

ARTÍCULO DE REVISIÓN CIENTÍFICA Y MONOGRAFÍA TÉCNICA

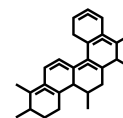
Mecanismos Bioquímicos y Microbiológicos de SOLÖAMINO®:

Un Enfoque Multifactorial para la Inducción de Supresividad Edáfica y Control Biológico de Nematodos Fitoparásitos (*Meloidogyne* spp.)

Resumen:

El control de nematodos fitoparásitos (fundamentalmente del género *Meloidogyne*) representa uno de los mayores desafíos agronómicos globales debido a la restricción regulatoria de fumigantes químicos tradicionales de síntesis. Esta investigación analiza en profundidad el hidrolizado líquido de pescado SOLÖAMINO®, un bioestimulante avanzado caracterizado por una alta densidad de materia seca (55,20%), un elevado porcentaje de materia orgánica (69,80%) y una alta concentración de aminoácidos libres del 19,8%. Adicionalmente, el producto está fortificado con un 2,5% de quitina sobre materia seca y un consorcio microbiológico nativo proveniente del tracto digestivo de la materia prima (pescados, moluscos y crustáceos), compuesto por bacterias aeróbicas, anaeróbicas, *Lactobacillus*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Mucor* y *Actinomicetos* entre otros.

A través de una revisión exhaustiva de la literatura científica actual y de los datos quimiométricos del producto, se



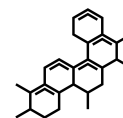
SOLÖAMINO

demuestra que SOLÖAMINO® ejerce una acción nematicida y nematostática mediante cuatro mecanismos sinérgicos:

1. La liberación controlada de nitrógeno amoniacal y ácidos grasos volátiles con toxicidad directa sobre juveniles de segundo estadio (J2).
2. La inducción masiva de actividad quitinolítica exógena que degrada la pared celular de los huevos del nematodo.
3. La estimulación de la Inmunidad Vegetal mediante Resistencia Sistémica Inducida (ISR) mediada por aminoácidos específicos como el ácido glutámico y la glicina.
4. El establecimiento de un microbioma rizosférico altamente competitivo que promueve la regeneración radicular y transforma suelos de un estado conductor a un estado permanentemente supresivo.

1. Introducción y Estado del Arte del Control de Nematodos:

Los nematodos formadores de agallas (*Meloidogyne* spp.) y otros géneros fitoparásitos (*Heterodera* spp., *Pratylenchus* spp.) causan pérdidas multimillonarias anuales en la agricultura intensiva y extensiva global. Tradicionalmente, la desinfección de suelos dependía de fumigantes altamente nocivos como el bromuro de metilo, el 1,3-dicloropropeno o el metam sodio. Sin embargo, las normativas de la Unión Europea y las restricciones globales debido al impacto ambiental y riesgos para la salud humana han provocado la retirada escalonada de estas moléculas. En este escenario de transición agroecológica, surge la necesidad apremiante de desarrollar matrices biológicas complejas que no solo reduzcan las



SOLÖAMINO

poblaciones de fitopatógenos, sino que estimulen la resiliencia intrínseca del sistema suelo-planta.

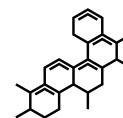
Los hidrolizados de proteínas de origen marino obtenidos por procesos enzimáticos controlados han emergido como herramientas de vanguardia dentro de la biotecnología agrícola. A diferencia de las enmiendas orgánicas brutas, un hidrolizado estabilizado provee metabolitos inmediatamente asimilables y precursores moleculares de defensa. En este documento se desglosan los fundamentos científicos que posicionan a SOLÖAMINO® como una solución sistémica para la supresión de nematodos, integrando su detallada composición físico-química y su carga biológica especializada.

2. Caracterización Quimiométrica y Perfil Físico-Químico de SOLÖAMINO®:

La eficiencia biológica de SOLÖAMINO® está intrínsecamente ligada a sus propiedades físico-químicas estables:

Tabla 1: Indicadores Estructurales de Estabilidad y Miscibilidad

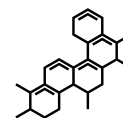
Parámetro Físico-Químico	Valor Registrado	Implicación Mecanística en el Suelo
Materia Seca	55,20%	Alta concentración de solutos útiles; reduce costes de transporte y asegura una carga bioproductiva óptima.



SOLÖAMINO

Materia Orgánica	69,80%	Aporte masivo de carbono lábil para la microflora nativa del suelo.
Carbono Orgánico	32,10%	Relación C:N equilibrada para evitar el bloqueo o "hambre de nitrógeno" en el cultivo.
PH	3,1	Estabilización de péptidos; al aplicarse diluido, altera temporalmente los gradientes quimiotácticos de los nematodos.
Grado de Solubilidad Total	96,20%	Garantiza la total compatibilidad con sistemas de fertirrigación tecnificada sin colmatación de emisores.

El PH marcadamente ácido (3,1) es una característica clave para la conservación y la sanidad del producto, impidiendo el desarrollo de patógenos humanos como *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* (los cuales se reportan como "No detectado" y <10 ufc/ml respectivamente en los análisis oficiales del producto). Al incorporarse al suelo a través del agua de riego, la micro-reacción ácida local interactúa con



SOLÖAMINO

la matriz coloidal, liberando nutrientes bloqueados y generando un choque osmótico transitorio en la película de agua donde se desplazan las larvas infectivas J2 de los nematodos.

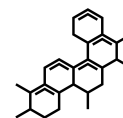
3. El Rol de la Fracción Nitrogenada y el Pool de Aminoácidos Libres en la Nematicidad:

La composición nitrogenada de SOLÖAMINO® revela un proceso de hidrólisis enzimática avanzada. Con un Nitrógeno Kjeldahl Total (NKT) de 6,85%, el Nitrógeno soluble en ácido tricloroacético (TCA) representa el 83,2% del nitrógeno total, lo que confirma que la gran mayoría de las proteínas macromolares han sido degradadas eficientemente hacia péptidos de cadena corta y aminoácidos libres (19,8% total).

Mecanismos de Nematicidad Directa por Mineralización de Nitrógeno.

Cuando SOLÖAMINO® es metabolizado por las bacterias heterótrofas del suelo, el nitrógeno orgánico (2,57%) y el nitrógeno alfa-amino (3,94%) sufren procesos secuenciales de aminización y amonificación. La literatura científica describe de manera consistente que la liberación microbiana de nitrógeno amoniacal (NH_4) y, en particular, el equilibrio con el amoníaco gas de forma libre (NH_3), ejerce una potente acción nematicida directa. El amoníaco altera la permeabilidad de las membranas celulares de los nematodos e interfiere con sus procesos enzimáticos internos, provocando la vacuolización citoplasmática y la muerte de los juveniles J2 en la rizosfera antes de que logren penetrar las raíces.

Acción Específica de los Aminoácidos Libres en la Resistencia de la Planta:



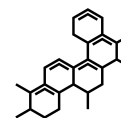
SOLÖAMINO

El aminograma de SOLÖAMINO® presenta concentraciones elevadas de aminoácidos esenciales implicados en las vías metabólicas del estrés vegetal:

- Glicina (3,51%) y Alanina (1,62%): Actúan como potentes osmoprotectores. Alivian el estrés abiótico secundario inducido en las raíces que ya han sido dañadas y obstruidas por los sincitios de los nematodos alimentándose.
- Ácido Glutámico (2,74%): Es el precursor metabólico fundamental para las vías de transaminación y actúa como una señal molecular en la planta. Estimula la síntesis de fitohormonas endógenas y activa la ruta del ácido shikímico, intensificando la producción de compuestos fenólicos, taninos y lignina que refuerzan mecánicamente las paredes celulares de las raíces. Esto dificulta la inserción del estilete del nematodo.
- L-Prolina (1,84%): Clave en la detoxificación de especies reactivas de oxígeno (ROS) acumuladas bajo condiciones de ataque por patógenos radicícolas.
- Metionina (0,62%): Precursor directo en la ruta biosintética del etileno. En concentraciones fisiológicas balanceadas, el etileno orchestra los mecanismos de defensa y promueve el engrosamiento de la corteza radicular.

4. Inducción de Actividad Quitinolítica a través de la Fracción de Quitina (2,5% ms):

La integración biológica de un 2,5% de quitina sobre la materia seca, proveniente del exoesqueleto de las gambas y demás crustáceos utilizados en la composición de SOLÖAMINO®, introduce una estrategia de biocontrol



SOLÖAMINO

altamente especializada y selectiva. La quitina (un polímero lineal de N-acetilglucosamina) constituye un elemento estructural crítico en la agricultura, pero está ausente en las plantas superiores. Sin embargo, forma parte indispensable de la matriz de la cáscara de los huevos de los nematodos y de la cutícula interna de muchas de sus etapas larvarias.

Dinámica de Supresividad Específica por Enmienda Quitinosa:

Al aplicar SOLÖAMINO® al suelo, la presencia constante de micropartículas de quitina actúa como un potente "elicitador edáfico". El suelo responde mediante un cambio drástico en su equilibrio microbiológico:

Aplicación de SOLÖAMINO con 2.5% Quitina



**Elicitación y Multiplicación Activa de Microflora Quitinolítica
(Actinomicetos)**

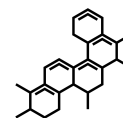


Producción Exógena Masiva de Enzimas Quitinasas y Quitosanasas



**Degradación de la Cáscara del Huevo del Nematodo —►
[Inviabilidad Térmica y Muerte del Embrión]**

Investigaciones publicadas (como los trabajos con enmiendas de crustáceos en el control de *Meloidogyne enterolobii*) demuestran que la tasa de eclosión de huevos disminuye hasta en un 84% tras la aplicación de matrices ricas en quitina y proteínas complejas. Las enzimas exo- y endo-quitinasas hidrolizan los enlaces beta (1,4) de la cáscara



SOLÖAMINO

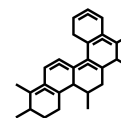
del huevo del nematodo, rompiendo la barrera de permeabilidad lipídica interna, lo que provoca la deshidratación del embrión o permitiendo la entrada de hongos oportunistas que parasitan el interior del huevo.

5. Sinergia del Consorcio Microbiológico Endógeno de SOLÖAMINO®:

A diferencia de los productos esterilizados térmicamente de baja calidad, SOLÖAMINO® preserva y aporta un microbioma endógeno activo y diverso originado en el sistema digestivo de los organismos marinos procesados. Estos microorganismos actúan cooperativamente en la interfase de la rizosfera:

Actinomicetos: Los Biofábricas de Antibiosis y Quitinólisis: Los actinomicetos (predominantemente del género *Streptomyces*) son los agentes biológicos más eficientes en el control a largo plazo de nematodos. Son estimulados directamente por la quitina del producto. Además de producir altas concentraciones de quitinasas exógenas, sintetizan metabolitos secundarios macrocíclicos (como las avermectinas y compuestos similares a nucleósidos) que poseen propiedades nematicidas directas de contacto, bloqueando los neurotransmisores de los nematodos fitoparásitos en el suelo.

Lactobacillus y Bacterias Anaeróbicas/Aeróbicas: Moduladores Químicos: Las bacterias lácticas realizan una fermentación continua de los carbohidratos residuales y de los azúcares aportados por los ácidos fúlvicos (1,55%) y húmicos (0,819%) de SOLÖAMINO®. La producción in situ de ácido láctico y bacteriocinas genera un entorno protector alrededor de los pelos absorbentes de las raíces. Esta colonización competitiva por espacio y nutrientes evita el reconocimiento



SOLÖAMINO

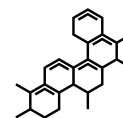
quimiotáctico de la raíz por parte de los nematodos fitoparásitos, interfiriendo drásticamente en su capacidad de orientación hacia los tejidos diana de la planta.

Azotobacter y Rhizobium: Mitigación del Daño mediante Rizobacterias Promotoras del Crecimiento (PGPR): El ataque de nematodos destruye el sistema vascular de la raíz (vasos xilemáticos), lo que restringe gravemente la absorción de agua y nutrientes, manifestándose externamente en la planta como clorosis y enanismo. Las bacterias fijadoras de nitrógeno *Azotobacter* y *Rhizobium* presentes en SOLÖAMINO® colonizan el exterior e interior del tejido radicular:

1. Síntesis de Fitoestimulantes: Producen ácido indolacético (auxinas) y citoquininas a partir del triptófano (0,10%) disponible en el hidrolizado. Estas hormonas inducen la emisión continua de nuevas raíces laterales y raíces adventicias.
2. Compensación Funcional: La planta logra generar más raíces nuevas que las agallas formadas por los nematodos, manteniendo la tasa de absorción de agua y nutrientes intacta, compensando económicamente los daños del patógeno.

Mucor: Degradación Primaria y Estructura Edáfica: Este hongo cigomiceto acelera la descomposición de la fracción lipídica del producto (Aceites: 4,11%), transformándola en ácidos grasos de cadena corta que alteran el equilibrio biológico de los nematodos fitoparásitos y mejoran sustancialmente la agregación y porosidad del suelo circundante.

6. Evolución de Suelos Conducivos a Suelos Supresivos:



SOLÖAMINO

El concepto fundamental detrás del uso sistemático de SOLÖAMINO® no es simplemente la erradicación química transitoria, sino la construcción de suelos supresivos. Un suelo conducivo es aquel donde el patógeno encuentra condiciones biológicas idóneas para multiplicarse exponencialmente. Un suelo supresivo, por el contrario, mantiene las poblaciones de nematodos por debajo del umbral de daño económico debido a la presión biológica ejercida por la comunidad microbiana nativa y estimulada.

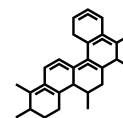
SOLÖAMINO® actúa aportando de forma simultánea los tres componentes requeridos para la inducción de supresividad específica de acuerdo con los modelos epidemiológicos modernos:



El suministro continuo de un sustrato rico en carbono orgánico (32,10%), nitrógeno de fácil digestión y quitina estructurada, consolida una red trófica edáfica equilibrada. Los nematodos omnívoros y depredadores libres se multiplican, compitiendo y predando activamente sobre las fases móviles de *Meloidogyne* spp., regulando de manera biológica y natural la dinámica poblacional del ecosistema.

7. Conclusiones y Recomendaciones Biotecnológicas:

El análisis integral del perfil analítico de SOLÖAMINO® valida científicamente su doble función como bioestimulante de



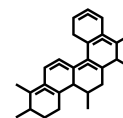
SOLÖAMINO

alta eficiencia y agente promotor de la sanidad radicular frente a nematodos perjudiciales:

- **Sinergia Químico-Biológica:** La combinación de un 19,8% de aminoácidos libres funcionales con un 2,5% de quitina activa de forma simultánea las rutas de defensa intrínsecas de la planta y las capacidades hidrolíticas del suelo.
- **Carga Biológica Especializada:** El consorcio de actinomicetos y bacterias lácticas actúa directamente en la zona de máximo riesgo de infección, colonizando activamente la rizosfera de los cultivos.
- **Restauración del Ecosistema:** El uso recurrente del producto reduce de forma medible la dependencia de agroquímicos de síntesis, mitigando la degradación de los suelos agrícolas y fomentando una transición viable hacia un modelo de agricultura regenerativa de alta productividad.

Bibliografía de Referencia

1. Innoagral (2026). *Informe de Ensayo SOLÖAMINO®: Hidrolizado de Pescados Líquido*. Determinaciones analíticas por HPLC, Walkley Black y Absorción Atómica.
2. Cretoiu, M. S., Korthals, G. W., Visser, J. H. M., & van Elsas, J. D. (2013). *Chitin Amendment Increases Soil Suppressiveness toward Plant Pathogens and Modulates the Actinobacterial Communities in an Experimental Agricultural Field*. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(13), 3968-3975.
3. Tian, H., Riggs, R. D., & Crippen, D. L. (2000). *Control of soybean cyst nematode by chitinolytic bacteria*. *Journal of Nematology*, 32(4), 377.



SOLÖAMINO

4. Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Roupael, Y. (2015). *Protein hydrolysates as biostimulants in agriculture: a review*. Scientia Horticulturae, 196, 28-38.
5. Sánchez-Moreno, S., & Ferris, H. (2007). *Suppressive soils and the functional diversity of nematode communities*. Phytopathology, 97(11), 1431-1439.
6. Oka, Y. (2010). *Mechanisms of nematicidal activity of natural compounds*. Phytopathology, 100(2), 227-232.
7. Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Smith, D. L., & Smith, D. L. (2018). *Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers and biopesticides: A review*. Frontiers in Plant Science, 9, 1473.



SOLÖAMINO