Revista digital de Medio Ambiente "Ojeando la agenda"
ISSN 1989-6794 -Nº 104-Noviembre 2026

Valorización de biomasa de pez diablo (Pterygoplichthys spp.) como bioinsumo foliar en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus, L.*)

Esteban Peña Peña[1]*, Jesús Yair Mosqueda Esteban[2], Allison Janay Aranda Suárez[2] y David Juárez Dehara[2]

[1] Profesor investigador, Universidad Politécnica Mesoamericana, Tabasco, México. [2] Estudiantes, Universidad Politécnica Mesoamericana, Tabasco, México. *Autor para correspondencia: epena@upm.edu.mx

Resumen

Se evaluó la respuesta morfoagronómica y productiva del pepino (*Cucumis sativus* L.) a un extracto acuoso de polvo de pez diablo (*Pterygoplichthys* spp.), denominado té de pez diablo (TPD), frente al fertilizante foliar comercial Gro Green (GG) y un testigo sin aplicación foliar. El estudio se realizó de mayo a agosto de 2026 en una parcela comercial de Tenosique, Tabasco, México. Todos los tratamientos recibieron el mismo manejo agronómico y fertilización de base. Se siguieron generalmente 15 plantas por tratamiento, se evaluaron variables vegetativas durante diez semanas y se registraron componentes del rendimiento entre las semanas 8 y 12. TPD y GG presentaron mayores valores de altura, diámetro del tallo y extensión horizontal que el testigo; GG registró el mayor número de hojas. GG alcanzó el mayor número de frutos por planta en tres de las cinco evaluaciones, mientras que TPD presentó el mayor peso medio del fruto en todas las fechas, con valores de 491.50–498.03 g. El rendimiento final fue de 3.59 kg m^{-2} con TPD, 2.84 kg m^{-2} con GG y 1.91 kg m^{-2} en el testigo. La ventaja descriptiva de TPD fue de 26.4 % respecto a GG y de 88.0 % respecto al testigo. La distribución en franjas comerciales limita la independencia espacial de las observaciones y la atribución causal de las diferencias. Los resultados aportan evidencia exploratoria del potencial agronómico del TPD como bioinsumo complementario, cuya recomendación requiere caracterización del preparado y validación con repeticiones independientes.

Palabras clave: bioinsumo; fertilización foliar; *Pterygoplichthys* spp.; rendimiento; especie invasora.

Abstract

The morpho-agronomic and productive response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an aqueous extract of powdered armored catfish (*Pterygoplichthys* spp.), referred to as fish tea (TPD), was evaluated against the commercial foliar fertilizer Gro Green (GG) and a control without foliar application. The study was conducted from May to August 2026 in a commercial field in Tenosique, Tabasco, Mexico. All treatments received the same crop management and basal fertilization. Generally, 15 plants per treatment were monitored; vegetative traits were assessed over ten weeks, and yield components were recorded from weeks 8 to 12. TPD and GG showed greater plant height, stem diameter, and horizontal spread than the control, whereas GG recorded the highest leaf number. GG had the highest fruit number per plant in three of the five assessments, while TPD had the highest mean fruit weight on every date, ranging from 491.50 to 498.03 g. Final yield was 3.59 kg m^{-2} with TPD, 2.84 kg m^{-2} with GG, and 1.91 kg m^{-2} in the control. TPD descriptively exceeded GG and the control by 26.4% and 88.0%, respectively. Treatment allocation in commercial strips limits the spatial independence of observations and causal attribution. These exploratory findings support further assessment of TPD as a supplementary agricultural input, subject to product characterization and validation with independent replication.

Keywords: bio-input; foliar fertilization; *Pterygoplichthys* spp.; yield; invasive species.

1. Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza cuya productividad depende del manejo integrado del agua, la nutrición, la sanidad y la cosecha. La fertilización foliar constituye una alternativa para complementar la nutrición del suelo cuando la formulación, la concentración y el momento de aplicación responden a las necesidades del cultivo. Su efectividad depende de las propiedades fisicoquímicas del producto, la cobertura y retención de la aspersión, las condiciones ambientales y el estado fisiológico de la planta (Fernández & Brown, 2013).

El aprovechamiento agrícola de biomasa y subproductos pesqueros ha generado interés por su posible contribución al reciclaje de recursos y a la elaboración de insumos locales. Estos materiales pueden aportar compuestos orgánicos y minerales; sin embargo, su composición y actividad dependen de la materia prima y del procesamiento. Madende y Hayes (2020) describen el potencial de los subproductos de pescado como fuentes de bioestimulantes, con especial atención a los hidrolizados proteicos. Esta posibilidad no implica que todos los preparados pesqueros sean equivalentes ni que un extracto acuoso simple presente las propiedades de un producto sometido a hidrólisis controlada.

En el contexto regional de Tabasco, el pez diablo representa una oportunidad de investigación que vincula el manejo de biomasa de especies introducidas con aplicaciones agrícolas. Los loricáridos del género *Pterygoplichthys* han establecido poblaciones fuera de su distribución nativa y se han relacionado con impactos ambientales y pesqueros. Orfinger y Goodding (2018) documentan su expansión y señalan la necesidad de evaluaciones empíricas de sus efectos. Por ello, la valorización de biomasa capturada debe plantearse como complemento del manejo de la invasión, con trazabilidad y bioseguridad, y no como incentivo para el transporte, cultivo o liberación de organismos vivos.

En pepino, Ellyzatul et al. (2018) encontraron respuestas favorables de crecimiento y producción al aplicar extractos de residuos de pescado al sustrato. Más recientemente, Wijesundara et al. (2025) evaluaron aplicaciones foliares de extractos fermentados de residuos de tilapia y registraron mejoras en variables vegetativas y productivas. Ambos antecedentes respaldan el interés por estos materiales, aunque las diferencias de

formulación, concentración, vía de aplicación y ambiente de cultivo impiden trasladar directamente sus dosis y resultados a preparados locales.

Se requiere, por tanto, evidencia obtenida bajo condiciones regionales de producción que permita establecer el comportamiento agronómico de extractos elaborados con biomasa disponible y delimitar sus posibilidades de uso. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de variables morfoagronómicas, componentes del rendimiento y rendimiento final del pepino a un extracto acuoso de polvo de pez diablo, denominado té de pez diablo (TPD), en comparación con el fertilizante foliar comercial Gro Green (GG) y un testigo sin aplicación foliar, bajo condiciones de producción comercial en Tenosique, Tabasco.

2. Materiales y métodos

2.1. Sitio de estudio y manejo del cultivo

El estudio se desarrolló entre mayo y agosto de 2026 durante un ciclo de producción comercial en el rancho agropecuario de la familia Mosqueda, ubicado en el poblado Crisóforo Ciñas, municipio de Tenosique, Tabasco, México, en las coordenadas 17°27′04.5″ N y 91°28′21.4″ O. El suelo del sitio se reportó como Vertisol, de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB).

Se utilizó pepino tipo Slicer o Americano, referido localmente en el estudio como pepino criollo. El cultivo se estableció en sistema rastrero, con riego por cintilla, a una distancia de 1.5 m entre hileras y 0.5 m entre plantas, equivalente a aproximadamente 13 333 plantas ha^{-1} (1.33 plantas m^{-2}). Todas las plantas recibieron el mismo manejo de riego, control de arvenses y manejo integrado de plagas y enfermedades. La fertilización de base consistió en 300 kg ha^{-1} de fosfato diamónico (18-46-0) y 150 kg ha^{-1} de cloruro de potasio. La diferencia de manejo entre tratamientos correspondió a la aplicación foliar.

2.2. Tratamientos y unidades de observación

Se compararon tres tratamientos:

- TPD, extracto acuoso de polvo de pez diablo;
- GG, fertilizante foliar comercial Gro Green; y

- testigo sin aplicación foliar, pero con la fertilización de base y el manejo agronómico común.

Los tratamientos se aplicaron en hileras o franjas dentro de la parcela comercial. Se marcaron plantas visualmente uniformes para su seguimiento durante el ciclo; los registros de análisis incluyeron generalmente 15 plantas por tratamiento y fecha, con aproximadamente 45 plantas observadas en total.

El trabajo se abordó como una evaluación exploratoria en condiciones comerciales. Las plantas de una misma franja pueden constituir submuestras y no repeticiones espaciales independientes del tratamiento. Esta condición se consideró al delimitar la interpretación de las diferencias observadas y de los resultados estadísticos disponibles.

2.3. Preparación de los insumos y aplicación foliar

El TPD se preparó como un extracto acuoso simple, sin hidrólisis proteica controlada. La biomasa de pez diablo, identificada en el protocolo como *Pterygoplichthys* spp., se troceó, se secó al aire y en estufa y se redujo a polvo. Se dispersó 1 kg de polvo en 50 L de agua limpia no clorada, equivalente a una concentración inicial de 20 g L^{-1} (2 % p/v). La mezcla permaneció a la sombra durante 12–24 h, con agitación periódica, y posteriormente se filtró con tela fina para retirar partículas que pudieran obstruir las boquillas. El preparado se utilizó dentro de las 24 h posteriores a su elaboración, a una dilución de 15 mL por litro de agua.

Para GG se disolvieron 100 g del producto en 20 L de agua, equivalentes a 5 g L^{-1}. Ambos tratamientos se aplicaron con mochila aspersora manual de 20 L y un volumen de solución de 200 L ha^{-1}. Las aspersiones se efectuaron temprano por la mañana, en condiciones de baja radiación y evitando lluvia o viento intenso. Se iniciaron en la etapa de tres a cuatro hojas verdaderas y se repitieron cada ocho días durante el crecimiento, la floración y el amarre de frutos, hasta el inicio de cosecha.

A partir de las cantidades de preparación, la carga nominal del TPD equivale aproximadamente a 0.30 g de polvo inicial por litro de solución de aspersión y a 60 g ha^{-1} por aplicación, sin descontar la fracción retirada por filtración. Para GG, la dosis fue

equivalente a 1 kg de producto ha^{-1} por aplicación. Estas cantidades expresan materia prima o producto formulado, no dosis equivalentes de nutrimentos.

2.4. Variables morfoagronómicas y productivas

Las variables morfoagronómicas se midieron semanalmente durante diez semanas, a partir de los siete días después de la siembra. Se registraron:

- altura de planta (cm), con regla graduada;
- diámetro del tallo (mm), con pie de rey;
- número de hojas verdaderas, mediante conteo visual; y
- extensión horizontal de la guía principal (m), con flexómetro.

Durante la fase productiva, entre las semanas 8 y 12, se registró:

- número de frutos por planta mediante conteo visual y
- peso individual del fruto (g) en una muestra de 15 frutos elegidos al azar, con una balanza comercial de 1 kg de capacidad.
- El rendimiento comercial (kg m^{-2}) se estimó a partir de la producción final total en el área de cosecha.

El número de frutos y el peso se analizaron como componentes productivos separados del rendimiento por superficie, sin reconstruir este último mediante multiplicación de medias de distinta procedencia.

2.5. Síntesis de datos y alcance del análisis

Los datos fueron analizados mediante ANOVA de clasificación simple y las medias se compararon mediante prueba de Tukey en ambos casos al 5 % nivel de significación. Los indicadores descriptivos complementarios se calcularon a partir de las medias tabuladas. Los incrementos relativos se obtuvieron mediante la expresión:

[(media del tratamiento − media de referencia) /media de referencia] × 100.

Para los componentes productivos se calculó el promedio aritmético de las cinco medias semanales, sin considerarlo una media ponderada por el número de frutos cosechados. Las diferencias se interpretaron prioritariamente como evidencia descriptiva y exploratoria.

3. Resultados y discusión

3.1. Variables morfoagronómicas

Las variantes TPD y GG presentaron mayores valores de altura, diámetro del tallo y extensión horizontal que el testigo. Las salidas de análisis reportaron $p < 0.0001$ para las cuatro variables morfoagronómicas. En altura, diámetro y extensión horizontal, TPD y GG compartieron grupo de comparación; en número de hojas, GG presentó el mayor valor, TPD una respuesta intermedia y el testigo el menor valor (Tabla 1). La interpretación inferencial de estas agrupaciones se limita por las condiciones de distribución de los tratamientos en franjas.

Tabla 1. Variables morfoagronómicas del pepino bajo tres tratamientos foliares.

Variable	Testigo	TPD	GG	p	Orden de medias
Altura (cm)	12.50 a	18.10 b	19.90 b	<0.0001	GG > TPD > testigo
Diámetro del tallo (mm)	7.59 a	9.51 b	10.29 b	<0.0001	GG > TPD > testigo
Número de hojas	18.66 a	26.52 b	35.03 c	<0.0001	GG > TPD > testigo
Extensión horizontal (m)	0.94 a	1.40 b	1.48 b	<0.0001	GG > TPD > testigo

TPD: té de polvo de pez diablo; GG: Gro Green. Las letras reproducen las agrupaciones reportadas en las salidas disponibles; letras compartidas indican ausencia de diferencia detectada, no equivalencia.

Los incrementos atribuidos a TPD respecto al testigo fueron de 44.8 % en altura, 25.3 % en diámetro del tallo, 42.1 % en número de hojas y 48.9 % en extensión horizontal. En términos absolutos, estas diferencias correspondieron a 5.60 cm, 1.92 mm, 7.86 hojas y 0.46 m, respectivamente. Con GG, los incrementos relativos fueron de 59.2, 35.6, 87.7 y 57.4 %, y las diferencias absolutas de 7.40 cm, 2.70 mm, 16.37 hojas y 0.54 m. La

respuesta conjunta describe mayor desarrollo vegetativo en las plantas tratadas, sin demostrar cambios en biomasa seca, absorción de nutrimentos o eficiencia fotosintética, variables que no se midieron.

Al comparar ambos productos, TPD alcanzó 90.95 % de la altura, 92.42 % del diámetro del tallo y 94.59 % de la extensión horizontal registrados con GG. La mayor separación ocurrió en el número de hojas: TPD representó 75.71 % del valor de GG. Aunque ambos tratamientos compartieron grupo en tres variables, la ausencia de una diferencia detectada no demuestra equivalencia agronómica; esta requeriría márgenes previamente definidos y un diseño específico de evaluación.

El patrón observado concuerda, en términos generales, con los antecedentes de uso de derivados pesqueros en pepino. Ellyzatul et al. (2018) evaluaron extractos de residuos de pescado en plantas cultivadas en bolsas con sustrato y encontraron una respuesta favorable con 20 mL aplicados al medio de cultivo, dentro de un diseño completamente aleatorizado con cinco repeticiones. No obstante, ese resultado no valida la dosis foliar de TPD, debido a las diferencias de materia prima, extracción, concentración y vía de aplicación. Por su parte, Wijesundara et al. (2025) registraron respuestas vegetativas favorables con extractos foliares fermentados de residuos de tilapia; la fermentación con azúcar durante 21 días también distingue ese preparado del extracto acuoso simple utilizado aquí.

La interpretación fisiológica debe considerar que la aspersión no implica absorción completa ni transporte uniforme de los compuestos aplicados. Fernández y Brown (2013) señalan que la retención, penetración y redistribución de nutrimentos dependen de la formulación, la superficie foliar, el ambiente y la movilidad de cada elemento. En consecuencia, el mayor crecimiento registrado no permite cuantificar la fracción absorbida ni atribuir la respuesta a un nutrimento específico del TPD.

El número de hojas debe interpretarse además como un indicador parcial de la estructura vegetativa y no como medida directa de área fotosintética. Las plantas pueden diferir simultáneamente en tamaño, edad y distribución de las hojas. La medición de área foliar, duración del follaje funcional, biomasa y estado nutricional permitiría explicar mejor su relación con la producción. Asimismo, la síntesis de la Tabla 1 no constituye una curva temporal de crecimiento ni permite identificar por sí sola la semana de inicio de la

respuesta; en un cultivo rastrero deben distinguirse altura, longitud de guía y extensión horizontal.

3.2. Componentes del rendimiento

3.2.1. Número de frutos por planta

El comportamiento del número de frutos varió entre fechas (Tabla 2). En la semana 8, TPD y GG registraron 4.07 y 4.20 frutos por planta y compartieron grupo de comparación, por encima del testigo, con 2.87. En las semanas 9, 10 y 12, GG alcanzó el mayor valor, con 5.27 frutos por planta; TPD registró 4.53, 4.53 y 3.87, respectivamente. La excepción ocurrió en la semana 11, cuando TPD presentó 4.73 frutos por planta frente a 4.20 con GG y 2.73 en el testigo.

El promedio aritmético de las cinco medias semanales fue de 2.838 frutos por planta en el testigo, 4.346 en TPD y 4.842 en GG. Como indicadores descriptivos de la ventana de observación, TPD superó al testigo en 53.14 % y GG en 70.61 %, mientras que GG superó a TPD en 11.41 %. Estos porcentajes resumen las medias de las fechas evaluadas y no representan una nueva comparación estadística ni un conteo acumulado de frutos cosechados.

Tabla 2. Número de frutos por planta entre las semanas 8 y 12.

Semana	Testigo	TPD	GG	p	Orden de medias
8	2.87 a	4.07 b	4.20 b	<0.0001	GG > TPD > testigo
9	3.13 a	4.53 b	5.27 c	<0.0001	GG > TPD > testigo
10	2.73 a	4.53 b	5.27 c	<0.0001	GG > TPD > testigo
11	2.73 a	4.73 c	4.20 b	<0.0001	TPD > GG > testigo
12	2.73 a	3.87 b	5.27 c	<0.0001	GG > TPD > testigo

TPD: té de polvo de pez diablo; GG: Gro Green. Las letras reproducen las agrupaciones reportadas en las salidas disponibles; letras compartidas indican ausencia de diferencia detectada, no equivalencia.

La ventaja relativa de TPD frente al testigo fue de 41.81, 44.73, 65.93, 73.26 y 41.76 % en las semanas 8, 9, 10, 11 y 12, respectivamente. El mayor contraste ocurrió en la

semana 11, cuando TPD también superó a GG en 12.62 %. TPD aumentó de 4.07 frutos por planta en la semana 8 a 4.73 en la 11 y descendió a 3.87 en la 12. En GG se alternaron valores de 5.27 en tres evaluaciones y de 4.20 en las semanas 8 y 11. Este cambio de orden describe una respuesta no uniforme a lo largo de la fase productiva; demostrar una interacción tratamiento × semana requiere un análisis conjunto que considere la dependencia temporal.

Las sumas de las medias semanales fueron de 14.19, 21.73 y 24.21 para testigo, TPD y GG, respectivamente. Estas sumas solo representarían frutos acumulados por planta si cada conteo incluyera exclusivamente frutos nuevos cosechados, sin duplicación entre fechas. Por ello, no se utilizaron como estimaciones de producción acumulada. Del mismo modo, la reducción final de TPD no demuestra senescencia, agotamiento nutricional o estrés, explicaciones que exigirían registros de sanidad, clima, humedad y manejo de cosecha.

3.2.2. Peso medio del fruto

TPD presentó el mayor peso medio del fruto en todas las evaluaciones, con valores entre 491.50 y 498.03 g. GG mostró valores de 401.78–406.67 g y el testigo de 350.04–353.27 g (Tabla 3). En todas las semanas, el orden numérico y las letras de agrupación fueron consistentes con TPD > GG > testigo.

Tabla 3. Peso medio del fruto entre las semanas 8 y 12.

Semana	Testigo (g)	TPD (g)	GG (g)	p	Orden de medias
8	353.10 a	491.50 c	403.78 b	<0.0001	TPD > GG > testigo
9	350.04 a	498.03 c	403.72 b	<0.0001	TPD > GG > testigo
10	351.87 a	495.47 c	404.00 b	<0.0001	TPD > GG > testigo
11	353.27 a	497.83 c	406.67 b	<0.0001	TPD > GG > testigo
12	351.69 a	496.78 c	401.78 b	<0.0001	TPD > GG > testigo

TPD: té de polvo de pez diablo; GG: Gro Green. Las letras reproducen las agrupaciones reportadas en las salidas disponibles; letras compartidas indican ausencia de diferencia detectada, no equivalencia.

El promedio aritmético de las cinco medias semanales fue de 495.92 g con TPD, 403.99 g con GG y 351.99 g en el testigo. Con base en estos valores, TPD superó a GG en

22.76 % y al testigo en 40.89 %. En TPD, la amplitud entre el mínimo y el máximo fue de 6.53 g, equivalente a 1.32 % del promedio. Esta amplitud describe estabilidad de las medias semanales, pero no demuestra uniformidad de los frutos individuales, para la cual se requieren medidas de dispersión dentro de cada fecha.

La combinación de menor número medio semanal de frutos y mayor peso individual con TPD, frente a GG, es compatible con diferencias en la relación entre carga reproductiva y disponibilidad de asimilados. Sin embargo, constituye una hipótesis interpretativa y no una demostración de redistribución de carbono. Para examinarla sería necesario medir área foliar, biomasa, cuajado, aborto de frutos y carga simultánea, además de uniformar el estado de madurez y el criterio de cosecha.

Los antecedentes respaldan el interés por estudiar esta respuesta sin establecer equivalencia entre preparados. Ellyzatul et al. (2018) registraron el mayor peso de fruto con 20 mL de extracto aplicado al sustrato. Wijesundara et al. (2025) también observaron incrementos del peso fresco del fruto con extractos fermentados de tilapia aplicados por vía foliar. Estas coincidencias corresponden a la dirección general de la respuesta, no a una validación del mecanismo, la dosis o la magnitud del efecto de TPD.

El mayor peso individual tampoco equivale necesariamente a mayor calidad comercial. En este estudio no se midieron longitud, diámetro, firmeza, color, sólidos solubles, deformaciones, daños ni aceptación del comprador. Por tanto, los resultados permiten discutir masa del fruto, pero no calidad integral, vida poscosecha o mejor precio. La comparación también depende de que los frutos representen estados de madurez y criterios de selección comparables.

3.3. Rendimiento final

El mayor rendimiento final correspondió a TPD, con 3.59 kg m^{-2}, seguido de GG con 2.84 kg m^{-2} y del testigo con 1.91 kg m^{-2} (Tabla 4). TPD superó a GG en 0.75 kg m^{-2} (26.4 %) y al testigo en 1.68 kg m^{-2} (88.0 %); GG superó al testigo en 0.93 kg m^{-2} (48.7 %).

Las agrupaciones de Tukey reportadas asignaron un grupo distinto a cada tratamiento, aunque su alcance inferencial permanece condicionado por la independencia de las unidades experimentales.

Los rendimientos equivalen a 35.9, 28.4 y 19.1 t ha^{-1} para TPD, GG y testigo, respectivamente. La diferencia entre TPD y GG equivale a 7.5 t ha^{-1}. Estas cifras constituyen conversiones de unidades (kg m^{-2} x 10) y no resultados adicionales ni validaciones productivas a escala de una hectárea.

Tabla 4. Rendimiento final del pepino por tratamiento.

Tratamiento	Rendimiento (kg m^{-2})	Grupo reportado de Tukey	Incremento frente al testigo
Testigo	1.91	a	—
GG	2.84	b	48.7 %
TPD	3.59	c	88.0 %

TPD: té de polvo de pez diablo; GG: Gro Green. Los grupos de Tukey corresponden a las salidas disponibles del estudio.

El mayor rendimiento de TPD coincidió con el mayor peso individual del fruto, aun cuando GG presentó mayor número de frutos en tres de las cinco evaluaciones. Asimismo, el mayor número de hojas con GG no se tradujo en el mayor rendimiento final. En conjunto, el patrón indica que el conteo foliar o el número de frutos, considerados de forma aislada, no explican el orden de productividad. No obstante, los datos disponibles al ser un experimento solo exploratorio no permiten cuantificar cuánto aportó cada componente al rendimiento total.

El testigo recibió fertilización de base, de modo que el contraste representa una respuesta adicional dentro de ese manejo y no demuestra que TPD pueda reemplazar la nutrición del suelo. Además, los productos no se igualaron por dosis de nutrimentos. La diferencia de masas aplicadas —aproximadamente 60 g de polvo inicial equivalente ha^{-1} con TPD y 1 kg de producto ha^{-1} con GG por aplicación— no puede interpretarse como mayor eficiencia nutricional del TPD, porque se desconocen su composición química, extracción efectiva y absorción.

La ventaja productiva tampoco demuestra rentabilidad. El análisis económico debe considerar el ingreso por producción comercial adicional y descontar los costos diferenciales de obtención de biomasa, transporte, secado, molienda, filtración, almacenamiento, aspersión y mano de obra. El ingreso también puede variar por la

clasificación y el precio de los frutos. Por ello, el diferencial de rendimiento constituye una base para evaluación económica, no una estimación de beneficio neto.

3.4. Alcance agronómico, limitaciones e implicaciones ambientales

El TPD debe considerarse un extracto experimental con potencial agronómico, no un hidrolizado proteico. Madende y Hayes (2020) aportan un marco para discutir derivados pesqueros y compuestos con posible actividad bioestimulante, pero no demuestran que el preparado de este ensayo contenga las mismas fracciones solubles ni ejerza mecanismos equivalentes. Antes de atribuir su efecto a aminoácidos, péptidos, minerales o reguladores del crecimiento, se requiere caracterizar pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, micronutrientes, aminoácidos y calidad microbiológica. Estas determinaciones permitirían estandarizar lotes, estudiar dosis y evaluar seguridad y fitotoxicidad.

La validación posterior debería distribuir los tratamientos aleatoriamente en bloques independientes e incluir varios ciclos o sitios y dosis contrastantes. Un testigo asperjado con agua permitiría separar el efecto del preparado del asociado a la operación de aspersión. También se requieren criterios uniformes de cosecha y descarte, medidas de dispersión, evaluación de fitotoxicidad, análisis de costos y trazabilidad del producto.

Desde el manejo de recursos naturales, el ensayo vincula el aprovechamiento de biomasa con una aplicación agrícola local, pero no demuestra reducción de la invasión ni recuperación de ecosistemas acuáticos. No se cuantificaron densidad de loricáridos, esfuerzo de captura, extracción neta de biomasa o efectos en especies nativas. Como señalan Orfinger y Goodding (2018), los impactos de *Pterygoplichthys* requieren evaluación empírica; la eficacia agronómica de un producto y la eficacia del manejo poblacional son dimensiones distintas.

La sostenibilidad integral también requiere balances de biomasa fresca y seca, consumo energético, agua, residuos de filtrado y transporte. Sin estos indicadores no puede afirmarse una reducción neta de emisiones o contaminación. La valorización debe complementar el monitoreo y control de los loricáridos, con criterios de trazabilidad y bioseguridad y evitando prácticas que favorezcan su traslado, reproducción o liberación.

Los resultados justifican continuar la investigación del TPD, pero no una recomendación generalizada de sustitución de fertilizantes.

4. Conclusiones

En las condiciones de la parcela comercial evaluada, TPD y Gro Green presentaron una respuesta vegetativa favorable frente al testigo sin aplicación foliar. Ambos tratamientos registraron mayores valores de altura, diámetro del tallo y extensión horizontal, mientras que Gro Green presentó el mayor número de hojas. Estas diferencias describen el comportamiento observado en el sitio y ciclo estudiados, sin establecer equivalencia entre productos ni causalidad independiente de la distribución espacial.

Los componentes productivos mostraron respuestas distintas: Gro Green presentó mayor número de frutos por planta en tres de las cinco evaluaciones, mientras que TPD registró el mayor peso medio del fruto en todas las fechas, con un promedio de las medias semanales de 495.92 g. El rendimiento final fue de 3.59 kg m^{-2} con TPD, 2.84 kg m^{-2} con Gro Green y 1.91 kg m^{-2} en el testigo. La ventaja descriptiva de TPD fue de 26.4 % respecto a Gro Green y de 88.0 % respecto al testigo. Su mayor rendimiento coincidió con el mayor peso del fruto, sin que los datos permitan cuantificar la contribución causal de cada componente.

El extracto acuoso de polvo de pez diablo constituye una alternativa experimental de aprovechamiento agrícola local, utilizada como complemento de la fertilización de base. Su potencial no equivale a una demostración de actividad bioestimulante específica, rentabilidad o sostenibilidad ambiental integral.

Antes de recomendar su adopción o la sustitución de insumos comerciales, se requiere validación con tratamientos aleatorizados y repeticiones independientes, diferentes sitios y ciclos, caracterización química y microbiológica, verificación de dosis, evaluación de fitotoxicidad y análisis económico. El aprovechamiento de la biomasa deberá mantener trazabilidad y bioseguridad y complementar, sin sustituir, las acciones de manejo de la especie invasora.

5. Referencias bibliográficas

Ellyzatul, A. B., Yusoff, N., Mat, N., & Khandaker, M. M. (2018). Effects of fish waste extract on the growth, yield and quality of *Cucumis sativus* L. Journal of Agrobiotechnology, 9(1S), 250–259. https://core.ac.uk/download/pdf/267943191.pdf

Fernández, V., & Brown, P. H. (2013). From plant surface to plant metabolism: The uncertain fate of foliar-applied nutrients. Frontiers in Plant Science, 4, Article 289. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289

Madende, M., & Hayes, M. (2020). Fish by-product use as biostimulants: An overview of the current state of the art, including relevant legislation and regulations within the EU and USA. Molecules, 25(5), Article 1122. https://doi.org/10.3390/molecules25051122

Orfinger, A. B., & Goodding, D. D. (2018). The global invasion of the suckermouth armored catfish genus *Pterygoplichthys* (Siluriformes: Loricariidae): Annotated list of species, distributional summary, and assessment of impacts. Zoological Studies, 57, Article e7. https://doi.org/10.6620/ZS.2018.57-07

Wijesundara, W. M. A. P., Rathnathunga, E. U. U., & Pushpakumari, W. H. D. U. (2025). Fish waste extract as a sustainable alternative to inorganic fertilizers in salad cucumber, *Cucumis sativus* cultivation: Growth and yield insights. Journal of Science of the University of Kelaniya, 18(1), 31–44. https://doi.org/10.4038/josuk.v18i1.8123