



Lenteja de agua (*Lemna minor*): potencial alimentario y ambiental. Revisión



Olga Jaimes Prada ^a

Olga Lora Díaz ^{a*}

Katherine Tache Rocha ^a

^a Universidad del Sinú Elías Bechara Zainúm. Facultad de Ciencias de la Salud. Cartagena, Colombia.

* Autor de correspondencia: olora@unisinucartagena.edu.co

Resumen:

Las lentejas de agua son plantas con flores de la familia Aráceas, comprenden las angiospermas más pequeñas del reino vegetal, una especie de algas acuáticas de distribución universal, se encuentran en la superficie de los cuerpos de agua dulce principalmente en charcos, ciénagas, lagos y ríos calmados. Recientemente, se han llevado a cabo diferentes investigaciones sobre su potencial y utilidad. Por su composición nutricional, aporte de proteína, alto contenido de fibra y bajo contenido de grasas y carbohidratos, resultaría ser un insumo adecuado para generar productos de alto valor nutricional, características que la hacen interesante frente a otras especies. Se emplea como complemento a dietas comerciales en una gran variedad animales como aves, rumiantes, no rumiantes, crustáceos y peces, reduciendo hasta un 50 % los costos por alimentación. Así mismo, usada en procesos de remediación de una amplia gama de contaminantes químicos con alta tasa de eliminación, pueden absorber algunas sustancias disueltas y brindar oxígeno mediante la fotosíntesis. Se ha indicado bajo costo de construcción, mantenimiento, fáciles de operar, poseen amplia tolerancia a condiciones de crecimiento, facilidad general de cosecha y no compiten con las tierras de cultivo. En el ámbito ambiental es importante encontrar materias primas alternativas e innovadoras, incluso sin la necesidad de utilizar medios de crecimiento o fertilizantes, sin embargo, su aceptación como fuente de alimento necesita investigaciones exhaustivas con respecto a su valor nutritivo, rendimiento a gran escala, suministro de mercado económico y análisis de componentes antinutritivos para la alimentación humana.

Palabras clave: Lenteja de agua, *Lemna minor*, Perfil nutricional, Remediación ambiental, Alimentación humana y animal.

Recibido: 30/11/2021

Aceptado: 27/07/2023

Introducción

En las últimas décadas el acelerado crecimiento de la población mundial y la crisis climática se ha convertido en un problema grave que amenaza el suministro de alimentos y piensos, generando patrones alimentarios deficientes en proteínas y vitaminas, desarrollo de malnutrición por consumo excesivo de azúcares simples y estigmatización de nutrientes⁽¹⁾. En este sentido, las lentejas de agua han tomado un protagonismo en las investigaciones recientes en la búsqueda por nuevos alimentos que brinden alternativas saludables, productos farmacéuticos sostenibles y rentables a gran escala de producción.

Estas pequeñas plantas acuáticas comprenden un conjunto que flotan en la superficie de los cuerpos de agua de poco movimiento; con una gran capacidad de reproducción y crecimiento acelerado. Tradicionalmente se les han utilizado como remediadoras de la contaminación de cuerpos de agua dada su habilidad para la absorción de minerales, sales, sustancias nitrogenadas y metales pesados en los cuerpos de agua⁽²⁾.

Desde el punto de vista ecológico, se aprecia que, dadas sus interacciones con otras especies, puede considerarse como una especie clave en su hábitat, aunque, tiene un tamaño muy reducido, por su rápido crecimiento, alta tolerancia a la contaminación y capacidad de absorción de nitrógeno y fósforo, *Lemna minor* se ha utilizado previamente para el tratamiento de agua residuales^(3,4).

En países asiáticos y recientemente en países de occidente, se están incluyendo en mezclas vegetales para la crianza de animales de granja y cultivos de peces, mostrando favorables resultados en el desarrollo y crecimiento de estos animales, reduciendo costos en su alimentación⁽²⁾.

Se conoce que las lentejas de agua contienen nutrientes esenciales como proteínas, carbohidratos y grasas. Además, de una variedad de metabolitos secundarios que son beneficiosos para los humanos. Por lo tanto, la consideración de los métodos de cultivo de las lentejas de agua es vital para su mejor utilización en diversas aplicaciones industriales. Se han generado varios informes sobre la utilización, los metabolitos y el cultivo de lentejas de agua; estos deben revisarse y resumirse como información fundamental para mejorar la

aplicación de la lenteja de agua^(5,6). Es importante anotar que de ser empleadas como remediadoras de contaminación, considerar su uso en alimentación humana y animal debe ser evaluado.

El objetivo del presente documento es dar una visión global de las lentejas de agua, especialmente la especie *Lemna minor*, a través de un recorrido bibliográfico desde la descripción taxonómica hasta su uso como una alternativa de inclusión en la alimentación animal y humana, teniendo en cuenta su composición nutricional y los patrones de estilos de vida actuales. Además, se estudia el impacto ambiental como biomarcadores, remediadores ambientales, enmiendas agrícolas en los cultivos, fuentes de biocombustibles y modelos de patogenicidad.

Lenteja de agua (*Lemna minor*)

La lenteja de agua (*Lemna minor*) es una planta angiosperma acuática de más rápido crecimiento en el mundo, de libre flotación que crece en aguas poco móviles, generalmente en agua dulce o humedales en la mayoría de las partes del mundo, y se caracteriza por su tamaño pequeño y gran capacidad reproductiva, lo que le permite ocupar grandes espacios acuáticos en muy poco tiempo^(7,8). Generalmente se describen como hierbas acuáticas o flotantes de estructura muy simple, carentes de tallo u hojas, ocasionalmente con pequeñas raíces filiformes en su cara inferior. Es una planta acuática que a menudo se pueden ver flotando o justo debajo de la superficie o moviéndose muy lentamente⁽⁹⁾.

La *Lemna minor* posee un cuerpo vegetativo en forma taloide, característica de algunas plantas en las que no se logra diferenciar las hojas de los tallos, de tamaño pequeño con estructura plana, coloración verde en sus hojas y una sola raíz delgada de color blanco. Según la descripción de algunos autores, esta característica está asociada a una hoja modificada que cumple las funciones del tallo, la hoja y el eje para sostén de flores como se observa en la Figura 1^(10,11).

Figura 1: Ilustración de cuerpo vegetativo y raíces de la lenteja de agua (*Lemna minor*)



Fuente: Landolt, E⁽¹¹⁾.

Las raíces por su parte, generalmente relacionadas al aspecto de absorción de nutrientes de la planta en estas especies parecen tener una función un poco distinta. Algunos investigadores han reportado que el consumo de nutrientes vía raíces es poco o nulo, funcionando como un órgano estabilizador en el cuerpo de agua; sin embargo, la lenteja de agua, *Lemna minor*, ha demostrado que pueden adquirir cantidades significativas de nitrógeno inorgánico a través de la raíz. La planta se desarrolla a diferentes temperaturas variando entre 5 y 30 °C, creciendo óptimamente entre 15 y 18 °C. Se ajusta de forma favorable a cualquier condición de iluminación. Crece de forma acelerada en lugares calmados y ricos en nutrientes, con niveles altos de nitrógeno y fosfatos. Frecuentemente el hierro limita el desarrollo adecuado de esta especie. Además, es tolerante a un amplio rango de pH, comprendido entre 4.5 y 7^(12,13).

Cultivo de lenteja de agua (*Lemna minor*)

El cultivo de la lenteja de agua se puede producir con bastante facilidad y bajo costo, incluso sin la necesidad de utilizar medios de crecimiento o fertilizantes, ya que se caracterizan por una alta tasa relativa de crecimiento (TRC). Esto significa que son capaces de producir grandes cantidades de biomasa en poco tiempo y en estanques relativamente pequeños, llenos de unos pocos centímetros de agua natural (30 a 50 cm de profundidad). El control y seguimiento del medio acuático en el que crecen las plantas es especialmente importante. La productividad de las lentejas de agua aumenta más si se respetan las condiciones ecológicas óptimas para el crecimiento, sin embargo, son generalmente amplias. Estos, aunque varían ligeramente de una especie a otra, generalmente consisten en aguas moderadamente cálidas, soleadas y ricas en nutrientes, como se documenta en estudios ecológicos sobre algunas especies de lentejas de agua del género *Lemna*.

En las últimas décadas, se ha vuelto común su cultivo al aire libre, pero puede ser difícil de optimizar y controlar operativamente. Sin embargo, las lentejas de agua también representan un cultivo adecuado para la agricultura de interior, con la mayoría de las especies, debido a su estructura plana particularmente adecuada para el cultivo en sistemas de varios niveles (apilados) que utilizan espacio de piso interior de manera eficiente. El cultivo en interiores también amplía el alcance de la manipulación de cultivos y permite condiciones libres de plagas e incluso condiciones estériles. Sin embargo, los parámetros técnicos y operativos requeridos para el interior eficaz a gran escala, han recibido escasa atención en la literatura⁽¹⁴⁾.

Por otro lado, es importante anotar que crecimiento esporádico de la lenteja de agua inflige graves daños a recursos acuáticos con varias implicaciones económicas. El denso y extenso manto creado por la planta en el bloque de aguas superficiales y canales de agua hace que actividades como el flujo de agua, la navegación, canotaje, natación y pesca se haga

imposible. Afecta también al riego, inunda canales, puede obstruir turbinas de hidroeléctrica y perturba los campos de arroz. Una densa capa de lenteja de agua cierra e inhibe las plantas acuáticas competidoras, incluidas algas que requieren la luz del sol. Por lo anterior se hace importante un control integrado o estrategias que permitan su aprovechamiento.

De acuerdo con diversos objetivos y metas, será necesario un cultivo óptimo de lentejas de agua desde un punto de vista económico e industrial. Se deben emplear varios métodos de cultivo que utilizan diversos tipos de biorreactores y condiciones para su utilización como recursos alimentarios, farmacéuticos, fitorremediadores y biocombustibles. La acuaponía que combina la acuicultura y la hidroponía podría ser un sistema de producción sostenible para las plantas⁽¹⁵⁾. Actualmente, la tecnología permite la producción en masa de buena calidad mediante el control de las condiciones ambientales, como irradiación de riego, presión atmosférica, viento, velocidad, temperatura y humedad.

Composición nutricional

En las últimas décadas, diversos estudios científicos han destacado el valor nutricional de las lentejas de agua, que por su aporte que podrían mejorar la calidad de los alimentos en el futuro. Sin embargo, de acuerdo con estudios, el metabolismo de la planta y, por ende, su composición nutricional depende mucho de los nutrientes que se encuentren en la superficie del cuerpo de agua en el que se encuentre. Estos factores sumamente importantes capaces de influir en la composición nutricional de la planta se ven reflejados en los diferentes resultados obtenidos en cada estudio⁽¹⁶⁾.

Proteínas

El contenido de proteínas de alta calidad alcanza valores del 20 al 35 % en materia seca, cuando se cultiva en condiciones óptimas, superior a la proteína presente en los cereales⁽⁶⁾. Lo que hace que la biomasa de lenteja de agua pueda ser considerada como ingrediente para la alimentación animal o humana y puede contribuir a mejorar la seguridad alimentaria a través del desarrollo de métodos sostenibles de producción de alimentos de alto valor nutricional⁽¹⁷⁾. Se ha documentado que la producción de proteína de las lentejas de agua por área cosechada fue mayor que la de la soja, el arroz y el maíz; por lo tanto, podría resolver el problema de la escasez de tierras de cultivo para producir alimentos⁽⁵⁾.

El perfil de aminoácidos de las lentejas de agua se destaca por sobre algunas fuentes de proteínas de origen vegetal actualmente conocidas en la alimentación humana; aspecto que algunos autores, han llegado a relacionarla con un perfil de aminoácidos más similar a la proteína de origen animal^(18,19). Recientes estudios donde se analizó la composición nutricional de varios cultivos de lentejas de agua demostraron a diferencia de previos análisis,

un contenido de aminoácidos como isoleucina, leucina, cisteína, metionina, treonina y valina similares a las recomendaciones de consumo para la población (Cuadro 1); además se puede resaltar que las cantidades no fueron inferiores a las recomendadas por la OMS, 2007^(20,21). Jahreis, *et al*⁽²⁰⁾, encontraron que la composición de aminoácidos de la lenteja de agua es comparable con la de las harinas de las legumbres como el garbanzo, el altramuz o el guisante. Estudios de nutrición clínica han demostrado que los aminoácidos esenciales y el contenido de vitamina B₁₂ de las lentejas de agua son comparables a los guisantes y el queso⁽⁵⁾.

Adicionalmente, su fuente de proteínas que podrían reemplazar la harina de soya se espera que se utilicen como sustitutos para reducir la contaminación ambiental creada por la expansión del cultivo de soya⁽²¹⁾. El consumo de proteína vegetal, en lugar de proteína animal podría reducir el uso de energía y los gases de efecto invernadero y alivia los aspectos negativos de la producción de piensos⁽⁵⁾.

Cuadro 1: Contenido de aminoácidos de la lenteja de agua (*Lemna minor*)

Aminoácidos		G / 100 g proteína
Cisteína	CYS	0.9
Metionina	MET	1.6
Asparagina	ASP	8.2
Treonina	THR	4.0
Serina	SER	4.1
Glutamina	GLU	9.8
Glicina	GLY	4.6
Alanina	ALA	5.1
Valina	VAL	4.6
Isoleucina	ILEU	3.7
Leucina	LEU	7.3
Tirosina	TYR	3.1
Fenilalanina	PHE	4.4
Lisina	LYS	5.0
Histidina	HIS	1.5
Arginina	ARG	4.8
Prolina	PRO	3.8

Fuente: Appenroth, et al⁽⁷⁾.

Grasas

Las grasas juegan un rol importante en la alimentación del ser humano; pese a ser estigmatizadas como nutrientes perjudiciales para la salud, en la última década algunos

estudios han demostrado el gran impacto que tienen éstas al contribuir como factores protectores frente a enfermedades degenerativas como el alzhéimer, reduciendo el riesgo de accidentes cardiovasculares e incluso, la mortalidad. Autores reportan un contenido de 4 al 6 % de contenido de grasa por peso seco⁽⁶⁾.

Se destaca un contenido aproximado de 30 % de ácidos grasos saturados, específicamente, niveles altos de ácido palmítico. Recientemente, se ha demostrado en cuanto al aporte de ácidos grasos por parte de la lenteja de agua, se adapta muy bien a los requerimientos de la población humana, con aporte bajo de grasas y buena relación de ácidos grasos poliinsaturados frente a monoinsaturados, en general cercano o más de la mitad del contenido total de ácidos grasos oscilando entre el 55 al 63 %⁽²²⁾. Así mismo, es importante destacar la presencia de ácidos grasos poliinsaturados de clase n-3 (alfa-linolénico, eicosapentaenoico y docosahexapentaenoico) importantes en el metabolismo humano actuando como antiinflamatorios⁽²³⁾. Otros autores han descrito que el 48 a 71 % de las grasas son ácidos grasos poliinsaturados y la relación entre ácidos grasos omega 6 y omega 3 es de 0.5 o menos⁽⁶⁾.

Hidratos de carbono y fibra

Diversos estudios con lentejas de agua han concluido que los almidones o carbohidratos, tienen una representación bastante baja en el análisis de composición nutricional de estas plantas; en el mejor de los casos los carbohidratos llegan a representar aproximadamente el 10 % del valor nutricional total de las lentejas de agua⁽²⁴⁾.

Algunos autores, han demostrado que el entorno de crecimiento, genética de la especie, nutrientes del medio, rango temperatura, tiempo e intensidad luz solar incide en diferencias en los componentes bioquímicos (proteína bruta, cenizas, celulosa, agua, grasas y minerales). Se ha documentado que el contenido de proteína de la lenteja de agua depende principalmente del contenido de nutrientes en el cuerpo de agua, mientras que la acumulación de minerales en el tejido de la lenteja de agua depende principalmente de las condiciones del agua en el entorno de cultivo. Durante el cultivo artificial, el contenido de almidón, lípidos y proteínas en la lenteja de agua se pueden controlar cambiando los factores afectando el entorno de crecimiento de la lenteja de agua, como el valor de pH, temperatura, composición del medio, etc.⁽²⁵⁾.

Por otra parte, el contenido de fibra a diferencia de los carbohidratos es considerablemente alto; en las lentejas de agua se puede encontrar hasta un 25 % del valor nutricional total en fibra⁽²⁶⁾. Este alto contenido de fibra representa una excelente opción en la inclusión en la alimentación humana que junto que con gran aporte de proteína y, el pequeño aporte de

grasas y carbohidratos, resultarían ser de acuerdo con varios autores, completamente beneficioso en los estilos de vida saludable⁽²⁷⁾.

Minerales y elementos traza

La composición nutricional en cuanto a minerales en las lentejas de agua, se caracteriza por ser plantas ricas en potasio y hierro, y pobre en sodio; mientras que, en cuanto a oligoelementos, se destaca el contenido de manganeso, zinc, cobre, entre otros (Cuadro 2). Por otra parte, el contenido total de cenizas es moderadamente alto con rangos de hasta 18 % en algunos estudios, sin embargo, estos valores pueden variar de acuerdo a la composición del medio^(6,26).

Cuadro 2: Aporte de oligoelementos de lentejas de agua en mg por kg de parte comestible total

Oligoelementos		mg / kg
Magnesio	Mg	2850 ± 710
Hierro	Fe	230 ± 90
Manganeso	Mn	230 ± 98
Yodo	I	0.39 ± 0.19
Cadmio	Cd	0.076 ± 0.145

Fuente: Ziegler P, *et al.*⁽²⁶⁾.

Vitaminas

En lo que respecta a vitaminas, son pocos estudios en lentejas de agua que se han enfocado en valorar la composición nutricional y presencia de estos micronutrientes. La vitamina que se encuentra en mayor cantidad en las lentejas de agua son los carotenoides, precursores de la vitamina A; el carotenoide dominante en esta planta es la luteína, seguido por los β -caroteno. Otros carotenoides se encuentran en cantidades mucho más bajas, como el α -tocoferol y zeaxantina^(28,29) (Cuadro 3).

Cuadro 3: Contenido de carotenoides en las lentejas de agua

Nutrientes carotenoides		Aporte
Luteína	mg/100 g	40 – 80
β -caroteno	mg/100 g	10 – 30
α -tocoferol	mg/100 g	0.5 – 13
Zeaxantina	mg/100 g	0.8 - 10

Fuente: Sree, K, *et al.*⁽²⁸⁾.

Alimentación humana

En estudio desarrollado por la Comisión Técnica de Nutrición, Nuevos Alimentos y Alérgenos Alimentarios (NDA) sobre la seguridad del material vegetal completo de *Lemna minor* y *Lemna gibba* como nuevo alimento de conformidad con el Reglamento (UE) 2015/2283 en 2022⁽¹⁷⁾ para su consumo como verdura, se llevaron a cabo análisis toxicológicos, nutricionales, microbiológicos del polvo de lentejas de agua cultivadas en invernadero bajo condiciones controladas. Según los usos propuestos, la ingesta prevista y los datos de composición, la ingesta de metales pesados, microcistinas y micronutrientes, excepto manganeso, no plantea problemas de seguridad para su consumo como nuevo alimento. Sin embargo, los hallazgos sobre la neurotoxicidad y la posible mayor susceptibilidad de algunos subgrupos de la población general, la exposición oral a manganeso más allá de la normalmente presente en alimentos y bebidas podría representar un riesgo de efectos adversos para la salud sin evidencia de ningún beneficio para la salud. Por otro lado, la probabilidad de que el producto pueda desencadenar reacciones alérgicas en humanos es similar al de otras verduras de hoja y, por lo tanto, el nivel de riesgo se considera bajo.

En esta investigación se aportaron dos ensayos en humanos: uno aleatorio cruzado y otro paralelo controlado con sujetos sanos. El panel de la comisión observó que los estudios en humanos proporcionados fueron diseñados principalmente para investigar los efectos beneficiosos putativos y abordaron solo un número limitado de criterios de valoración relevantes para la seguridad. El Panel considera que no se reportaron eventos adversos relacionados con el consumo, sin embargo, se señala que no se pueden sacar conclusiones de estos estudios sobre la seguridad del producto.

Por otro lado, en algunas partes del sudeste asiático como Laos, Tailandia y Myanmar su consumo es algo normal en preparaciones como ensaladas, sopas, curry o en tortillas, como fuente de proteína vegetal, sin embargo, no ha sido incluida como parte de la dieta en países occidentales⁽¹⁶⁾.

La lenteja de agua ha demostrado tener un perfil de aminoácidos que favorecen en la alimentación de animales acuáticos y terrestres, un aporte de vitaminas y minerales que contribuyen a su palatabilidad, una concentración de grasas (4 al 7 %) y almidones (4 al 10 %) adecuados al compararlos con otros alimentos de origen vegetal como las leguminosas secas; además, conociendo las tasas de pobreza en algunas poblaciones del mundo, y la necesidad elevada de suplementación nutricional en poblaciones con acceso limitado a una alimentación saludable podrían ser de gran relevancia en la alimentación humana^(16,30).

En el caso de Tailandia, las lentejas de agua en su variedad de especies, es comercializada en los mercados de verduras y su acogida en la población como Khai Nam, Khai Pum y Khai

Phae (traducido generalmente como “huevos de agua”) es destacada para la preparación de platos tradicionales locales como ensaladas, verduras al curry y tortillas⁽³¹⁾.

Estudios israelíes buscando comparar la respuesta glucémica posprandial y nocturna utilizando unos batidos lácteos a partir de lentejas de agua de la especie *Wolffia globosa*, observan en estas plantas una gran oportunidad en la alimentación humana en especial, en grupos poblaciones con dificultades en metabolismo de carbohidratos. Según estas investigaciones esta especie de alga podría servir como una fuente de proteína vegetal alternativa emergente con potenciales efectos glucémicos posprandiales beneficiosos, sin embargo, no se ha encontrado información científica con la especie *Lemna minor*⁽²⁹⁾.

Teniendo en cuenta el aporte nutricional de las lentejas de agua, especialmente su destacado aporte de proteínas, grasas, betacarotenos, minerales y bajo aporte de carbohidratos además de la ausencia de sustancias antinutricionales, las lentejas de agua (*Lemna minor*) podrían representar una excelente opción en el consumo, como suplemento en el patrón alimentario de comunidades necesitadas a lo largo del mundo⁽³²⁾. Sin embargo, en casos de condiciones de cultivo no controladas, y particularmente cuando los fertilizantes, pesticidas y otros contaminantes orgánicos están presentes en grandes cantidades en los sitios de cultivo o en casos de contaminación del agua por algas o microbios, la alta concentración de contaminantes o toxinas en esas plantas puede plantear un riesgo potencial para la salud humana que se debe considerar⁽¹⁷⁾. Por otra parte, Appenroth, *et al*⁽⁶⁾, indica que *Wolffiella hyalina* y *Wolffia microscopica* son adecuadas para la nutrición humana, incluso en comparación con otras especies de lentejas de agua, respecto a la composición de aminoácidos y la distribución de ácidos grasos.

Alimentación animal

El alto costo de los alimentos para crianza de animales ha motivado la búsqueda constante de alternativas que permitan mejorar su producción. En la actualidad, la harina de soya es uno de los ingredientes alternativos más utilizados para reemplazar la harina de pescado en los alimentos para animales debido a su alto contenido de proteínas y su perfil de aminoácidos relativamente bien equilibrado, que generalmente puede satisfacer los requisitos de muchas especies de peces. Sin embargo, la harina de soya ya tiene una gran demanda en la cadena alimentaria humana, tanto directa como indirectamente en alimentos para animales terrestres de granja. Esta competencia significa que la harina de soya es un ingrediente costoso y esto puede limitar su uso como ingrediente para satisfacer las demandas futuras de alimento para peces. Por lo tanto, existe una necesidad constante de encontrar otros ingredientes (insectos, vegetales, algas, subproductos de organismos acuáticos) para reemplazar tanto la harina de pescado como su principal sustituto, la harina de soya, en los alimentos para peces de cultivo.

Idealmente, dichos ingredientes deberían ser no convencionales para evitar o minimizar la competencia con otros sectores de alimentos para animales⁽³³⁾.

Entre estas alternativas, la lenteja de agua representa una gran oportunidad dado su crecimiento acelerado y gran capacidad para adaptarse al medio en el que crecen; esto, sin dejar de lado la fuente de proteína vegetal cruda que representan, sus aportes de minerales, xantofilas y aminoácidos como lisina, treonina y valina^(18,34). De allí la gran oportunidad desde el punto de vista económico que puede representar.

En condiciones experimentales, la tasa de producción puede acercarse a 183 t/ha/año extrapoladas de materia seca, aunque los rendimientos están más cerca de 10-20 t de MS/ha/año en condiciones reales. Su uso mayormente se ha dado en una gran variedad de animales de interés social como aves de criadero, rumiantes, no rumiantes y peces de cultivo⁽³⁵⁾. En las que, a lo largo de diferentes modelos de inclusión, se ha demostrado que puede ser un buen complemento en la dieta alimentaria de ganado y peces^(36,37).

Modelos implementados en pequeñas granjas en el continente asiático enfocadas en la recuperación de flujo de nutrientes de los desechos animales, han utilizado la biomasa de lenteja de agua resultante como un alimento fresco para patos, peces de cultivo y cerdos; todo esto evidenciando contribuir en la correcta nutrición de estos animales y reduciendo costos en la alimentación^(7,38,39).

La lenteja de agua posee características similares o superiores a las proteínas de origen vegetal como leguminosas, sin embargo, es rica en algunos aminoácidos esenciales. En países asiáticos y latinoamericanos, existen reportes del uso de lenteja de agua en la dieta de cerdos de crianza con una inclusión de hasta el 10 % del consumo total de alimentos, mostrando excelentes resultados en la respuesta reproductiva de los mismos⁽³⁷⁾.

En países latinoamericanos como México y Venezuela, se utiliza la lenteja de agua con el fin de alimentar cerdas gestantes y lechones, reemplazando la proteína proveniente de torta de soya en un 80 % o en conjunto de harina de pescado, con muy buenos resultados en producción⁽⁸⁾. De acuerdo con algunos autores, la lenteja de agua alcanza niveles de proteína hasta un 38 % de su biomasa. Este aporte de proteína y su facilidad de cultivo, ha permitido ensayos como alimento para patos domésticos, obteniendo resultados en aumento de peso y producción de huevos comparables al suplemento proteínico usual, con la ventaja de presentarse una disminución de un 25 % en los costos de alimentación en países asiáticos⁽³³⁾.

Otros modelos de agricultura han implementado la lenteja de agua como un cultivo de forraje para la crianza de ganado teniendo en cuenta que, la biomasa de la lenteja de agua posee un contenido de proteína de más del 30 % del peso seco; representando un excelente complemento en la alimentación de los animales de crianza, sostenibilidad ambiental y

reducción de costos⁽³⁴⁾. Cuando es utilizada como única fuente de alimentación, a una tasa que no debe exceder el 6 % del peso corporal (base seca), los resultados son muy inferiores a los obtenidos con las dietas convencionales, momento en el cual dejan de ser potencialmente benéficas; sin embargo, las experiencias en policultivos han demostrado que la suplementación con lenteja de agua incrementa la producción por hectárea⁽⁸⁾. De esta forma, durante más de 50 años la ciencia ha investigado las diferentes alternativas que representa la lenteja de agua en la alimentación de diferentes especies de animales de consumo, dando resultados prometedores al ser una fuente rica y sostenible de proteína.

Ahora, algunas investigaciones sobre alimentación con lenteja de agua seca, *Lemna minor*, como fuente proteica en la dieta de alevines de carpa común, han demostrado que no hay diferencias significativas en el crecimiento y desarrollo de los peces que son alimentados con dietas suplementadas hasta con un 20 % de lenteja de agua, frente al forraje de proteína de pescado de uso común. Mostrando que, una dieta que constara de hasta un 20 % de contenido a partir de lentejas de agua, podría usarse como un reemplazo completo del alimento comercial en la formulación de la dieta para alevines de carpa común, lo que permite reducción de costos⁽⁴⁰⁾.

De acuerdo a investigaciones realizadas por Goswani *et al*⁽⁴¹⁾ al evaluar el impacto de la proteína a partir de lentejas de agua seca (*L. minor*) comparado con el impacto de las dietas estándar y comercial de los alevines de rohu *Labeo rohita* (carpa nativa de los ríos de India y regiones asiáticas), se identificaron ligeras modificaciones en la actividad enzimática digestiva de los peces. La dieta con proteína a partir de las lentejas de agua, estimula las actividades de amilasa, tripsina y quimotripsina las cuales fueron significativamente más altas en comparación con otras dietas, pero sin alterar o modificar la tasa de crecimiento de los peces. En este sentido la inclusión de lenteja de agua cruda en el alimento reemplazando cantidades de hasta el 30 % de harina de pescado en la dieta puede ser bien tolerada por los peces de criadero sin afectar el crecimiento⁽⁴²⁾.

En el caso de los peces de cultivo para consumo humano se ha investigado en recientes estudios, la transferencia del metal pesado tóxico como el cadmio, de la lenteja de agua (*Lemna minor*) a la tilapia de agua dulce (*Oreochromis mossambicus*). En donde a través de análisis de regresión se encontraron correlaciones significativamente positivas entre la concentración de cadmio en la lenteja de agua y en la carne de tilapia de agua dulce, concentraciones que especialmente se encontraban en mayor cantidad en los tejidos de intestino, músculo comestible y restos. Desde esta perspectiva, los análisis, sugieren la evaluación de riesgos de toxicidad⁽⁴⁰⁾. En otros estudios se ha investigado el potencial de la lenteja de agua como alimento animal a través del proceso de fermentación con la incorporación de dos cepas probióticas *Bacillus strains*, y *B. subtilis*, que han demostrado beneficios para la salud de las aves de corral, con lo cual se ha demostrado que la lenteja de agua es un prometedor recurso alternativo y tiene la oportunidad de convertirse en un recurso

valioso en múltiples industrias como la de alimentos, biocombustibles, productos farmacéuticos y para la fitorremediación de aguas residuales. Con potencial para aumentar la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y reducir el impacto ambiental⁽⁴³⁾.

Impacto ambiental de las lentejas de agua

Con la industrialización y el incremento de la producción de necesidades a gran escala por la sociedad, la contaminación de los cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos se han convertido en una gran problemática de impacto ambiental y social⁽⁴⁴⁾.

La acumulación de numerosas sustancias tóxicas en aguas ha llevado a la búsqueda de opciones económicas y al alcance, que permitan identificar el nivel de toxicidad que pudieran tener estos espacios naturales. Es así, como recientemente el uso de los cultivos de lentejas de agua (*Lemna minor* y *Lemna gibba*) han permitido ampliamente el análisis de la toxicidad transmitida por el agua a organismos superiores en la cadena biológica (animales y humanos)⁽⁴⁵⁾.

Otras investigaciones, en donde se utilizaron parámetros de crecimiento y criterios de valoración como el contenido de pigmento, actividad de peroxidasa, peroxidación de lípidos y ensayo cometa alcalino para detectar los efectos tóxicos y genotóxicos de muestras de agua superficial en plantas de lenteja de agua, lograron indicar la capacidad de biomarcadores seleccionados para predecir los efectos fitotóxicos y genotóxicos de mezclas complejas de agua en los organismos vivos, así como la relevancia de la lenteja de agua como un indicador sensible de la calidad del agua⁽⁴⁶⁾.

La inhibición del crecimiento y reducción en el pigmento fotosintético de esta planta al crecer en ambientes de aguas contaminadas ha permitido su uso como biomarcadores eficaces en la detección no específica de componentes tóxicos en los cuerpos de agua. Sin embargo, es de reconocerse que pese a ser un buen indicador de contaminación en el agua, la lenteja de agua no permite determinar por sí misma, la naturaleza de los agentes o sustancias responsables de dicha toxicidad⁽⁴⁷⁾.

En recientes estudios pese a la imposibilidad de identificar estos agentes tóxicos a partir de la lenteja de agua, han logrado documentar la capacidad de adaptación que tienen para llegar a metabolizar algunas de estas sustancias como níquel y amoníaco llevando en un tiempo prudente, la calidad de los cuerpos de agua a niveles aceptables, proceso al que se le conoce como, fitorremediación de los cuerpos de agua⁽⁴⁸⁾.

Se ha demostrado que las plantas acuáticas tienen una gran eficiencia para la eliminación de sustancias orgánicas e inorgánicas contaminantes⁽⁴⁹⁾. *Lemna minor* se ha aplicado ampliamente para la remediación de diversos contaminantes químicos. La planta se usa por

separado o en combinación con otras macrófitas acuáticas como una tecnología de tratamiento de la contaminación de base ecológica⁽⁵⁰⁾. Se ha reportado a *L. minor* como un micrófito flotante muy exitoso para la fitorremediación de contaminantes orgánicos; fue la planta más efectiva en el tratamiento de aguas residuales para la remediación de efluentes municipales. Hubo 98.8 % de remoción para nitrógeno total y fósforo con un mayor nivel de disolución de oxígeno debido a una mejora de la carga de nutrientes por la lenteja de agua⁽⁵¹⁾. La lenteja de agua ha mostrado un gran potencial para la fitorremediación de contaminantes orgánicos, metales pesados, agroquímicos, productos farmacéuticos, de cuidado personal, desechos radiactivos, nanomateriales, hidrocarburos de petróleo, tintes, toxinas y contaminantes relacionados⁽⁵⁰⁾. Sustancias que representan un grave riesgo para el medio ambiente y todas las formas de vida, porque pueden ser persistentes, se transporta fácilmente a través de los medios y puede provocar el envenenamiento de los tejidos y órganos^(52,53,54). Tufaner⁽⁵⁵⁾ informó más del 90 % de eliminación de metaloides pesados (cromo, zinc, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, plomo y níquel) mientras que el 83 % para el mercurio en una mezcla de humedal con *L. minor*. Por otra parte, *Lemna minor* muestra un aumento en porcentaje de absorción de cromo de 6,1, 26,5, 20,5, y, 20,2 % a una concentración de exposición diferente de estrés de cromo^(56,57). Adicionalmente, investigaciones realizadas con relación de productos químicos agrícolas como fertilizantes, plaguicidas, herbicidas y fungicidas demuestran que las lentejas de agua pueden acumular y degradar estos agroquímicos^(58,59,60). La lenteja de agua tiene la capacidad de conservar la naturaleza actuando como un hiperacumulador. Su amplia aplicación de la planta se debe a su naturaleza ubicua, mecanismo invasor, capacidad reproductiva esporádica, potenciales de bioacumulación y resiliencia en ambientes contaminados⁽⁶¹⁾.

Toxicidad y sustancias antinutricionales

Estudios han destacado la presencia de componentes, sustancias o factores antinutricionales en la lenteja de agua⁽³⁾. Tras diversos ensayos de toxicidad, se descubrió que las lentejas de agua son altamente sensibles a las triazinas, las sulfonureas y las piridinas, compuestos actualmente catalogados como tóxicos con gran impacto contaminante en el medio ambiente y que, dada la forma de nutrición de esta planta, pueden llegar a absorberlos. Sin embargo, muchos autores destacan que las cantidades en esta planta de estos compuestos son pequeñas, y que podrían ser susceptibles a desnaturalizarse al someterse a tratamientos térmicos⁽⁶²⁾.

Por otra parte, los factores antinutricionales son sustancias o compuestos que tienen la capacidad de interferir en la utilización o aprovechamiento biológico de un alimento o nutriente, afectando la salud de una persona y algunos o varios de los procesos fisiológicos del organismo. Algunos autores, han reportado la presencia de taninos y ácido fítico en las lentejas de agua en concentraciones de 0.02 y 0.09 % respectivamente⁽⁶³⁾.

Así mismo, otros estudios evidenciaron concentraciones de inhibidores de tripsina en un 1.47 %, oxalatos de calcio en 3.5 % y taninos en concentraciones mucho más altas que estudios previamente citados 0.9 % ⁽⁶⁴⁾. Sin embargo, recientes investigaciones han destacado concentraciones bajas de cianida a 0.15 %, ácido fítico 0.58 % y taninos 0.48 % al analizar gran variedad de cepas de lentejas de agua; así mismo, se sometieron estas muestras a tratamientos térmicos donde se evidenció la desactivación o inhibición de estas sustancias, eliminando así, la toxicidad que podría implicar el consumo de la planta⁽⁶⁵⁾.

De acuerdo con investigaciones desarrolladas por Sree, *et al*⁽⁶⁶⁾ para determinar los efectos citotóxicos y la actividad anti-proliferativa en líneas celulares humanas de varias especies de lenteja de agua, entre las cuales se encuentra *L. minor*, se comprobó que los extractos de plantas enteras no tienen ningún efecto adverso detectable en líneas celulares humanas, lo que se constituye como un paso para asegurar el uso global de la lenteja de agua como un componente de nutrición humana.

Conclusiones

En los últimos años la lenteja de agua ha tomado un papel destacado en la biotecnología y aplicaciones agrícolas. Podría ser potencialmente un recurso importante como fuente alternativa de alimentación humana y animal. Se ha utilizado como alimento en materia cruda o procesada para producción de harina, lo que la hace interesante en la industria de alimentos para animales, la acuicultura, los suplementos para la salud, los biofertilizantes, los biocombustibles y productos alimenticios emergentes para humanos.

Por otra parte, se ha demostrado su fuerte potencial para la fitorremediación de contaminantes orgánicos, metales pesados, agroquímicos, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, desechos radiactivos, nanomateriales, hidrocarburos de petróleo, tintes, toxinas y contaminantes relacionados. La amplia aplicación de la planta se debe a su omnipresente naturaleza, mecanismo invasivo, capacidad reproductiva esporádica, potenciales de bioacumulación y resiliencia en ambientes contaminados.

Los nutrientes en el agua en la que se cultiva afectan críticamente su valor nutricional, por lo que es probable que deba descontaminarse antes de alimentar a los animales si hay metales pesados en el agua, dado que la lenteja de agua los concentra. En este sentido, es importante destacar la escasez de estudios acerca del uso de estas plantas en la alimentación humana; por lo que se hace necesario continuar investigando para determinar el rol que podrían tomar e incluirse en la dieta del ser humano y la seguridad asociada a su consumo continuo, rendimiento a gran escala, suministro de mercado económico y sostenibilidad.

A pesar de los desafíos y las lagunas de conocimiento, existen oportunidades realistas para desarrollar y operar un cultivo controlado, autónomo y de alta capacidad de lenteja de agua bajo condiciones de interior, para una amplia gama de propósitos que aseguren las características del producto final. Es de anotar que el crecimiento acelerado, el impacto del cambio climático, la disminución de tierra cultivable, el agotamiento del suelo, nutrientes y suministro de agua dificultan cada vez más la obtención de alimentos de calidad y en las cantidades que se requieren.

Literatura citada:

1. Rock B, Sriyan J, Vijay B, Thalha N, Elango S, Rajajeyakumar M. Organic food and health: a systematic review. *J Community Med Health Educ* 2017;7(3):1-7.
2. Arroyave M. La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): una planta acuática promisoría. *Rev EIA* 2004;1:33-38.
3. Dong X, Lv L, Zhao W, Yu Y, Liu Q. Optimization of integrated multi-trophic aquaculture systems for the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquacult Environ Interact* 2018;10:547-556.
4. Bergmann B, Cheng J, Classen J, Stomp A. *In vitro* selection of duckweed geographical isolates for potential use in swine lagoon effluent renovation. *Bioresour Technol* 2000;73(1):13-20.
5. Baek G, Saeed M, Choi HK. Duckweeds: their utilization, metabolites, and cultivation. *Appl Biol Chem* 2021;64:73.
6. Appenroth KJ, Sree KS, Böhm V, Hammann S, Vetter W, Leiterer M, Jahreis G. Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food. *Food Chem* 2017;217:266–273.
7. Edelman M, Appenroth KJ, Sree KS. Duckweed: Biological chemistry and applications. *Front Sustain Food Syst* 2022;(4):615135.
8. Tavares F, Rodrigues, Machado D, Esquivel J, Roubach R. Dried duckweed and commercial feed promote adequate growth performance of tilapia fingerlings. *Biotemas* 2008;21(3):91-97.
9. Ponce J, Febrero I, González R, Romero O, Estrada O. Perspectivas de la *Lemna* sp. para la alimentación de peces. *Rev Electrónica Vet* 2005;6(3):1-6.
10. Raven P, Evert R, Eichhorn S. *Biology of plants* New York: Worth. *Ann Botany* 2013;113(7).

11. Landolt E. Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae). In G. Veröf, The family of Lemnaceae – A monographic study. Part 1 of the monograph: Morphology; karyology; ecology; geographic distribution; systematic position; nomenclature; descriptions. Zürich: Inst. Stiftung Rübel. 1986.
12. Andrade IA, Baque MA. Composición química y actividad antioxidante de la lenteja de agua (*Lemna minor* L.) [tesis doctoral]. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil; 2020.
13. Fang YY, Babourina O, Rengel Z, Yang XE, Pu PM. Ammonium and nitrate uptake by the floating plant *Landoltia punctata*. *Annals Botanical* 2007;99(2):365-370.
14. Fiordelmondo E, Ceschin S, Magi G, Mariotti F, Iaffaldano N, Galosi L, Roncarati A. Effects of partial substitution of conventional protein sources with duckweed (*Lemna minor*) meal in the feeding of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on growth performances and the quality product. *Plants* 2022;11(9):1220.
15. Ceschin S, Crescenzi M, Iannelli MA. Phytoremediation potential of the duckweeds *Lemna minuta* and *Lemna minor* to remove nutrients from treated waters. *Environ Sci Pollut Res* 2020;27:15806–15814.
16. Appenroth KJ, Sree KS, Bog M, Ecker J, Seeliger C, Böhm V, *et al.* Nutritional value of the duckweed species of the genus *Wolffia* (Lemnaceae) as human food. *Frontiers Chem* 2018;6:1-13.
17. Turck D, Bohn T, Castenmiller J, De-Henauw S, Hirsch-Ernst KI, Maciuk A, *et al.* Safety of *Lemna minor* and *Lemna gibba* as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA J.* 2022.
18. Dewanji A. Amino acid composition of leaf proteins extracted from some aquatic weeds. *J Agric Food Chem* 1993;41:1232-1236.
19. Palacios JM, Villalobos SC. Factibilidad económica para la creación de una planta productora de harina de lenteja de agua *Lemna minor* L., como complemento proteico en la alimentación de la especie tilapia roja *Oreochromis* spp. [tesis pregrado]. Villavicencio, Colombia: Universidad Santo Tomás; 2019.
20. Jahreis G, Brese M, Leiterer M, Schaefer U, Böhm V. Legume flours: Nutritionally important sources of protein and dietary fiber. *Ernaehrungs Umschau Int* 2016;63(02);36-42.
21. Edelman M, Colt M. Nutrient value of leaf vs seed. *Frontiers Chem* 2016;4:32.
22. Chew E, Clemons T, SanGiovanni J, Danis R, Ferris F, Elman M. Lutein Zeaxanthin and Omega-3 fatty acids for age-related macular. *Food Chem* 2013;309(19):25-30.

23. Yan Y, Candreva J, Shi H, Ernst E, Martienssen R, Schwender J. Survey of the total fatty acid and triacylglycerol composition and content of 30 duckweed species and cloning of a D6-desaturase responsible for the production of α -linolenic and stearidonic acids in *Lemna gibba*. BMC Plant Biology 2013;13(1):1-14.
24. Tang J, Li Y, Ma J, Cheng JJ. Survey of duckweed diversity in Lake Chao and total fatty acid, triacylglycerol, profiles of representative strains. Plant Biol 2015;17(5):1066-1072.
25. Cui W, Cheng JJ. Growing duckweed for biofuel production: A review. Plant Biol 2015;17:16-23.
26. Ziegler P, Adelman K, Zimmer S, Schmidt C, Appenroth KJ. Relative *in vitro* growth rates of duckweeds (Lemnaceae) – The most rapidly growing higher plants. Plant Biol 2015;17:33-41.
27. Zhao Z, Shi HJ, Wang ML, Cui L, Zhao H, Zhao Y. Effect of nitrogen and phosphorus deficiency on transcriptional regulation of genes encoding key enzymes of starch metabolism in duckweed (*Landoltia punctata*). Plant Physiol Biochem 2015;86:72-81.
28. Sree KS, Maheshwari SC, Boka K, Khurana JP, Keresztes A, Appenroth KJ. The duckweed *Wolffia microscopica*: A unique aquatic monocot. Flora 2015;210:31-39.
29. Arnold C, Schwarzenbolz U, Böhm V. Carotenoids and chlorophylls in processed xanthophyll-rich food. LWT-Food Sci Technol 2014;57(1):442-445.
30. Zelicha H, Kaplan A, Yaskolka-Meir A, Tsaban G, Rinott E, Shelef I, *et al.* The effect of *Wolffia globosa* mankai, a green aquatic plant, on postprandial glycemic response: a randomized crossover controlled trial. Diabetes Care 2019;42(7):1162-1169.
31. Lonnie M, Laurie I, Myers M, Horgan G, Russell W, Johnstone AM. Exploring health-promoting attributes of plant proteins as a functional ingredient for the food sector: a systematic review of human interventional studies. Nutrients 2020;12(8):2291.
32. Yaskolka-Meir A, Tsaban G, Zelicha H, Rinott E, Kaplan A, Youngster I, *et al.* A green-mediterranean diet, supplemented with mankai duckweed, preserves iron-homeostasis in humans and is efficient in reversal of anemia in rats. J Nutrition 2019;149(6):1004-1011.
33. Goswami RK, Sharma J, Shrivastav AK, Kumar G, Glencross B, Tocher D, Chakrabarti R. Effect of *Lemna minor* supplemented diets on growth, digestive physiology, and expression of fatty acids biosynthesis genes of *Cyprinus carpio*. Sci Rep 2022;12(1):3711.

34. Bui X, Ogle B, Lindberg JE. Use of duckweed as a protein supplement for breeding ducks. *Asian Australasian J Anim Sci* 2002;15(6):866-871.
35. Leng RA, Stambolie JH, Bell R. Duckweed a potential high protein feed resource for domestic animals and fish. *Res Rural Develop* 1995;7(1):36.
36. Mbagqu I, Adeniji H. El contenido alimenticio de la lenteja de agua en el área de Kainji, Nigeria. *IFFR* 1998.
37. Noor J, Hossain MA, Bari MM, Azimuddin KM. Effects of duckweed (*Lemna minor*) as dietary fishmeal substitute for silver barb (*Bar bodes gonionotus* Bleeker) Bangladesh. *J Fish* 2000;4(1):35-42.
38. Gutiérrez G. Potencial de la planta *Lemna gibba* en la alimentación de cerdos [tesis de maestría]. Tecomán, México: Universidad Interinstitucional de Colima; 2000.
39. Sánchez O. Obtención de harina a partir de ensilaje biológico de subproductos de Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y Tilapia roja (*Oreochromis* spp) [tesis pregrado]. Valle del Cauca, Colombia: Universidad del Cauca; 2016.
40. Yilmaz E, Akyurt I, Günel G. Use of duckweed, *Lemna minor*, as a protein feedstuff in practical diets for common carp, *Cyprinus carpio*, fry. *Turkish J Fisheries Aquatic Sci* 2004;4(2):105-109.
41. Goswami RK, Shrivastav AK, Sharma JG, Tocher, DR, Chakrabarti R. Growth and digestive enzyme activities of rohu *Labeo rohita* fed diets containing macrophytes and almond oil-cake. *Anim Feed Sci Technol* 2020;263:114456.
42. Xue Y, Peijnenburg WJ, Huang J, Wang D, Jin Y. Trophic transfer of Cd from duckweed (*Lemna minor* L.) to tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Environ Toxicol Chem* 2018;37(5):1367-1377.
43. Mahoney R, Weeks R, Huang Q, Dai W, Cao Y, Liu G, *et al.* Fermented duckweed as a potential feed additive with poultry beneficial bacilli probiotics. *Probiotics Antimicrobial Proteins* 2021;13(5):1425-1432.
44. Gür N, Türker OC, Böcük H. Toxicity assessment of boron (B) by *Lemna minor* L. and *Lemna gibba* L. and their possible use as model plants for ecological risk assessment of aquatic ecosystems with boron pollution. *Chemosphere* 2016;157:1-9.
45. Sobrino AS, Miranda MG, Alvarez C, Quiroz A. Bio-accumulation and toxicity of lead (Pb) in *Lemna gibba* L. (duckweed). *J Environ Sci Health, Part A* 2010;45:107-110.

46. Radić S, Stipaničev D, Cvjetko P, Rajčić, MM, Širac S, Pevalek-Kozlina B, Pavlica M. Duckweed *Lemna minor* as a tool for testing toxicity and genotoxicity of surface waters. *Ecotoxicol Environ Safety* 2011;74(2):182-187.
47. Ziegler P, Adelman K, Zimmer S, Schmidt, C, Appenroth KJ. Relative *in vitro* growth rates of duckweeds (Lemnaceae) – The most rapidly growing higher plants. *Plant Biol* 2015;17(s1):33-41.
48. Cedergreen N, Madsen TV. Nitrogen uptake by floating macrophyte *Lemna minor*. *New Phytologist* 2002;155(2):285-292.
49. Ali S, Abbas Z, Rizwan M, Zaheer IE, Yavaş İ, Ünay A, Kalderis D. Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. *Sustainability* 2020;12(5):1927.
50. Ekperusi AO, Sikoki FD, Nwachukwu EO. Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. *Chemosphere* 2019;223:285-309.
51. Mohedano RA, Costa RHR, Tavares FA, Filho PB. High nutrient removal rate from swine wastes and protein biomass production by full-scale duckweed ponds. *Bioresour Technol* 2012;112:98-104.
52. Adesiyun IM, Bisi-Johnson M, Aladesanmi OT, Okoh AI, Ogunfowokan AO. Concentrations and human health risk of heavy metals in rivers in Southwest Nigeria. *J Health Pollution* 2018;8(19):180907.
53. Chinedu E, Chukwuemeka, CK. Oil spillage and heavy metals toxicity risk in the Niger delta, Nigeria. *J Health Pollution* 2018;8(19):180905.
54. Sodango TH, Li X, Sha J, Bao Z. Review of the spatial distribution, source and extent of heavy metal pollution of soil in China: impacts and mitigation approaches. *J Health Pollution* 2018;8(17):53-70.
55. Tufaner F. Post-treatment of effluents from UASB reactor treating industrial wastewater sediment by constructed wetland. *Environ Technol* 2018;41(7):912-920.
56. Böcük H, Yakar A, Türker OC. Assessment of *Lemna gibba* L. (duckweed) as a potential ecological indicator for contaminated aquatic ecosystem by boron mine effluent. *Ecological Indicators* 2013;29:538–548.
57. Sallah-Ud-Din R, Farid M, Saeed R; Ali S, Rizwan M, Tauqeer HM, Bukhari SAH. Citric acid enhanced the antioxidant defense system and chromium uptake by *Lemna minor* L. grown in hydroponics under Cr stress. *Environmental Sci Pollution Res* 2017;24:17669–17678.

58. Wilson PC, Koch R. Influence of exposure concentration and duration on effects and recovery of *Lemna minor* exposed to the herbicide norflurazon. *Archives Environ Contam Toxicol* 2013;64:228-234.
59. Dalton RL, Nussbaumer C, Pick FR, Boutin C. Comparing the sensitivity of geographically distinct *Lemna minor* populations to atrazine. *Ecotoxicology* 2013;22:718-730.
60. Wang F, Yi X, Ku H, Chen L, Liu D, Wang P, Zhou Z. Enantioselective accumulation, metabolism and phytoremediation of lactofen by aquatic macrophyte *Lemna minor*. *Ecotoxicol Environ Safety* 2017;143:186-192.
61. Ekperusi AO, Sikoki FD, Nwachukwu EO. Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. *Chemosphere* 2019;223:285-309.
62. Lo BP, Elphick JR, Bailey HC, Baker JA, Kennedy CJ. The effect of sulfate on selenite bioaccumulation in two freshwater primary producers: A duckweed (*Lemna minor*) and a green alga (*Pseudokirchneriella subcapitata*). *Environ Toxicol Chem* 2015;34(12):2842-2845.
63. Kritchevsky D, Chen SC. Phytosterols—Health benefits and potential concerns: A review. *Nutrition Res* 2005;25(5):413-428.
64. Naumann B, Eberius M, Appenroth, KJ. Growth rate based dose- response relationships and EC-values of ten heavy metals using the duckweed growth inhibition test (ISO 20079) with *Lemna minor* L. clone St. *J Plant Physiol* 2007;164(12):1656-1664.
65. Sree KS, Bog M, Appenroth KJ. Taxonomy of duckweeds (Lemnaceae), potential new crop plants. *Emirate J Food Agricult* 2016;28(5):291-302.
66. Sree KS, Dahse HM, Chandran JN, Schneider B, Jahreis G, Appenroth KJ. Duckweed for human nutrition: no cytotoxic and no anti-proliferative effects on human cell lines. *Plant Foods Human Nutr* 2019;74:223-224.