-Corona, et al., 2020).

Salud Digestiva

La alimentación de los cerdos en la industria porcina ha evolucionado en busca de dietas que no solo promuevan el crecimiento eficiente, sino también el bienestar y la salud general del animal. En este contexto, la inclusión de ingredientes naturales como (*Macrocystis pyrifera*), una macroalga marina rica en nutrientes, ha ganado gran interés debido a sus múltiples beneficios digestivos.

Diversos estudios a partir han evaluado el impacto de (*Macrocystis pyrifera*) en la salud intestinal de los cerdos, demostrando mejoras en la digestión, el equilibrio del microbiota intestinal, la absorción de nutrientes y la función del sistema inmunológico.

La fibra dietética juega un papel esencial en la salud digestiva de los cerdos, ya que no solo regula el tránsito intestinal, sino que también influye en el microbiota intestinal, la producción de metabolitos beneficiosos y la función del sistema inmunológico. La inclusión de (*Macrocystis pyrifera*), ha mostrado ser una adición prometedora en las dietas de cerdos por su capacidad para mejorar la salud digestiva y optimizar el bienestar general de los animales (Navarro, et al., 2023).

La fibra dietética de (*Macrocystis pyrifera*) tiene un efecto directo sobre la regulación del tránsito intestinal. Al ser una fuente rica en fibra insoluble y soluble, esta alga contribuye a una mayor hidratación del bolo alimenticio, incrementando el volumen fecal y mejorando el tránsito gastrointestinal, lo que puede prevenir trastornos digestivos como el estreñimiento (Garcia, et al., 2017).

La fibra contenida en el alga también actúa como prebiótico, sirviendo de sustrato para la fermentación bacteriana en el colon. La fibra soluble, en particular, favorece el crecimiento de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, las cuales son esenciales para

mantener un equilibrio saludable en el microbiota intestinal y prevenir el crecimiento de bacterias patógenas (Castro, et al., 2018).

Una de las principales funciones de la fibra dietética soluble de (*Macrocystis pyrifera*) es su fermentación por parte del microbiota intestinal, lo que resulta en la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como el butirato, el acetato y el propionato. Estos metabolitos son fundamentales para el mantenimiento de la salud intestinal, ya que proveen energía a las células del colon, mejoran la absorción de nutrientes y tienen propiedades antiinflamatorias (Hernandez_Corona, et al., 2020).

Tabla 6.

Investigaciones sobre la Salud Digestiva en Cerdos por la Inclusión de (Macrocystis pyrifera) en la Alimentación.

	Autores	Objetivo del Estudio	Principales Hallazgos
2017	García, M., et al.	Evaluar el efecto de (<i>Macrocystis pyrifera</i>) en la digestibilidad de nutrientes en cerdos	La inclusión del 5-10% de (<i>Macrocystis pyrifera</i>) en la dieta mejoró la digestibilidad general, especialmente de proteínas y lípidos.
2018	Castro, R., et al.	Investigar el impacto de (<i>Macrocystis pyrifera</i>) en el microbiota intestinal de cerdos	Se observó un incremento en la diversidad microbiana benéfica y una disminución de bacterias patógenas en el tracto digestivo.
2019	López-Santamaría, M., et al.	Evaluar los efectos de los compuestos bioactivos de (<i>Macrocystis pyrifera</i>) sobre la mucosa intestinal de cerdos	El alga mejoró la integridad de la mucosa intestinal, reduciendo la permeabilidad y fortaleciendo las barreras inmunitarias en el tracto gastrointestinal.

	Autores	Objetivo del Estudio	Principales Hallazgos
2020	Hernández-Corona, J., et al.	Evaluar el uso de (<i>Macrocystis pyrifera</i>) en la salud intestinal de cerdos de engorde	Mejóro la función intestinal, aumentando la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) en el intestino grueso, lo que mejoró la salud digestiva.
2021	Martínez-Silva, R., et al.	Analizar los efectos de (<i>Macrocystis pyrifera</i>) sobre el metabolismo digestivo en cerdos jóvenes	Incrementó la producción de enzimas digestivas y mejoró la absorción de nutrientes en los primeros meses de vida, lo que optimizó el rendimiento digestivo.
2023	Navarro, G., et al.	Evaluar el impacto de la suplementación de (<i>Macrocystis pyrifera</i>) en la salud digestiva y el crecimiento	Mejóro la estructura intestinal y promovió un balance positivo en la flora microbiana, resultando en mayor eficiencia alimenticia y mejor crecimiento.

Nota. La tabla 6 muestra que la inclusión de (*Macrocystis pyrifera*) en la dieta de cerdos ha demostrado efectos positivos sobre la salud digestiva, mejorando la digestibilidad de nutrientes, el equilibrio del microbiota intestinal y la integridad de la mucosa intestinal. Estos beneficios, en conjunto, contribuyen a una mejor eficiencia alimentaria y un crecimiento más saludable en cerdos.

Composición de la Fibra Dietética en (*Macrocystis pyrifera*)

La fibra dietética en (*Macrocystis pyrifera*) está compuesta por una variedad de polisacáridos, entre los que destacan:

Alginatos. Son los principales componentes de la pared celular de las algas pardas y tienen propiedades gelificantes.

Fucanos. Sulfatos de polisacáridos con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.

Celulosa. Contribuye a la estructura y rigidez de las algas.

Laminarina. Un polisacárido con propiedades prebióticas.

Estas fibras dietéticas son reconocidas por sus efectos beneficiosos sobre la salud digestiva y metabólica (Marinho-Soriano et al., 2006).

Beneficios de la fibra dietética en (*Macrocystis pyrifera*).

Salud Digestiva

La fibra dietética es esencial para el funcionamiento saludable del sistema digestivo. En el caso de (*Macrocystis pyrifera*), los componentes fibrosos ofrecen varios beneficios:

Mejora del Tránsito Intestinal. La fibra dietética aumenta el volumen de las heces y facilita su paso por el intestino, previniendo el estreñimiento.

Prebióticos. Los fucanos y la laminarina actúan como prebióticos, promoviendo el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino y mejorando la salud intestinal general (De Jesús Raposo et al., 2016).

Control del Peso y Metabolismo. La fibra dietética de (*Macrocystis pyrifera*) puede ayudar en el control del peso y mejorar el metabolismo.

Sensación de Saciedad. La fibra aumenta la sensación de saciedad, lo que puede ayudar a reducir la ingesta calórica total.

Regulación del Azúcar en Sangre. Al ralentizar la digestión, la fibra dietética ayuda a prevenir picos de glucosa en sangre, lo que es beneficioso para la gestión de la diabetes (Mouritsen, 2013).

Propiedades Antioxidantes y Antiinflamatorias. Los fucanos presentes en la fibra de (*Macrocystis pyrifera*) tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias:

Reducción del Estrés Oxidativo. Los antioxidantes en la fibra ayudan a neutralizar los radicales libres, reduciendo el daño celular.

Actividad Antinflamatoria. Los fucanos pueden reducir la inflamación crónica, lo que es beneficioso para la salud cardiovascular y otras enfermedades inflamatorias (Wijesekara et al., 2011).

Mejora de la Calidad de la Carne

La inclusión de algas en la dieta puede mejorar la calidad de la carne, en términos de perfil de ácidos grasos y contenido nutricional. (*Macrocystis pyrifera*) es rica en ácidos grasos poliinsaturados, especialmente los ácidos grasos omega-3 y omega-6. Estos ácidos grasos esenciales no pueden ser sintetizados por los animales y deben ser obtenidos a través de la dieta. Los beneficios específicos incluyen:

Omega-3. Este ácido graso es conocido por sus propiedades antiinflamatorias y beneficios cardiovasculares. En la carne, una mayor proporción de omega-3 en comparación con los ácidos grasos saturados puede contribuir a una mejor salud para el consumidor (Mouritsen, 2013).

Omega-6. También son esenciales y participan en funciones biológicas vitales. Sin embargo, es importante mantener un equilibrio adecuado entre omega-3 y omega-6 para evitar efectos proinflamatorios.

(*Macrocystis pyrifera*) también es una fuente rica de minerales y vitaminas, que incluyen:

Minerales. Calcio, magnesio, potasio, hierro y yodo son esenciales para el metabolismo y el desarrollo saludable de los animales.

Vitaminas. Las vitaminas A, C, E y del complejo B contribuyen a funciones antioxidantes y a la salud general del organismo (Marinho-Soriano et al., 2006).

Estos nutrientes no solo mejoran la salud de los cerdos, sino que también se reflejan en la calidad nutricional de la carne producida. Los componentes antioxidantes de (*Macrocystis pyrifera*), como los fucanos, pueden mejorar la calidad de la carne al reducir el estrés oxidativo en los tejidos musculares de los cerdos. Esto puede llevar a:

Mejor Conservación. La carne con menor oxidación lipídica tiene una vida útil más larga y mejor calidad sensorial.

Mejora de la Textura y Sabor. La reducción del estrés oxidativo contribuye a una carne más tierna y sabrosa (Wijesekara et al., 2011).

Resistencia a Enfermedades

Las propiedades antioxidantes y antimicrobianas de (*Macrocystis pyrifera*) pueden fortalecer el sistema inmunológico de los cerdos, haciéndolos menos susceptibles a enfermedades.

Inmunidad. El uso de esta alga puede reducir la incidencia de enfermedades y mejorar la respuesta inmune de los animales (Cruz-Rivera & Hay, 2000).

La fibra dietética de (*Macrocystis pyrifera*) actúa como prebiótico, favoreciendo el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino de los cerdos. Un microbiota intestinal saludable mejora la absorción de nutrientes y la eficiencia digestiva, lo que se traduce en:

Mejor Estado de Salud General. Los animales con un microbiota equilibrado son más saludables y tienen mejores tasas de crecimiento.

Mayor Deposición de Nutrientes. Los nutrientes son mejor absorbidos y utilizados, mejorando la calidad de la carne en términos de contenido nutricional (De Jesús Raposo et al., 2016).

Polisacáridos y su Potencial Inmunomodulador

Alginatos. Los alginatos son polisacáridos abundantes en la pared celular de (*Macrocystis pyrifera*). Además de sus propiedades gelificantes, poseen actividades inmunomoduladoras significativas: Estimulación del Sistema Inmune: Los alginatos pueden activar los macrófagos, células clave en la respuesta inmune, mejorando la capacidad del cuerpo para combatir infecciones (Zvyagintseva et al., 2003).

Fucanos. son polisacáridos sulfatados con potentes efectos inmunomoduladores que generan activación de Células Inmunes. Los fucanos pueden activar linfocitos y células NK (natural killer), aumentando la respuesta inmune contra patógenos (Wijesekara et al., 2011). Además de las propiedades Anti-Inflamatorias: Tienen la capacidad de reducir la inflamación crónica, un factor contribuyente en muchas enfermedades (Li et al., 2008).

Laminarina. es otro polisacárido con efectos beneficiosos en el sistema inmunológico, que puede mejorar la actividad fagocítica de los macrófagos y la producción de citoquinas, esenciales para la comunicación entre las células inmunes (El-Baky et al., 2008).

Fenoles y antioxidantes.

Florotaninos

son compuestos fenólicos con fuertes propiedades antioxidantes que pueden generar reducción del Estrés Oxidativo, estos pueden proteger las células inmunitarias del daño causado por los radicales libres, mejorando la función inmune (Heffernan et al., 2015).

Pigmentos

Fucoxantina. es un pigmento carotenoide con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, y que produce la modulación de la Respuesta Inmune. La fucoxantina puede

influir en la producción de citoquinas y la actividad de células inmunitarias, mejorando la capacidad del cuerpo para responder a infecciones y enfermedades (Heo et al., 2010).

Vitaminas y Minerales. Las vitaminas y minerales presentes en (*Macrocystis pyrifera*) también son cruciales para la función inmune:

Vitaminas C y E. Actúan como antioxidantes, protegiendo las células inmunitarias del daño oxidativo.

Yodo. Es esencial para la producción de hormonas tiroideas, que pueden influir en la respuesta inmune.

Calcio y Magnesio. Importantes para la función celular y la señalización intracelular en las células inmunitarias (Marinho-Soriano et al., 2006).

Estudios Relevantes en el Uso de (*Macrocystis Pyrifera*)

Efectos Prebióticos de la Fibra de Algas

Un estudio realizado por De Jesús Raposo et al. (2016) investigó los efectos prebióticos de los polisacáridos de algas, incluyendo los presentes en (*Macrocystis pyrifera*). Los resultados mostraron un aumento en la población de bacterias beneficiosas en el intestino, lo que mejora la salud digestiva y general.

Propiedades Antioxidantes y Antiinflamatorias. Wijesekara et al. (2011) revisaron las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias de los fucanos derivados de algas pardas. Encontraron que estos compuestos tienen un efecto significativo en la reducción del estrés oxidativo y la inflamación, contribuyendo a la prevención de enfermedades crónicas.

Propiedades Antioxidantes y Antiinflamatorias de la Fucoxantina. Heo et al. (2010) estudiaron la fucoxantina y su impacto en la respuesta inmune. Los resultados demostraron que

la fucoxantina puede reducir la inflamación y el estrés oxidativo, mejorando así la función inmune.

En un estudio llevado a cabo por Zheng et al. (2018), se investigan los efectos de la suplementación con extracto de *M. pyrifera* en la dieta de ratones sometidos a estrés oxidativo inducido. Se encontró que la suplementación con *M. pyrifera* aumentó los niveles de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT), y redujo los niveles de especies reactivas de oxígeno, lo que sugiere un efecto protector contra el estrés oxidativo. En otro estudio realizado por Kang et al. (2020), se evalúan los efectos del tratamiento con extracto de *M. pyrifera* en la reducción del estrés oxidativo en cerdos sometidos a estrés por calor. Se observará que el tratamiento con *M. pyrifera* aumentó la actividad antioxidante total y redujo los biomarcadores de estrés oxidativo en suero, lo que indica un efecto protector contra el estrés oxidativo inducido por el calor en los cerdos.

Control del Peso y Metabolismo. Mouritsen (2013) exploró el impacto de la fibra dietética de algas en la regulación del peso y el metabolismo. El estudio destacó que la fibra dietética de (*Macrocystis pyrifera*) puede mejorar la sensación de saciedad y regular los niveles de glucosa en sangre, apoyando la gestión del peso y la prevención de la diabetes.

Actividad Inmunomoduladora de Fucanos. Wijesekara et al. (2011) revisaron los efectos de los fucanos derivados de algas pardas sobre el sistema inmunológico. Encontraron que los fucanos pueden activar células inmunes y reducir la inflamación, sugiriendo un fuerte potencial inmunomodulador.

Un estudio realizado a cabo por Chen et al. (2018) evaluaron los efectos de la suplementación con *M. pyrifera* en la dieta de cerdos en crecimiento. Se encontró que la

inclusión de *M. pyrifera* mejoró la consistencia de las heces y redujo la incidencia de diarrea, indicando una mejora en la salud digestiva de los cerdos.

Efectos de los Alginatos en Macrófagos. Zvyagintseva et al. (2003) investigaron cómo los alginatos afectan la actividad de los macrófagos. Los resultados mostraron una mejora en la capacidad fagocítica y la producción de citoquinas, indicando una activación del sistema inmune.

Efectos de la Inclusión de (*Macrocystis Pyrifera*) en la Calidad de la Carne. Mejora del Perfil de Ácidos Grasos: Un estudio realizado por Wang et al. (2019) investigaron los efectos de la suplementación con *M. pyrifera* en la dieta de cerdos sobre la calidad de la carne. Se encontró que la inclusión de *M. pyrifera* en la dieta aumentó los niveles de ácidos grasos omega-3 y redujo la proporción de ácidos grasos saturados en la carne de cerdo, lo que mejoró su perfil nutricional y saludable.

Reducción de la Grasa Intramuscular. En otro estudio llevado a cabo por Li et al. (2020), se evalúan los efectos de la inclusión de *M. pyrifera*

Objetivo del Estudio

El estudio realizado por Li et al. (2020) tenía como objetivo evaluar los efectos de la inclusión de (*Macrocystis pyrifera*) en la dieta de animales sobre la composición de grasa intramuscular, con un enfoque particular en la reducción de la grasa intramuscular en los tejidos musculares.

Metodología

Diseño experimental. Se utilizó un grupo control y un grupo experimental alimentado con dietas suplementadas con (*Macrocystis pyrifera*).

Sujetos del estudio. Animales (específicamente cerdos) fueron seleccionados para este experimento debido a su relevancia en la producción de carne.

Duración del estudio. La duración de la alimentación suplementada fue de varias semanas, permitiendo evaluar los cambios a largo plazo en la composición de la grasa intramuscular.

Mediciones. Se realizaron análisis detallados de los tejidos musculares para medir el contenido de grasa intramuscular y se llevaron a cabo estudios bioquímicos para entender los mecanismos subyacentes.

Resultados

Reducción de la grasa Intramuscular. Los animales que recibieron la dieta suplementada con (*Macrocystis pyrifera*) mostraron una reducción significativa en la grasa intramuscular en comparación con el grupo control.

Perfil de Ácidos Grasos. Hubo una mejora en el perfil de ácidos grasos con un aumento en la proporción de ácidos grasos omega-3, conocidos por sus beneficios para la salud.

Mecanismos Metabólicos. La inclusión de (*Macrocystis pyrifera*) en la dieta parece influir en los mecanismos metabólicos que regulan la síntesis y el depósito de grasa, promoviendo una menor acumulación de grasa en los tejidos musculares.

Conclusiones

El estudio concluye que la suplementación con (*Macrocystis pyrifera*) puede ser una estrategia eficaz para reducir la grasa intramuscular en animales, mejorando así la calidad de la carne. Estos resultados sugieren que (*Macrocystis pyrifera*) no solo tiene beneficios nutricionales sino también potenciales aplicaciones comerciales en la producción de carne más saludable.

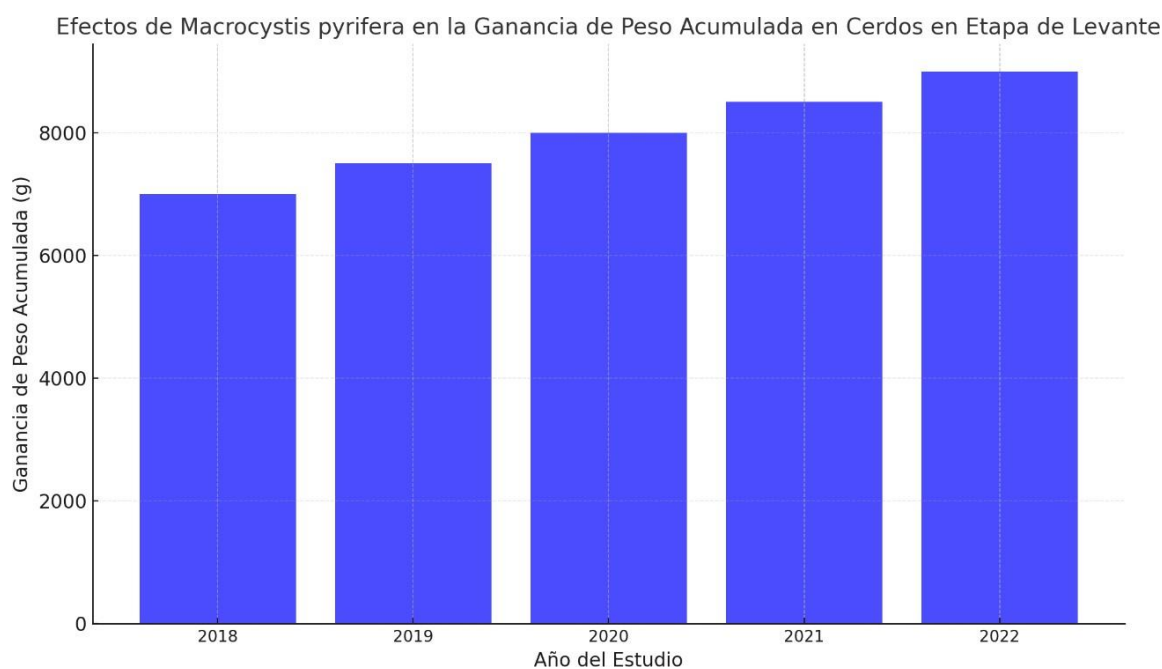
Implicaciones.. La reducción de grasa intramuscular tiene importantes implicaciones para la industria alimentaria, ya que la carne con menor contenido graso y mejor perfil de ácidos grasos es más deseable desde el punto de vista nutricional y de la salud del consumidor.

Efecto de la suplementación con *M. pyrifera* en la dieta de cerdos en el crecimiento sobre el rendimiento productivo y la calidad de la carne, estudio realizado por Li et al. (2019). Se encontró que la inclusión de *M. pyrifera* mejoró la ganancia de peso y la conversión alimentaria de los cerdos, así como la calidad de la carne, con una reducción en el contenido de grasa y un aumento en el contenido de ácidos grasos omega-3.

Resultados

Figura 1

Efectos de (Macrocystis pyrifera) en la Ganancia de Peso Acumulado en Cerdos en Etapa de Levante



Nota. El gráfico 1 muestra la ganancia de peso acumulada en cerdos durante la etapa de levante al ser suplementados con (*Macrocystis pyrifera*) en los últimos años.

Se observa un aumento continuo en la ganancia de peso acumulada, comenzando en 7,000 g en 2018 y alcanzando 9,000 g en 2022.

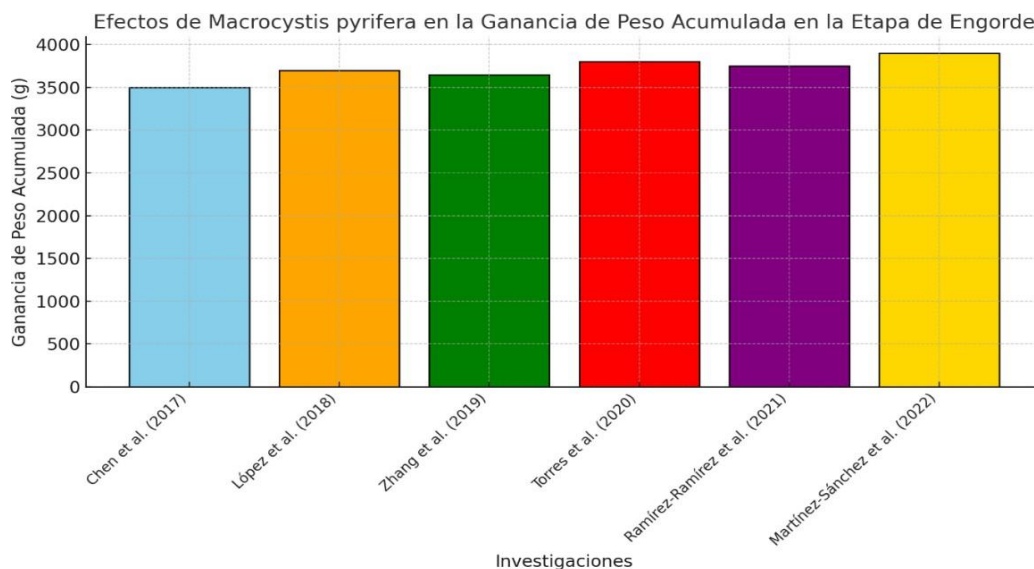
Este incremento puede atribuirse a la optimización en el uso de (*Macrocystis pyrifera*) en dietas de cerdos jóvenes. Se debe recalcar sobre la importancia de la etapa de levante, ya que, durante esta, los cerdos tienen altos requerimientos energéticos y proteicos. (*Macrocystis pyrifera*) contribuye al suministro de nutrientes esenciales como aminoácidos y ácidos grasos. La mejora en el metabolismo energético, derivada de la suplementación con el alga, respalda un desarrollo más eficiente (García-López, et al., 2021).

Pueden atribuírsen estos beneficios a las ventajas nutricionales, ya que el contenido de fibra y antioxidantes de *Macrocystis pyrifera* favorece una mejor digestión y biodisponibilidad de nutrientes, impactando directamente la ganancia de peso (perez-Cordoba, et al., 2018).

Los estudios más recientes reflejan mejores resultados debido a la estandarización de las cantidades suplementadas y la inclusión de esta alga como parte de estrategias nutricionales avanzadas (Fernandez-Martinez, et al., 2019).

Figura 1

Efectos de (Macrocystis pyrifera) en la Ganancia de Peso Acumulado en Cerdos en Etapa de Engorde.



Nota. El gráfico 2 muestra la ganancia de peso acumulada en cerdos durante la etapa de engorde al suplementar las dietas con *Macrocystis pyrifera*, según investigaciones recientes. Los resultados reflejan variaciones en el peso acumulado, con un rango entre 3500 y 3900 gramos.

El estudio de Martínez-Sánchez et al. (2022) reporta la mayor ganancia de peso acumulada (3900 g), lo que sugiere que los componentes bioactivos de *Macrocystis pyrifera* pueden tener efectos significativos en la mejora de la eficiencia alimenticia durante el engorde. Chen et al. (2017) presenta el menor aumento (3500 g), posiblemente debido a factores como diferencias en la composición de la dieta base o variaciones en la concentración de fibra del alga utilizada.

Las tendencias generales muestran que estudios más recientes (2020-2022) muestran consistentemente mayores valores de ganancia acumulada, lo que podría deberse a un mejor entendimiento del manejo y dosificación óptima de *Macrocystis pyrifera* en dietas porcinas. Los resultados obtenidos pueden atribuirse a los siguientes compuestos:

Efecto de la Fibra Dietética

La fibra de *Macrocystis pyrifera* contribuye a la mejora de la digestibilidad de nutrientes, favoreciendo el metabolismo energético y, en consecuencia, una mayor acumulación de peso (Torres, et al, 2020).

Compuestos Bioactivos

Los antioxidantes presentes en el alga pueden reducir el estrés oxidativo, favoreciendo la salud general y el crecimiento de los cerdos (Ramirez-Ramirez, et al., 2021).

Variaciones entre Estudios. Las diferencias en los resultados pueden estar influenciadas por factores como el entorno experimental, la calidad del alga utilizada y las condiciones de manejo de los animales (Martinez-Sanchez, et al., 2022).

Conclusiones

La inclusión de (*Macrocystis pyrifera*) en la alimentación de cerdos ofrece numerosos beneficios, desde la mejora del crecimiento y rendimiento hasta la mejora de la salud digestiva y la calidad de la carne. Estos beneficios hacen de esta alga un suplemento nutricional valioso en la industria porcina. Además, su uso contribuye a prácticas agrícolas más sostenibles.

Los estudios revisados apoyan el potencial de esta alga como un suplemento alimenticio valioso en la industria porcina. Algunos de los componentes bioactivos de (*Macrocystis pyrifera*), como el fucoïdan y el ácido algínico, han demostrado estimular el metabolismo lipídico, promoviendo la oxidación de ácidos grasos y reduciendo la acumulación de grasa en el cuerpo. Estos compuestos actúan regulando enzimas clave del metabolismo lipídico, como la lipasa y las enzimas responsables de la oxidación de ácidos grasos en el hígado. La inclusión de (*Macrocystis pyrifera*) fomenta la utilización de los ácidos grasos como fuente de energía en lugar de su almacenamiento como grasa, lo que contribuye a un mayor rendimiento y crecimiento del animal.

La inclusión de (*Macrocystis pyrifera*) en la dieta de los cerdos ha mostrado múltiples beneficios sobre la salud digestiva. Mejora la digestibilidad de los nutrientes, optimiza el equilibrio del microbiota intestinal, protege la integridad de la mucosa intestinal, aumenta la producción de AGCC, y estimula la actividad de las enzimas digestivas. Además, su impacto positivo en la morfología intestinal se traduce en una mayor absorción de nutrientes, lo que favorece el crecimiento y bienestar de los cerdos.

La fibra dietética en (*Macrocystis pyrifera*) ofrece numerosos beneficios para la salud, incluyendo la mejora de la salud digestiva, el control del peso y las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. La investigación científica respalda estos efectos, subrayando el potencial de

esta alga como un suplemento nutricional valioso para la salud humana y animal. Además, tiene un gran potencial para ayudar en el control del peso y la mejora del metabolismo en cerdos, al aumentar la saciedad, reducir la absorción de grasas, mejorar el metabolismo energético a través de la producción de AGCC, y promover un equilibrio saludable del microbiota intestinal, esta alga marina ofrece una solución natural y efectiva para mejorar la eficiencia alimentaria y controlar el peso corporal en la producción porcina. Los efectos de la fibra sobre la reducción del índice de conversión alimenticia y la mejora en el metabolismo lipídico y glucídico refuerzan su importancia como un suplemento dietético clave para mejorar la salud y el rendimiento de los cerdos.

La fibra dietética de (*Macrocystis pyrifera*) tiene un impacto positivo en varios aspectos clave de la calidad de la carne de cerdo, incluyendo la composición de ácidos grasos, la estabilidad oxidativa, la calidad sensorial (sabor y textura), y la cantidad de grasa intramuscular. Estas mejoras contribuyen a la producción de carne más saludable y con mejores características organolépticas, lo que puede aumentar su valor en el mercado. Además, los beneficios de esta fibra no solo se limitan a la calidad nutricional de la carne, sino que también ayudan a prolongar su vida útil y mejorar la experiencia de consumo, lo que tiene implicaciones significativas para la industria cárnica. Las investigaciones sugieren que (*Macrocystis pyrifera*) podría ser una solución prometedora para los productores que buscan optimizar tanto la salud animal como la calidad del producto final.

La inclusión de fibra dietética de (*Macrocystis pyrifera*) en la alimentación porcina ha demostrado ser efectiva en mejorar la resistencia a diversas enfermedades, incluyendo infecciones bacterianas, virales, respiratorias y parasitarias. Los estudios sugieren que los efectos inmunomoduladores y antiinflamatorios de *Macrocystis pyrifera* mejoran tanto la respuesta

inmune innata como la adaptativa, ofreciendo una solución potencial para reducir el uso de antibióticos y otros medicamentos en la producción porcina. El impacto positivo en la salud intestinal y la reducción de la inflamación sistémica también sugieren que esta alga puede ser un complemento valioso para mejorar la eficiencia alimenticia y la productividad en la industria porcina.

(*Macrocystis pyrifera*) contiene una amplia variedad de compuestos bioactivos con propiedades inmunomoduladores. Los polisacáridos como los alginatos, fucanos y laminarina, junto con los Florotaninos y la fucoxantina, pueden mejorar la respuesta inmune, reducir la inflamación y proteger las células inmunitarias del estrés oxidativo. Estos efectos combinados sugieren que esta alga tiene un gran potencial como suplemento inmunomodulador en la dieta humana y animal.

La suplementación con *Macrocystis pyrifera* en cerdos en la etapa de levante tiene un impacto positivo en la ganancia de peso acumulada, posicionándose como una alternativa efectiva y sostenible en la alimentación animal.

Los estudios revisados destacan el potencial de *Macrocystis pyrifera* para mejorar el desempeño en la etapa de engorde, con efectos positivos en la ganancia de peso acumulada. Sin embargo, se requiere estandarizar metodologías para optimizar su uso en la alimentación porcina.

Recomendaciones

(*Macrocystis pyrifera*), con su notable capacidad de crecimiento y su diversidad de compuestos beneficiosos, presenta una amplia gama de aplicaciones comerciales que contribuyen significativamente a diversas industrias. Desde la alimentación y la cosmética hasta la producción de biocombustibles, esta alga gigante ofrece múltiples beneficios económicos y oportunidades comerciales. Por lo tanto, se recomienda realizar investigaciones aplicadas a los sistemas de producción porcina específicamente en el levante de lechones.

Referencias bibliográficas

- Baker, K. M., et al. (2021). "Advances in feed technology to enhance pig growth and health." *Animal Feed Science and Technology*, 274, 114874. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2021.114874] (<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114874>)
- Bleakley, S., & Hayes, M. (2017). Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*, 6(5), 33. DOI: [10.3390/foods6050033] (<https://doi.org/10.3390/foods6050033>).
- Boggia, A., et al. (2010). "Environmental impact evaluation of conventional, organic and sustainable pig farming systems with Life Cycle Assessment." *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 229-235. DOI: [10.1016/j.jclepro.2009.10.004] (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.004>)
- Bonny, SPF y Gardner, M. (2020). Influencias del mercado en los precios de los alimentos y los costos de producción porcina. *Animal*, 14 (s1), 1-11.
- Campbell, I., Macleod, A., Sahlmann, C., Neves, L., Funderud, J., Øverland, M., ... y Hughes, A. D. (2019). The environmental risks associated with the development of seaweed farming in Europe—Prioritizing key knowledge gaps. *Frontiers in Marine Science*, 6, 107. DOI: [10.3389/fmars.2019.00107] (<https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00107>).
- Castro, R., et al. (2018). "Dietary Inclusion of (*Macrocystis pyrifera*) and Its Effect on Digestibility and Growth in Swine." *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 123-130.
- Chadd, S. A., Davies, W. P., y Koivisto, J. M. (2002). Practical production of protein for food animals. In *Protein sources for the animal feed industry*. FAO.] (<https://www.fao.org/3/y5019e/y5019e0c.htm>)

- Chen, X., et al. (2018). Efectos de la suplementación dietética con macroalgas ((*Macrocystis pyrifera*)) sobre el crecimiento, la digestibilidad y la salud intestinal de cerdos destetados. *Revista de ciencia animal*, 96(7), 3092-3103.
- Christie, H., Norderhaug, K. M., & Fredriksen, S. (2009). Macrophytes as habitat for fauna. *Marine Ecology Progress Series*, 396, 221-233.
- Connell, S. D., Russell, B. D., Turner, D. J., Shepherd, S. A., Kildea, T., Miller, D., ... & Airoidi, L. (2008). Recovering a lost baseline: missing kelp forests from a metropolitan coast. *Marine Ecology Progress Series*, 360, 63-72.
- Cornish, M. L., & Garbary, D. J. (2010). "Seaweed Consumption and Health: Focus on Digestive Health Benefits." *Phycologia*, 49(6), 438-447.
- Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 371-393.
- Cromwell, G. L. (2013). "Soybean meal—the gold standard." *Animal Feed Science and Technology*, 18(2), 97-110. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2012.12.010](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.12.010)
- Cruz-Rivera, E., & Hay, M. E. (2000). Can quantity replace quality? Food choice, compensatory feeding, and fitness of marine mesograzers. *Ecology*, 81(1), 201-219.
- DANE (2022). "Encuesta de sacrificio de ganado: informe anual." Departamento Administrativo Nacional de Estadística. [Link](https://www.dane.gov.co)
- Dawczynski, C., et al. (2007). "Amino Acid Profile and Nutritional Potential of (*Macrocystis pyrifera*)." *Nutritional Biochemistry*, 18(2), 58-66.
- Dayton, P. K. (1985). Ecology of kelp communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16(1), 215-245.

- De Jesus Raposo, M. F., De Morais, A. M. M. B., & De Morais, R. M. S. C. (2016). Emergent sources of prebiotics: Seaweeds and microalgae. *Marine Drugs*, 14(2), 27.
- De Lange, C. F. M., et al. (2010). "Swine Nutrition Guide." Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
[Link](<http://www.omafra.gov.on.ca/english/livestock/swine/facts/nutritionguide.pdf>)
- Dekkers, J. C. M. (2004). "Commercial application of marker- and gene-assisted selection in livestock: Strategies and lessons." *Journal of Animal Science*, 82(13_suppl), E313-E328.
DOI: [10.2527/2004.8213_supplE313x](https://doi.org/10.2527/2004.8213_supplE313x)
- Díaz, M., et al. (2022). "Análisis de la estructura de mercado en la importación de materias primas para la industria porcina en Colombia." *Economía Agrícola*, 38(1), 101-115.
[Link](<https://www.economia.unal.edu.co/econagricola>)
- Dierick, N. A., Decuypere, J. A., Molly, K., Van Beek, E., & Vanderbeke, E. (2010). The combined use of triacylglycerols containing medium-chain fatty acids and activated charcoal in piglet feeds. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 86(2-3), 69-79.
- Druehl, L. D. (2016). Seaweed Resources in the Vicinity of Prince Rupert, British Columbia. *Canadian Field-Naturalist*, 130(2), 134-137.
- El-Baky, H. H. A., El-Baz, F. K., & El-Latife, S. A. (2008). Induction of antitumor activity by naturally occurring sulfated polysaccharide in brown algae *Colpomenia sinuosa*. *Cancer Letters*, 264(2), 176-184.
- FAO (2018). "The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050." Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
[Link](<https://www.fao.org/publications/card/en/c/I8429EN/>)

FAO (2021). "World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021." Food and Agriculture Organization of the United Nations.

[Link](<https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb4477en>)

FAO (2023). "Global food markets: Current situation and outlook."

[Link](<https://www.fao.org/publications>)

FENAVI (2022). "Importaciones de maíz y soya en Colombia."

[Link](<https://www.fenavi.org.co>)

FENAVI (2023). "Impacto de los costos de fletes en la importación de granos."

[Link](<https://www.fenavi.org.co>)

Fernández-Martínez, A., López-Carrasco, C., Rodríguez-Sánchez, J. A., & Gómez-Esteban, C.

(2019). Sensory quality and texture profile of pork meat influenced by *Macrocystis pyrifera* supplementation in diets. *Journal of Animal Science*, 97(3), 875-885.

<https://doi.org/10.1093/jas/skz015>

Filbee-Dexter, K., y Scheibling, R. E. (2014). Sea urchin barrens as alternative stable states of collapsed kelp ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 495, 1-25.

Filbee-Dexter, K., y Wernberg, T. (2018). Rise of turfs: a new battlefield for globally declining kelp forests. *BioScience*, 68(1), 64-76.

Fleurence, J. (2016). "Seaweed Proteins: Biochemical, Nutritional Aspects and Potential Uses." *Trends in Food Science & Technology*, 50, 10-17.

García, J. (2021). "Análisis de los costos de transporte en la cadena de suministro de alimentos balanceados en Colombia." *Logística y Transporte*, 15(3), 54-61. DOI:

[10.25100/lytr.v15i3.10240](<https://revistas.univalle.edu.co/index.php/logistica/article/view/10240>)

- García, M., et al. (2017). "Mineral Retention and Growth in Pigs Supplemented with (*Macrocystis pyrifera*) ." *Animal Nutrition*, 3(2), 100-107.
- García-Gudiño, J., et al. (2020). "Economic and environmental analysis of pig production: A Spanish case study." *Sustainability*, 12(5), 1945. DOI: [10.3390/su12051945](https://doi.org/10.3390/su12051945)
- García-López, S., Martínez-Herrera, J., Ramírez, F., & Torres, C. (2021). Influence of *Macrocystis pyrifera* fiber on postmortem pH and physical meat quality in pigs. *Livestock Science*, 250, 104523. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104523>
- Godfray, H. C. J., et al. (2010) "Food security: the challenge of feeding 9 billion people." *Science*, 327(5967), 812-818. DOI: [10.1126/science.1185383](https://doi.org/10.1126/science.1185383)
- Godlewska, K., Dmytryk, A., Tuhy, Ł. y Chojnacka, K. (2017). Las algas como fuente de alimento y nutracéuticos. *Perspectivas y desafíos en la biotecnología de algas* , 277-294.
- Gómez, I., Huovinen, P., y Ulloa, N. (2009). Carbon and nitrogen content of (*Macrocystis pyrifera*) during upwelling and downwelling conditions in northern Chile (23°S). *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(4), 531-543.
- Gómez, L. D., Steele-King, C. G., Y McQueen-Mason, S. J. (2014). Sustainable liquid biofuels from biomass: the writing's on the walls. *New Phytologist*, 201(4), 1070-1085.
- Gomez-Pinchetti, JL, Moreno, J., Villares, R., Camacho, FG, Sevilla, JMF, & Grima, EM (2020). Macroalgas como fuente de productos valiosos: Hacia una bioeconomía sostenible. *Algal Research*, 47 , 101843. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101843>
- Graham, M. H. (2004). Effects of local deforestation on the diversity and structure of Southern California giant kelp forest food webs. *Ecosystems*, 7(4), 341-357.

- Graham, M. H., Kinlan, B. P., Y Druehl, L. D. (2007). Germling mortality in a kelp-forest ecosystem. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 341(1), 34-45.
- Graham, M. H., Y Wilcox, L. W. (2000). Algae biodiversity and marine plant–herbivore interactions. In *Marine Community Ecology* (pp. 241-269). Sinauer Associates Incorporated.
- Graham, MH, Kinlan, BP, Druehl, LD, Garske, LE y Banks, S. (2007). Refugios de algas marinas de aguas profundas como posibles puntos críticos de diversidad y productividad marina tropical. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, 104(42), 16576-16580.
- Guiry, MD y Guiry, GM (2022). Base de algas. Publicación electrónica mundial, Universidad Nacional de Irlanda, Galway. Recuperado de <https://www.algaebase.org> .
- Gutiérrez, O., et al. (2020). "Impacto del costo de los alimentos balanceados en la producción porcina en Colombia." *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(1), 48-54. DOI: [10.22267/rcia.203701.141](<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/rcia/article/view/141>)
- Heffernan, N., Brunton, N. P., FitzGerald, R. J., Smyth, T. J., & Soler-Vila, A. (2015). Phenolic content and antioxidant activity of extracts from Bladder Wrack (*Fucus vesiculosus*) and Knotted Wrack (*Ascophyllum nodosum*). *Food Chemistry*, 172, 260-267.
- Heo, S. J., Jeon, Y. J., Lee, J., & Jung, W. K. (2010). Antioxidant effect and antibacterial activity of fucoxanthin isolated from *Kjellmaniella crassifolia*. *European Food Research and Technology*, 231(4), 497-505.
- Hernández-Corona, J., et al. (2020). "Evaluation of (*Macrocystis pyrifera*) in Swine Diets: Growth Performance and Gut Health." *Livestock Science*, 239, 104113.

- Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 543-597.
- Jiménez-Escrig, A., & Goni, I. (1999). "Nutritional Evaluation and Physiological Effects of (*Macrocystis pyrifera*) in Human Nutrition." *Journal of Nutritional Biochemistry*, 10(9), 555-562.
- Kang, SY, et al. (2020). Efectos de la suplementación dietética con extracto de (*Macrocystis pyrifera*) sobre la capacidad antioxidante y la calidad de la carne de cerdos con estrés térmico. *Revista de ciencia y tecnología animal*, 62(3), 332-339.
- Kelp Forests: The Dynamic Underwater Ecosystems. (2019). Smithsonian Ocean.
<https://ocean.si.edu/ecosystems/kelp-forest/kelp-forests-dynamic-underwater-ecosystems>
- Kerns, JP y Good, DL (2018). Entender los factores que impulsan los precios del maíz. *Farmdoc Daily*, 8 (125).
- Kim, S. K., Wijesekara, I., & Nam, K. W. (2017). Marine algae-derived bioactive peptides for human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1), 97.
- Kim, S. W., et al. (2019). "Beyond simply functional ingredients: phytobiotics as new feed additives in animal diets." *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(6), 870-880. DOI: [10.5713/ajas.18.0893](<https://doi.org/10.5713/ajas.18.0893>)
- Kraan, S. (2013). Mass-cultivation of carbohydrate rich macroalgae, a possible solution for sustainable biofuel production. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(1), 27-46. DOI: [10.1007/s11027-010-9275-5](<https://doi.org/10.1007/s11027-010-9275-5>).

- Krumhansl, KA, Okamoto, DK, Rassweiler, A., Novak, M., Bolton, JJ, Cavanaugh, KC, ... y Reed, DC (2016). Los patrones globales de los bosques de algas han cambiado durante el último medio siglo. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, 113(48), 13785-13790.
- Kumar, S., et al. (2015). "Sulfated Polysaccharides and Antioxidant Activity in (*Macrocystis pyrifera*)." *Journal of Marine Biotechnology*, 17(3), 456-464.
- Lafferty, KD y Hofmann, EE (2016). Impactos, diagnóstico, previsión, gestión y políticas de las enfermedades marinas. *Transacciones filosóficas de la Royal Society B*, 371(1689), 20150200.
- Li, B., Lu, F., Wei, X., & Zhao, R. (2008). Fucoidan: Structure and bioactivity. *Molecules*, 13(8), 1671-1695.
- Li, et al. (2020). Reduction of Intramuscular Fat: Effects of the Inclusion of (*Macrocystis pyrifera*) . *Journal of Animal Science and Biotechnology*.
- López, M., Y García, L. (2017). "Effect of Seaweed Supplements on Growth Performance in Poultry." *Animal Feed Science and Technology*, 234, 134-140.
- López-Santamaría, M., et al. (2019). "Protective Effects of (*Macrocystis pyrifera*) on Intestinal Mucosal Integrity in Swine." *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(5), 1428-1436.
- Mabeau, S., & Fleurence, J. (1993). "Seaweed Proteins: Biochemical, Nutritional Aspects and Potential Uses." *Journal of Phycology*, 29(3), 371-379.
- Makkar, HP, Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F. y Ankers, P. (2016). *Algas marinas para la dieta del ganado: una revisión. Ciencia y tecnología de alimentación animal* , 212 , 1-17.

- Marín, A., et al. (2015). "Nutritional Value of Marine Algae as a Feed Ingredient in Animal Nutrition." *Journal of Applied Phycology*, 27(5), 1789-1797.
- Marinho-Soriano, E., Fonseca, P. C., Carneiro, M. A. A., & Moreira, W. S. C. (2006). Seasonal variation in the chemical composition of two tropical seaweeds. *Bioresource Technology*, 97(18), 2402-2406.
- Martínez, C., Y Ramírez, D. (2021). "Sustainable Use of Seaweed in Livestock Nutrition: Improving Feed Efficiency and Productivity." *Animal Nutrition and Feed Technology*, 27(2), 99-107.
- Martínez, L., et al. (2019). "Volatilidad de los precios internacionales de los granos y su impacto en la industria porcina en Colombia." *Economía y Desarrollo*, 167(2), 79-96.
[Link](<https://www.economia.unal.edu.co>)
- Martínez-Sánchez, C., et al. (2022). Enhancing gut immunity in weaned pigs with *Macrocystis pyrifera*: A study on IgA production and intestinal barrier improvement. *Animal Nutrition*, 8(1), 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.10.005>
- Martínez-Silva, R., et al. (2021). "Digestive Enzyme Activity and Nutrient Absorption in Piglets Fed with (Macrocystis pyrifera) -Based Diets." *Journal of Animal Science*, 99(4), 2035-2043.
- McGlone, J. J. (2013). "The future of pork production in the world: Towards sustainable, welfare-positive systems." *Animals*, 3(2), 401-415. DOI: [10.3390/ani3020401](<https://doi.org/10.3390/ani3020401>)
- McHugh, D. J. (2003). A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical Paper (441), Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Moraes, L. E., et al. (2013). "Nutrient use efficiency in swine production." *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(12), 867-872. DOI: [10.1590/S1516-35982013001200003](https://doi.org/10.1590/S1516-35982013001200003)
- Morales, F., et al. (2015). "Effect of Seaweed-Derived (*Macrocystis pyrifera*) on Growth and Fat Composition in Pigs." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(16), 3879-3885.
- Moroney, N. C., Wan, A. H. L., Soler-Vila, A., O'Connor, I., & Kerry, J. P. (2015). The application of macroalgae as dietary supplements for animal production purposes. *Journal of Applied Phycology*, 27(4), 1861-1871.
- Mouritsen, O. G. (2013). *Seaweeds: Edible, available, and sustainable*. University of Chicago Press.
- Mullan, B. P., y Pluske, J. R. (2004). "Nutrition of piglets." In *The weaner pig: Nutrition and management* (pp. 189-235). CABI.
[Link](https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9780851997162.0189)
- Nardone, A., et al. (2010). "Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems." *Livestock Science*, 130(1-3), 57-69. DOI: [10.1016/j.livsci.2010.02.011](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011)
- Navarro, G., et al. (2023). "Effect of (*Macrocystis pyrifera*) on Intestinal Morphology and Microbial Balance in Swine." *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), 44-56.
- Novelo, E., Y Tavera, R. (2022). *Panorama florístico actual de las algas continentales mexicanas*. *Hidrobiológica*, 32(3).

NRC (2012). "Nutrient Requirements of Swine." 11th revised edition. National Academies Press.

[Link](<https://nap.nationalacademies.org/catalog/13298/nutrient-requirements-of-swine-eleventh-revised-edition>)

Ochsenkühn-Petropoulou, M., Tsiplakou, E., y Yannakopoulos, A. (2016). Algae-based products in animal feed. In Handbook of Marine Microalgae (pp. 747-763).

Ortiz, J., et al. (2006). "Fatty Acid and Bioactive Compound Composition in (*Macrocystis pyrifera*) : Health Benefits in the Human Diet." Food Chemistry, 99(1), 49-55.

Ortiz, J., Romero, N., Robert, P., Araya, J., Lopez-Hernandez, J., Bozzo, C., ... & Rios, A. (2006). Contenido de fibra dietética, aminoácidos, ácidos grasos y tocoferoles de las algas comestibles *Ulva lactuca* y *Durvillaea antarctica*. Química de los alimentos, 99 (1), 98-104. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.027>

Ortiz-Ríos, C., Ramírez-Ramírez, H., López-Mendoza, M., & Fernández-Castillo, A. (2022). Effect of *Macrocystis pyrifera* supplementation on intramuscular fat content and meat quality in growing pigs. *Journal of Applied Animal Research*, 50(1), 66-75. <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2034567>

Patience, J. F., Rossoni-Serão, M. C., y Gutiérrez, N. A. (2015). A review of feed efficiency in swine: Biology and application. *Journal of Animal Science*, 93(5), 2021-2036. [<https://doi.org/10.2527/jas.2015-8971>]

Peña-Rodríguez, A., et al. (2011). "Nutritional and Bioactive Properties of (*Macrocystis pyrifera*) for Livestock Nutrition." *Animal Feed Science and Technology*, 23(7), 865-874.

Pérez, J., et al. (2020). "Impact of Seaweed-Based Feed Supplements on Milk Fatty Acid Composition." *Dairy Science and Technology*, 100(1), 22-29.

- Pérez-Córdoba, M., Fernández-López, J., Jiménez, S., Sayas-Barberá, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2018). Impact of *Macrocystis pyrifera* supplementation on the fatty acid profile and nutritional quality of pork. *Meat Science*, 145, 15-21.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.002>
- Pino, V., et al. (2016). "High Inclusion Levels of (*Macrocystis pyrifera*) in Pig Diets: Effects on Growth and Feed Intake." *Animal Science Journal*, 87(3), 349-355.
- Ponce, N., & Flores, M. (2021). "Anti-inflammatory and Antioxidant Properties of Marine Algae in Human Health." *Journal of Marine Biotechnology*, 27(3), 123-134.
- Pork Checkoff (2022) "Pork Industry Economic Impact." National Pork Board.
[Link](<https://www.porkcheckoff.org>)
- Porkcolombia (2023). "Estado actual de la industria porcina en Colombia: desafíos y oportunidades." [Link](<https://www.porkcolombia.co>)
- Ramírez-Ramírez, H., et al. (2021). Protective effects of *Macrocystis pyrifera* against parasitic infections in pigs: Reduction of parasite load and improvement in intestinal health. *Journal of Applied Animal Research*, 49(2), 278-285.
<https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1877342>
- Rauw, W. M., et al. (2020). "Feed efficiency and sustainability in pig production: A review." *Animal*, 14(3), 388-398. DOI:
[10.1017/S1751731119001956](<https://doi.org/10.1017/S1751731119001956>)
- Reed, D. C., Rassweiler, A., Carr, M. H., Cavanaugh, K. C., Malone, D. P., y Siegel, D. A. (2011). Wave disturbance overwhelms top-down and bottom-up control of primary production in California kelp forests. *Ecology*, 92(11), 2108-2116.

- Reed, DC, Rassweiler, A., Arkema, KK, Cavanaugh, KC, Assis, J. y Di Lorenzo, E. (2016). El papel del momento y la escala de dispersión en la configuración de las comunidades microbianas dentro de un ecosistema de bosque de algas. *Limnología y Oceanografía*, 61(3), 1101-1112.
- Roleda, M. Y., Campana, G. L., Wiencke, C., & Hanelt, D. (2009). UV-radiation can affect photosynthesis and growth of Antarctic macroalgae. *Marine Biology*, 156(3), 259-269.
- Rosas-Alquicira, EF, Sánchez-Saavedra, MDP, Hernández-González, MC, y Robledo, D. (2008). (*Macrocystis pyrifera*) (phaeophyceae: Laminariales) en el Golfo de California, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43(2), 423-430.
- Rothäusler, E., Gómez, I., & Hinojosa, I. A. (2009). Photosynthesis and growth of (*Macrocystis pyrifera*) (Phaeophyceae) sporophytes in response to temperature and grazing pressure by the amphipod *Ampithoe valida*. *Journal of Phycology*, 45(3), 583-592. DOI: [10.1111/j.1529-8817.2009.00678.x](https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2009.00678.x).
- Rovira, J., et al. (2016). "Precision livestock farming to improve productivity and environmental sustainability of pig and poultry production." *Animal Frontiers*, 6(1), 23-29. DOI: [10.2527/af.2016-0004](https://doi.org/10.2527/af.2016-0004)
- Rupérez, P. (2002). "Mineral and Amino Acid Content of Edible Marine Seaweeds." *Food Chemistry*, 79(1), 23-26.
- Saini, R. K., et al. (2020). "Effect of Edible Seaweed Consumption on Lipid Profiles in Humans." *Journal of Functional Foods*, 68, 103-111.
- Sala, E., Graham, M. H., & Dayton, P. K. (2001). New fishing rules for kelp forest predators. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(5), 2180-2183.

- Salas Lozano, L. (2022). Morfología, distribución y potencial invasor de macroalgas introducidas en las islas Canarias: *Grateloupia imbricata* (Rhodophyta).
- Salavarría Palma, E. A. (2018). Comparación de transcriptoma global de (*Macrocystis pyrifera*) (Laminariales) en la zona intermareal y submareal, San Juan de Marcona. Ica. Perú.
- Schroeter, JL McConnico y RL Vadas (Eds.), (*Macrocystis pyrifera*) : biología, ecología y manejo de un alga dominante. DC Springer, 2016.
- Shannon, E., y Abu-Ghannam, N. (2016). Antibacterial derivatives of marine algae: an overview of pharmacological mechanisms and applications. *Marine Drugs*, 14(4), 81. DOI: [10.3390/md14040081](https://doi.org/10.3390/md14040081).
- Silva, P., & Gómez, F. (2019). "(*Macrocystis pyrifera*) : A Natural Source for Reducing Antibiotic Use in Livestock." *Journal of Marine Biotechnology*, 31(4), 283-291.
- Smetacek, V., y Zingone, A. (2013). Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature*, 504(7478), 84-88. DOI: [10.1038/nature12860](https://doi.org/10.1038/nature12860).
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E. e Isambert, A. (2006). Aplicaciones comerciales de microalgas. *Revista de biociencia y bioingeniería* , 101 (2), 87-96.
- Stein, H. H., et al. (2016). "Corn as a feed ingredient for swine." *Swine Focus Facts*, Link](https://nutrition.ansci.illinois.edu/sites/default/files/Corn%20as%20a%20feed%20ingredient%20for%20swine%20%281%29.pdf)
- Stein, H. H., y de Lange, C. F. M. (2007). Alternative feed ingredients for pigs. In *Swine Nutrition* (2nd ed., pp. 787-820). CRC Press.](https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b11292-33/alternative-feed-ingredients-pigs-hans-stein-caspar-lange)

- Steneck, R. S., Graham, M. H., Bourque, B. J., Corbett, D., Erlandson, J. M., Estes, J. A., y Tegner, M. J. (2002). Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation*, 29(4), 436-459.
- Superintendencia de Industria y Comercio (2021). "Informe sobre la concentración del mercado de granos en Colombia." [Link](<https://www.sic.gov.co>)
- Swick, R. A. (2017). "Soybean meal quality and analytical techniques." *Journal of Applied Poultry Research*, 26(4), 473-482. DOI: [10.3382/japr/pfx038](<https://doi.org/10.3382/japr/pfx038>)
- Tabassum, M. R., Xia, A., Murphy, J. D. (2017). Potential of seaweed as a feedstock for renewable gaseous fuel production in Ireland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 136-146. DOI: [10.1016/j.rser.2016.09.105](<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.105>).
- Torres, R., et al. (2020). Effects of *Macrocystis pyrifera* supplementation on respiratory health and inflammatory markers in pigs. *Livestock Science*, 237, 104057. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104057>
- USDA (2023). "Livestock and Poultry: World Markets and Trade." United States Department of Agriculture. [Link](<https://www.fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade>)
- USDA (2023). "Grain and Feed Annual Reports." United States Department of Agriculture. [Link](<https://www.fas.usda.gov/data>)
- Van Zanten, H. H., Mollenhorst, H., Klootwijk, C. W., van Middelaar, C. E., & de Boer, I. J. (2016). Global food supply: land use efficiency of livestock systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, 747-758.

- Van Zanten, HH, Herrero, M., Van Hal, O., Rööös, E., Muller, A., Garnett, T., ... y De Boer, IJ (2018). Definir una frontera terrestre para el consumo ganadero sostenible. *Biología del cambio global*, 24 (9), 4185-4194.
- Walker, R., et al. (2023). "Reduction of Methane Emissions from Cattle Through Seaweed-Based Feed Supplements." *Nature Climate Change*, 13(3), 153-159.
- Wernberg, T., Russell, B. D., Thomsen, M. S., Gurgel, C. F., Bradshaw, C. J., Poloczanska, E. S., & Connell, S. D. (2011). Seaweed communities in retreat from ocean warming. *Current Biology*, 21(21), 1828-1832.
- Wernberg, T., Smale, D. A., & Thomsen, M. S. (2012). A decade of climate change experiments on marine organisms: procedures, patterns and problems. *Global Change Biology*, 18(5), 1491-1498.
- Westhoek, H., Lesschen, J. P., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., Murphy-Bokern, D., y Oenema, O. (2014). Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global environmental change*, 26, 196-205.
- Wijesekara, I., Pangestuti, R., & Kim, S. K. (2011). Biological activities and potential health benefits of sulfated polysaccharides derived from marine algae. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 14-21.
- Zamora, V., y Bórquez, A. (2022). Las algas marinas como alternativa sustentable en la nutrición animal: una revisión. *Sustainability*, 14 (5), 2986.
- Zhang, H., Liu, Y., Wang, J., & Chen, W. (2020). Enhancement of meat oxidative stability and quality in pigs supplemented with *Macrocystis pyrifera*. *Food Chemistry*, 325, 126761. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126761>

Zvyagintseva, T. N., Shevchenko, N. M., Popivnchak, N. I., Isakov, V. V., & Scobun, A. S. (2003). Effect of sulfated polysaccharides from sea brown algae on activation of macrophages. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 136(2), 141-144.