



**LENTEJA DE AGUA (*Lemna minor*);
UNA PROMISORIA PLANTA CON POTENCIAL EN EL CUIDADO
AMBIENTAL Y ALIMENTARIO PARA SERES HUMANOS Y ANIMALES**

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
NUTRICIONISTA DIETISTA**

**INVESTIGADOR:
KATHERINE CENITH TACHE ROCHA**

**UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA
ESCUELA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.
2020**

**LENTEJA DE AGUA (*Lemna minor*);
UNA PROMISORIA PLANTA CON POTENCIAL EN EL CUIDADO
AMBIENTAL Y ALIMENTARIO PARA SERES HUMANOS Y ANIMALES**

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
NUTRICIONISTA DIETISTA**

INVESTIGADOR:
KATHERINE TACHE R. SAH

ASESORES:
METODOLÓGICO: OLGA LORA DIAZ
DISCIPLINAR: OLGA TATIANA JAIMES

**UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA
ESCUELA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.
2020**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a la energía de la vida que es Dios mismo quien proporciono los medios y abrió los caminos para llegar a este logro, a mi madre que siempre me apoyo incondicionalmente e insistió sin desfallecer en mis estudios con su empuje, su trabajo, su tenacidad y fuerza que ha sido inspiración para mí, a Daiara del Pilar por darme iniciativas para estudiar una carrera profesional, a la comunidad taoísta de Colombia quien me dio los primeros conocimientos informales sobre alimentación cambiando para bien mi estilo y calidad de vida en gran forma, inspirándome a inclinarme por esta carrera tan bonita de la Nutrición y Dietética, también la dedico a grandes amistades que me dieron ánimos y alegrías invaluable en el último trayecto de mi carrera, el maestro Gustavo Guerrero, un gran ser Lyn quien me inspiro a conocer la magia de la vida y la facilidad de lograr lo que a veces parece imposible con el sabio manejo de la mente y el cerebro, a mi segunda madre Rosmery Mesa quien me dio cariño, valor, ejemplo y fuerza de superación en momentos importantes, mucha gratitud a todos ellos porque cada uno apporto en este camino, finalmente a cada uno de los docentes que tuve el honor de conocer en el trayecto desde el inicio hasta el final y a mis asesoras metodológica y disciplinar, a los evaluadores de este trabajo, gracias a todos ellos por su excelente trabajo, al Banco Pichincha y al ICETEX quienes fueron entidades que aportaron a la continuidad de mis estudios cada uno a su forma y a la institución madre Universidad del Sinú Elías Bechara Zainum, por todo lo proporcionado para lograr mi formación, a todos gracias muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	3
TABLA DE CONTENIDO	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN	7
RESUMEN	9
CAPITULO I. LENTEJA DE AGUA (<i>Lemna minor</i>)	10
1.1. DESCRIPCIÓN	10
1.2. CONDICIONES AMBIENTALES	12
CAPITULO II. TAXONOMÍA, CRECIMIENTO Y DESARROLLO	14
2.1. CRECIMIENTO Y DESARROLLO	14
CAPITULO III. IMPACTO AMBIENTAL DE LAS LENTEJAS DE AGUA	17
3.1. BIOMARCADORES	17
3.2. REMEDIADOR AMBIENTAL	18
3.3. ENMIENDA AGRICOLA	20
3.4. FUENTE PARA BIOCOMBUSTIBLES	21
3.5. MODELOS DE PATOGENIA HUMANA	22
CAPITULO IV. LENTEJA DE AGUA COMO ALIMENTO PARA ANIMALES	23
CAPITULO V. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA LENTEJA DE AGUA	26

4.1. PROTEÍNAS.....	26
4.2. GRASAS	28
4.3. CARBOHIDRATOS Y FIBRA.....	29
4.4. MINERALES Y ELEMENTOS TRAZAS.....	30
4.5. VITAMINAS	31
CAPITULO VI. TOXICIDAD Y SUSTANCIAS ANTI-NUTRICIONALES.....	33
CAPITULO VII. LENTEJA DE AGUA EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA.....	35
CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación taxonómica de las lentejas de agua (Lemna minor)</i> (Hasar, 2002)	14
Tabla 2 <i>Contenido de aminoácidos de la lenteja de agua (Lemna minor)</i> (Muztar, et al., 1978) (Dewanji, 1993) (Appenroth K. , et al., 2017)	27
Tabla 3 <i>Aporte de oligoelementos de lentejas de agua en mg por kg de parte comestible total.</i> (Ziegler, et al., 2015).....	31
Tabla 4 <i>Contenido de carotenoides en las lentejas de agua.</i> (Sree, et al., 2015)	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I <i>Ilustración de cuerpo vegetativo y raíces de la lenteja de agua.</i>	11
Figura II <i>Ilustración de flores de lentejas de agua.</i>	12

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud – OMS, las enfermedades crónicas representan el mayor gasto de los sistemas de salud a nivel mundial; así mismo, el 80% de estas enfermedades están dadas o dependen de un factor asociado a los estilos de vida, como la alimentación, sedentarismo y desarrollo de actividades. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

Partiendo de esta perspectiva, el gran y acelerado crecimiento que ha tenido la población mundial y el desaforado desarrollo de la industria alimentaria, ha traído en consecuencia patrones alimentarios deficientes en proteínas y vitaminas, desarrollo de malnutrición por consumo excesivo de azúcares simples y estigmatización de nutrientes. Todo esto, ha conllevado en la última década el desarrollo de movimientos sociales con preferencias por el consumo de alimentos orgánicos, naturales y sin conservantes o químicos. (Rock, et al., 2017)

Es así, como las lentejas de agua han tomado un protagonismo en las investigaciones recientes en una búsqueda por nuevos alimentos que brinden alternativas saludables, rentables y de gran productividad.

Las lentejas de agua, comprenden un conjunto de pequeñas plantas acuáticas que flotan en la superficie de los cuerpos de agua de poco movimiento; son plantas 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. (Arroyave, 2004)

Desde el punto de vista ecológico, se aprecia que, dadas sus interacciones con otras especies, puede considerarse como una especie clave en su hábitat, ya que, aunque tiene un tamaño muy reducido, por su rápido crecimiento puede competir exitosamente y excluir otras especies flotantes o sumergidas. (Landolt, 1986) (Bergmann, et al., 2000)

Por otra parte, 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 y reduciendo costos en la alimentación de los mismos. (Arroyave, 2004)

Es así, dado su gran aporte de proteínas, minerales y vitaminas (betacarotenos especialmente) y bajo contenido de grasas y carbohidratos que, la ciencia ha buscado analizar a mayor profundidad las alternativas alimentarias y nutricionales que puede ofrecer la lenteja de agua en los patrones de alimentación del ser humano. (Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, 2018)

Y son estas características nutricionales, las que podrían ofrecer diversas formas de combatir desde el punto de vista nutricional enfermedades como la obesidad y el sobrepeso, enfermedades cardiovasculares y disminuir las brechas sociales, en lo que respecta a accesibilidad nutricional. (Dehghan, et al., 2017)

El objetivo de la presente monografía, está enfocado en la revisión bibliografía de las lentejas de agua, especialmente la especie *Lemna minor*; a través de un recorrido bibliográfico desde la descripción taxonómica de estas algas hasta su uso como una alternativa de inclusión en la alimentación del ser humano, teniendo en cuenta su composición nutricional y los patrones de estilos de vida actuales.

En esta monografía se estudiara además, el impacto ambiental que tienen las lenteja de agua en el uso que se les ha dado como biomarcadores, remediadores ambientales, enmiendas agrícolas en los cultivos, fuentes de biocombustibles y modelos de patogenicia, esto, sin dejar de lado su uso como alimento para animales de crianza o consumo humano. .

LENTEJA DE AGUA (*Lemna minor*); UNA PROMISORIA PLANTA CON POTENCIAL EN EL CUIDADO AMBIENTAL Y ALIMENTARIO PARA SERES HUMANOS Y ANIMALES

RESUMEN

Las lentejas de agua (*Lemna minor*) son una especie de algas acuáticas que se encuentra en la superficie de los cuerpos de agua a lo largo de los hemisferios del mundo. Es una planta de crecimiento acelerado y gran capacidad de proliferación que hacen de si, una planta competitiva en los cuerpos de agua. Recientemente, se han llevado a cabo diferentes investigaciones sobre el potencial de estas algas y del cómo pueden llegar a ser útiles para el ser humano, puesto que sirven de alimento, materia prima para la industria y se usan en procesos de biorremediación, ya que pueden absorber algunas sustancias disueltas y brindar oxígeno mediante la fotosíntesis. A lo largo de esta monografía, se analizarán aspectos variados de las lentejas de agua y su potencial en la industria alimentaria y ambiental.

Palabras claves: lenteja de agua, *Lemna minor*, remediación ambiental, algas, perfil nutricional.

CAPITULO I. LENTEJA DE AGUA (*Lemna minor*)

La lenteja de agua (*Lemna minor*) es una planta acuática clasificada como una macroalga (macrófitas) 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. (Landolt, 1986) (Tavares, et al., 2008)

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. (Ponce, et al., 2005)

1.1. DESCRIPCIÓN

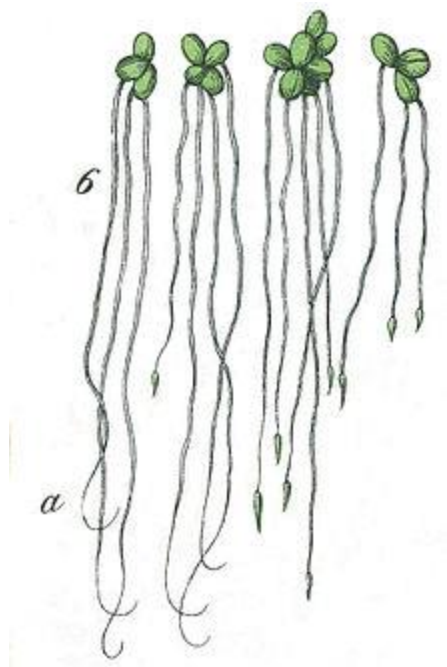
La *Lemna minor* o lenteja de agua es una planta angiosperma (plantas con flores), monocotiledónea, perteneciente a la familia *Lemnaceae*. Posee un cuerpo vegetativo en forma taloide, característica de algunas plantas en las que no se logra diferenciar las hojas de los tallos. Constituyen plantas de 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. (Raven, et al., 1971) (Hasar, 2002) (Véase figura 1)

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, en la especie de interés de este proyecto, la

lenteja de agua, *Lemna minor*, ha demostrado que pueden adquirir cantidades significativas de nitrógeno inorgánico a través de la raíz. (Cedergreen & Vindbek, 2002) (Ying, et al., 2007)

Figura I

Ilustración de cuerpo vegetativo y raíces de la lenteja de agua (Lemna minor).

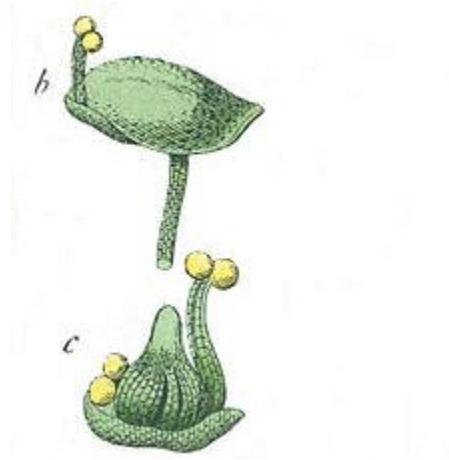


Fuente: Landolt, E. (1986). *Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae)*.

Su tamaño es pequeño con medidas aproximadas de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. Así mismo, es una planta monoica, con flores unisexuales. Las flores masculinas están constituidas por un solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado por un solo carpelo. Las flores nacen de una hendidura ubicada en el borde de la hoja, dentro de una bráctea denominada espata, muy común en las especies del orden arales. El fruto contiene de 1 a 3 semillas, pese a que otros autores consideran que pueden llegar a ser 4 semillas. (Hasar, 2002) La forma más común de reproducción es la asexual por gemación. En los bordes basales se desarrolla una yema pequeña que origina una planta nueva que se separa de la planta

progenitora, aunque generalmente se presentan las plantas agregadas formando grupos de 2 a 4 individuos. (Bui, Ogle, & Lindberg, 2002) (Véase figura 2)

Figura II
Ilustración de flores de lentejas de agua.



Fuente: Landolt, E. (1986). *Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae).*

1.2. CONDICIONES AMBIENTALES

Factores como la temperatura, pH, la composición del cuerpo de agua e intensidad de la luz ejercen importante influencia en el crecimiento y desarrollo de las lentejas de agua. En cuanto a la acidez de los cuerpos de agua, el rango ideal de pH para las lentejas de agua y su crecimiento es de 4.5 a 7.5; (Morales, et al., 2006) sin embargo, algunos autores han reportado crecimiento de estas plantas en rangos más extremos de 3.7 a 10, ya que el crecimiento es completamente inhibido en pH superiores a este límite máximo. (Monette, et al., 2006) Por otra parte, otros estudios lograron demostrar gran y acelerado crecimiento de estas plantas en pH de 4.0 a 7.0 en donde resultan ser más competitivas que otras especies de microalgas. (Tavares, et al., 2008) Ahora, la evidencia en cuerpos de agua ha evidenciado que gran parte de este rango ideal de acidez para crecimiento óptimo, dependerá de la disponibilidad de nitrógeno en el cuerpo, siendo

el punto máximo y de mayor beneficio para su crecimiento, los pH cercanos a 7.0. (Hardy, 2006) (Tavares, et al., 2008) (Arroyave, 2004)

En cuanto a la temperatura ideal para crecimiento de esta planta, se han reportado rangos de temperaturas muy variables. Diversos estudios, reportan que el rango de crecimiento ideal para es de 15° a 24° centígrados; (Brown, et al., 1990) (Cedergreen & Vindbek, 2002) sin embargo, estudios como los de Van der Heide (2006) en donde se sometieron diferentes cepas de este género a rangos variables de temperatura, lograron evidenciar que, el rango de temperatura óptimo donde la planta acelera su crecimiento y competitividad es de 25.7° a 36.8° centígrados, con cierta capacidad de adaptación en climas más extremos entre 6.2° y 38° centígrados. (Van der Heide, et al., 2006)

CAPITULO II. TAXONOMÍA, CRECIMIENTO Y DESARROLLO

El género *Lemna* comprende un género de plantas acuáticas flotantes de la subfamilia *Lemnoideae*, forman parte de la familia *Araceae* (antes conocida como familia *Lemnaceae*) y pertenecientes a las monocotiledóneas. (Cross, 2006)

Fue descrito inicialmente por Carlos Linneo y publicado en la obra *Species Plantarum* en el año 1753 quien la consideró como parte de la familia de las *Araceae*; sin embargo, años después esta clasificación taxonómica fue actualizada posteriormente por el botánico inglés William Griffith en 1851, clasificándolas como una familia separada, las *Lemnaceae*. (Forzza, 2010)
(Véase tabla 1)

Tabla 1
Clasificación taxonómica de las lentejas de agua (Lemna minor)

Clasificación taxonómica	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Fanerógama Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Alismatales</i>
Familia	<i>Araceae</i>
Subfamilia	<i>Lemnoideae</i>
Tribu	<i>Lemneae</i>
Género	<i>Lemna</i>
Especie	<i>Lemna minor</i> (Griffith; 1851).

Fuente: Hasar. (2002). *Role of duckweed (Lemna minor L.) harvesting in biological phosphate removal from secondary treatment effluents*

2.1. CRECIMIENTO Y DESARROLLO

Las lentejas de agua, se caracterizan por ser plantas acuáticas de crecimiento rápido en comparación con otras de la misma familia. En condiciones adecuadas de crecimiento, tales

como la disponibilidad de nutrientes, luz y temperatura adecuada del agua, pueden llegar a duplicar su peso cada 48 a 72 horas; esto, especialmente cuando los cuerpos de agua poseen concentraciones de fósforo y nitrógeno relativamente elevadas. Esta velocidad de reproducción es incluso más rápida que cualquier otra planta, siendo capaz de formar densos mantos en la superficie de los cuerpos de agua. (Roldan & Alvarez, 2002)

Este género de plantas es capaz de absorber directamente desde el agua a través de las hojas (conocidas como frondas) y raíces, las moléculas orgánicas del tipo aminoácidos y glúcidos o carbohidratos. (Bui & Lindberg, 2002) Dado que las hojas flotan en el agua, la absorción de nutrientes por parte de estas se da mayormente en la parte inferior que está constantemente sumergida; aunque se han reportado evidencias de absorción de nutrientes por la parte superior cuando las olas o movimientos del agua sobrepasan la hoja, sumergiéndola levemente. (Peters, et al., 2009)

Esta capacidad para absorber nutrientes directamente desde el medio, es considerado uno de los mejores mecanismos de la planta para sobrevivir en periodos de estrés en los cuerpos de agua, tales como la desoxigenación de los cuerpos, el exceso de nitrógeno o sustancias tóxicas para otros seres vivos. (Sánchez, 2016)

Así mismo, esta especie de plantas presenta una preferencia de consumo por amonio, antes que el nitrato, lo cual es importante para la síntesis de aminoácidos y proteínas, asociada con un reducido requerimiento de energía para el proceso, dado que, la conversión directa de amonio a proteína en la planta, es una ruta más eficiente que la asimilación y reducción necesaria para transformar nitrato en proteína al interior de la misma. (Palacios & Villalobos, 2019) Todas estas capacidades que presenta la planta en su proceso de crecimiento y desarrollo, además de, su adaptación para optimizar procesos metabólicos internos, se reflejan en el rápido y acelerado crecimiento de las lentejas de agua. (Sánchez, 2016)

Es así como, este crecimiento acelerado de las lentejas de agua, que las ha llevado a ser consideradas como una plaga capaz de extenderse en la superficie de lagunas, canales de riesgo y represas; siendo capaces de generar varios problemas como propiciar ambientes para la crianza de vectores de enfermedades infecciosas y la interrupción del flujo de los cuerpos de agua. (Parr, et al., 2002) (Cook & Gut, 1974)

CAPITULO III. IMPACTO AMBIENTAL DE LAS LENTEJAS DE AGUA

La lenteja de agua (*Lemna minor*) al ser una planta que, dado su rápido crecimiento y concentración de aminoácidos, representan una gran oportunidad como alimento para la crianza de animales, peces, aves de corral e incluso, existen reportes de su consumo en humanos en zonas de Asia. Esto, sin descartar el gran potencial que representan como remediadores en la recuperación de cuerpos de agua y tratamiento de aguas residuales. (Ponce, et al., 2005)

3.1. BIOMARCADORES

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. (Gür, et al., 2016)

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 (plantas, animales e incluso, humanos). (Sobrino, et al., 2010)

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. (Radic, et al., 2011)

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. (Ziegler, et al., 2019)

Ahora, recientes estudios pese a la no posibilidad de identificar estos agentes tóxicos a partir de la lenteja de agua, han logrado documentar la capacidad de adaptación que tienen estas algas 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. (Cedergreen & Vindbek, 2002)

3.2. REMEDIADOR AMBIENTAL

Las plantas acuáticas como la lenteja de agua resultan ser un recurso ambiental altamente productivo de alto valor proteico que, además representan una gran oportunidad al ser cultivadas en aguas contaminadas (no tóxicas) para la recuperación de las mismas. (Olguin & Hernandez, 1998) Esto se ha evidenciado en estudios que han destacado el potencial para remediar las aguas residuales y regresar un gran volumen de biomasa rica en proteína y agua excepcionalmente limpia. (Ponce, et al., 2005)

Una de las principales acciones por la que las lentejas de agua contribuyen en la fitorremediación de los cuerpos de agua está asociadas a su papel importante en la eliminación de nitrógeno y fósforo circulante en el agua, sobre todo en aquellas con alta salinidad no superior a 75 mM (concentración) de cloruro de sodio o estrés salino equivalente. (Liu, et al., 2017)

Otras investigaciones con cultivos de lentejas de agua en aguas residuales no tóxicas, han sustentado el gran potencial de estas plantas para sustraer sustancias como el amoníaco y lograr

llevar estos cuerpos de agua a un nivel aceptable y se puede reutilizar para riego agrícola. (Oron, et al., 1986) (Cedergreen & Vindbek, 2002)

Además, estudios realizados con cultivo de lenteja de agua en cuerpos de agua con presencia de contaminantes como metales, son capaces de eliminar el níquel presente. Aunque esta capacidad de eliminación es mayor durante las primeras 24 horas de exposición al contaminante y comienza a disminuir en función del tiempo, estos resultados demuestran que estas plantas pueden ser utilizadas para la fitorremediación de aguas contaminadas con metales. (Bress, et al., 2012)

Según los resultados de otras investigaciones como el caso de Sasmaz y colaboradores en Turquía (2015) evidenciaron la eficiencia de las lentejas de agua en especial de las especies *L. minor* y *L. gibba* en la eliminación de sustancias orgánicas, metales y oligoelementos de los cuerpos de agua. Esta eficiencia observada se destacaba en un 87% para la absorción de cobre, 95% para plomo, 62% para zinc y 70% para arsénico; revelando de esta forma, que tanto *L. minor* como *L. gibba* tenían un potencial muy alto para eliminar cobre, plomo, zinc y arsénico en aguas contaminadas por diferentes minerales. (Sasmaz, et al., 2015)

Posteriormente, Zhao y Colaboradores (2018) en China, al estudiar la capacidad de las especies de lentejas de agua en la disminución de la toxicidad de los cuerpos de agua, demuestran la habilidad de estas plantas en la remediación del agua contaminada con metales. Además, al cultivar varias especies de lentejas de agua en un mismo cuerpo de agua contaminado, demuestran que, la diversidad de lenteja de agua disminuye aún más, la toxicidad por metales pesados. (Zhao, et al., 2018)

Estudios destinados a investigar la capacidad de la lenteja de agua (*Lemna minor*), en la remediación el agua contaminada con terbutilazina (TBA), un herbicida de extendido uso y con potencial toxígeno en algunas especies de plantas y animales; demostraron la alta efectividad de

esta alga en la inhibición de la actividad de este herbicida. En el mismo estudio, se buscó evidenciar el efecto de la bioestimulación vegetal en la acción de esta planta en la inhibición de la TBA en donde se demuestra que, aquellas cepas de lentejas de agua bioestimuladas y protegidas son capaces de eliminar más TBA del agua contaminada que las plantas sin estimulación. (Panfili, et al., 2019)

A pesar que las macrófitas acuáticas como la lentejas de agua se han utilizado extensamente para la recuperación de cuerpos de agua a través de la remediación de contaminantes residuales en las últimas décadas, solo la lenteja de agua de la especie *L. minor* ha demostrado ser la alga más eficaz en estudios de remediación ambiental. La lenteja de agua ha mostrado un gran potencial para la fitorremediación de contaminantes orgánicos, metales pesados, agroquímicos, residuos de fármacos, desechos radiactivos, nanomateriales, hidrocarburos de petróleo, tintes, toxinas y contaminantes relacionados. (Ekperusi, et al., 2019)

3.3. ENMIENDA AGRÍCOLA

Una enmienda o acondicionamiento agrícola, es el aporte de un producto con capacidad fertilizante o de materiales enfocados en la mejora de la calidad de los suelos de cultivos, esto, a través del ajuste de nutrientes en el suelo, pH e incluso, composición general de la tierra a cultivar. Estudios en Perú a través de la producción de compost con lentejas de agua y aplicándolo en cultivos de hortalizas en la ciudad de Puno, demostraron que no existían diferencias estadísticas en el uso del compost de lentejas de agua frente a los compost usuales; de esta forma, los autores concluyen que el potencial de esta planta no solo está en la remediación de aguas residuales donde se puedan cultivar, sino en la utilización de las mismas para el cultivo de hortalizas como espinacas y acelgas en las que demostraron ser lo suficientemente nutritivas para obtener cultivos productivos. (Manchuria & Aruquipa, 1996)

Investigaciones más recientes, a través de la incorporación de lentejas de agua seca (*Lemna minor*) al suelo agrícola buscaban evaluar el ciclo biológico del nitrógeno, la retención de nutrientes y el rendimiento del cultivo en comparación con el compost, el fosfato diamónico (DAP) un compuesto utilizando ampliamente como fertilizante y, un control sin enmiendas. En este caso, se encontró que la lenteja de agua retiene un 30% más de nitrógeno y minerales totales en un campo agrícola labrado en comparación con el DAP, así como al mismo tiempo, mantiene un rendimiento comparable indicando que la lenteja de agua puede proporcionar una fuente sostenible de nitrógeno y fósforo para la agricultura. (Kreider, et al., 2019)

3.4. FUENTE PARA BIOCOMBUSTIBLES

Recientemente, con el notable impacto del efecto invernadero en el cambio climático que está empezando a padecer algunas regiones del mundo, existe un continuo esfuerzo en la búsqueda de minimizar la dependencia de uso de combustibles fósiles, especialmente, petróleo crudo y gas natural. A partir de esto, ha surgido un movimiento industrial y científico con el que se busca aumentar la producción de fuentes de energía alternativas como el etanol, butano e incluso, biogás. (Cui & Cheng, 2015) (Stomp, 2005)

Ahora, con el análisis del crecimiento rápido y las paredes fácilmente digeribles que son naturalmente bajas en lignina hacen de la familia de plantas acuáticas *Lemnaceae*, o lenteja de agua, una materia prima prometedora para la producción de biocombustible. (Sowinski, et al., 2019) Por otra parte, las lentejas de agua son una gran oportunidad para la producción de biocombustibles dada su alta tasa de absorción de nutrientes como nitrógeno y fósforo, el alto rendimiento de su biomasa y la gran capacidad de enriquecimiento y conservación de niveles de almidón compatibles para la producción de etanol, butanol y biogás. (Sree & Appenroth, 2020) Finalmente, esta búsqueda de fuentes de energías compatibles con el medio ambiente a partir de la lenteja de agua parece ser una gran alternativa, sin embargo, se hace necesario estudios que investiguen a profundidad la selección genómica de especies de lentejas de agua con mejor

capacidad de concentración de almidones y optimizar la producción de biomasa a partir de estas algas.

3.5. MODELOS DE PATOGENIA HUMANA

El sistema inmunológico innato de las plantas y humanos comparten algunas similitudes en cuanto a mecanismos de enfermedad utilizados por patógenos virulentos y bacterianos. Dada esta similitud, las algas generalmente representan ventajas experimentales en la biología vegetal dada la facilidad de replicación, control genético y alto rendimiento a bajo costo. (Guttman, 2004) In vitro, se han desarrollado distintos estudios de patogenicidad con lentejas de agua donde se ha demostrado que estas algas, en especial *L. minor*, se pueden usar ampliamente como sistemas de planta modelo que resulta económico, reproducible y rápido en lo que respecta a estudios de interacciones entre huésped y patógeno. (Zhang, et al., 2010)

Otras investigaciones, presentan evidencia de que *Lemna minor* (lenteja de agua común) es útil como modelo vegetal para el proceso infeccioso ocasionado por bacterias del género *Burkholderia cepacia* y, además, tiene potencial como sistema modelo para la patogénesis bacteriana en general. Estos resultados indican que la lenteja de agua común puede servir como un modelo de infección eficaz para la investigación de factores de virulencia bacteriana y estrategias terapéuticas que contribuyan a combatirlo. (Thomson & Dennis, 2013) Así mismo, el esfuerzo por encontrar modelos prácticos de estudio de estas interacciones huésped-patógeno, podría funcionar como una alternativa para el estudio de algunos factores de virulencia, y también podría potencialmente ser utilizado a gran escala para la detección de productos químicos antimicrobianos. (Zhang, et al., 2010)

CAPITULO IV. LENTEJA DE AGUA COMO ALIMENTO PARA ANIMALES

El alto costo de los alimentos para crianza de animales que representen una buena fuente de proteína para los mismos, se ha visto reflejado en la búsqueda constante de alternativas que permitan mejorar la producción de animales. Entre estas alternativas, las lentejas de aguas representan 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. (Van Lai, 1999) (Dewanji, 1993) (Bui, et al., 2002)

Las producciones de materia seca obtenidas a partir de lentejas de agua, se reportan entre 10 y 46 toneladas al año. 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. (Leng, et al., 1995) 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. (Mbagqu & Adeniji, 1988) (Noor, et al., 2000)

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 de los mismos. (Landolt, 1986) (Gutierrez, 2000) (Sánchez, 2016)

La lenteja de agua posee características similares a las proteínas de origen vegetal, dado que 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. (Gutierrez, 2000)

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. (Tavares, et al., 2008)

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. (Bui, et al., 2002)

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. (Leng, et al., 1995) 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. (Tavares, et al., 2008) 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. (Yilmaz, et al., 2004)

De acuerdo a investigaciones realizadas por Goswani y colaboradores (2020) 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*; 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. (Goswani, et al., 2020)

Finalmente, 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, musculo comestible y restos. Desde esta perspectiva, los análisis, sugieren la evaluación de riesgos de toxicidad. (Xue, et al., 2018)

CAPITULO V. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA LENTEJA DE AGUA

En las últimas décadas, diversos estudios científicos han destacado el valor nutricional de las lentejas de agua; esto, dado que la planta en sí, es un organismo taxonómicamente no estructural pero metabólicamente activo. Sin embargo, de acuerdo a estudios citados en capítulos previos, 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 esta. 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. (Appenroth K. , et al., 2018)

4.1. PROTEÍNAS

En gran variedad de estudios, se destaca el aporte de proteína de las lentejas de agua; sin embargo, no existe un consenso sobre el aporte definitivo de esta planta. Los reportes van desde el 13% hasta el 40% de su composición nutricional total en proteínas. (Wolverton & McDonald, 1981) (Bairagi, et al., 2002) Es así como el alto aporte de proteína en las lentejas de agua refleja la gran capacidad que tiene la misma para la asimilación de compuestos y moléculas nitrogenadas. (Dewanji, 1993)

Sin embargo, estas variaciones anteriormente mencionadas, pueden estar sustentadas en las concentraciones de nutrientes que encuentra la planta en el cuerpo de agua, las cuales pueden variar de uno a otro; nutrientes como, la disponibilidad de materia orgánica, la tasa de biodegradación de iodo parcialmente sedimentado en los cuerpos de agua y la concentración de amonio, que, asociado a factores como la luz, pH y temperatura del agua, se convierten en aspectos importantes en la composición nutricional de las lentejas de agua. (Arce & Caicedo, 2000)

En cuanto al 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. (Dewanji, 1993) (Palacios & Villalobos, 2019)

Estudios de composición nutricional, coinciden en la gran fuente de arginina que representa ser esta planta. Sin embargo, pese a ser una gran fuente de aminoácidos esenciales, el perfil proteico de la lenteja de agua es bajo en cuanto al aporte de histidina y metionina (véase *tabla 2*); aminoácidos que podrían comportarse como aminoácidos limitantes en la absorción de nutrientes en humanos. (Peters, et al., 2009)

Tabla 2
Contenido de aminoácidos de la lenteja de agua (Lemna minor)

Aminoácidos		g / 100 gr 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, K., et al. (2017). *Nutritional value of dickweeds (Lemnaceae) as human food.*

Recientes estudios en donde se analizó la composición nutricional de varios cultivos de lentejas de agua, se 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. (Jahreis, et al., 2016) (Edelman & Colt, 2016) Destacando así mismo, la lisina y la conjugación de aminoácidos aromáticos histidina y fenilalanina como ligeramente limitadores en la planta; sin embargo, el promedio de aminoácidos de investigaciones recientes, muestran que generalmente las lentejas de agua cumplen con los requisitos de perfil de aminoácidos para la nutrición humana enmarcados en un patrón de alimentación saludable. (Yu, et al., 2011)

Esto, se ha evidenciado en investigaciones posteriores donde en conjunto, concluyeron que un alto contenido de proteínas y la calidad del espectro de aminoácidos de la lenteja de agua hacen que muchas de estas plantas sean aptas para la nutrición humana. (Zhao, et al., 2015) (Bergmann, et al., 2000) (Sree, et al., 2016)

4.2. 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 estas al contribuir como factores protectores frente a enfermedades degenerativas como el Alzheimer, reduciendo el riesgo de accidentes cardiovasculares e incluso, la mortalidad. (Dehghan, et al., 2017)

Ahora, con el mayor acceso a la información y la concientización que tiene la población mundial frente a los estilos de vida saludable, las comunidades se están viendo enfocadas a la búsqueda de opciones alimentarias más saludables, orgánicas y menos industrializadas posible. De esta forma, buscan con mayor frecuencia alimentos de origen vegetal que representen una buena fuente de nutrientes y que no requiera conservantes para su consumo; de esta forma, la lenteja

de agua representa ser una opción de inclusión de nuevas fuentes de nutrientes en la alimentación humana. De acuerdo a valoraciones de composición nutricional en diferentes cultivos de lenteja de agua, se destaca un contenido aproximado de 30% de ácidos grasos saturados, específicamente, niveles altos de ácido palmítico. (Yan, et al., 2013)

En cuanto a los ácidos grasos monoinsaturados, la evidencia de pruebas de composición nutricional in vitro, han destacado una presencia significativamente más baja frente a los ácidos grasos saturados; encontrándose de un 2 a 5% el ácido oleico, cis-vaccenico y gondoico. (Tang, et al., 2015) Por otra parte, el mayor aporte de ácidos grasos estuvo determinado por los ácidos grasos poliinsaturados, con una representación aproximada del 55% del aporte total de grasas de las lentejas de agua. El principal ácido graso poliinsaturado encontrado fue el ácido α -linolénico, seguido por el ácido linoleico. (Russo, 2009) (Chakrabarti, et al., 2018)

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. (Chew, et al., 2013) 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. (Yan, et al., 2013)

4.3. CARBOHIDRATOS 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. (Tang, et al., 2015)

Algunos autores, han demostrado que el contenido de carbohidratos suele variar en las lentejas de agua de acuerdo a las condiciones de cultivo en las que se encuentre. (Cui & Cheng, 2015)

Las lentejas de agua que crecen en cuerpos de agua con mayor contenido de sales suelen aumentar su contenido de almidones hasta en un 40%, así como el déficit de fosfatos, nitratos o metales pesados en el medio de crecimiento. (Xu, et al., 2012)

En macro-investigaciones de análisis de composición nutricional realizadas por Zhao y colaboradores en 2014, los carbohidratos constituyen el 51,2% de la materia seca mientras que el almidón representa el 19,9% del total de materia seca de lentejas de agua. Además, al analizar con extensión la composición de las paredes celulares de la lenteja de agua y su incidencia en los carbohidratos; esta, es rica en celulosa y también contiene un 20,3% de pectina que comprende galacturonano, xilogalacturonano, ramnogalacturonano; 3,5% de hemicelulosa que comprende xiloglucano y xilano, y 0,03% de fenólicos. (Zhao, et al., 2014)

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. (Ziegler, et al., 2015) 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 a varios autores, completamente beneficioso en los estilos de vida saludable. (Zhao, et al., 2015)

4.4. MINERALES Y ELEMENTOS TRAZAS

La composición nutricional en cuanto a minerales en las lentejas de agua, se caracterizar 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 (*véase tabla 3*). Por otra parte, el contenido total de cenizas es moderadamente alto con rangos de hasta 18% en algunos estudios. (Ziegler, et al., 2015)

Tabla 3

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., (2015). *Relative in vitro growth rates of duckweeds (Lemnaceae) – The most rapidly growing higher plants.*

Ahora, estudios realizados en el noreste de Argelia con cultivos de lentejas de agua, particularmente las especies *Lemna minor* y *Lemna gibba*, presentaron tener una gran capacidad de absorción de zinc de los cuerpos de agua en donde se encuentran además de, observase concentraciones de zinc en la biomasa de las lentejas de agua hasta de un 71% en comparación con el zinc concentrado inicialmente en el cuerpo de agua. (Khellaf & Zerdaoui, 2009)

Esta composición en cuanto a minerales y oligoelementos esenciales como el zinc, abren nuevas perspectivas del posible uso de la lenteja de agua como una estrategia de suplementación alimentaria en poblaciones vulnerables, donde la alimentación y en especial, la suplementación de micronutrientes, se convierten en un pilar básico de la salud pública. (Martinez, 2012)

4.5. 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 (véase *tabla 4*). (Sree, et al., 2015) (Arnold, et al., 2014)

Tabla 4
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

Fuentes: Sree, K., et al., (2015). *The duckweed Wolffia microscopica: A unique aquatic monocot.*

CAPITULO VI. TOXICIDAD Y SUSTANCIAS ANTI-NUTRICIONALES

La lenteja de agua promete ser un alimento de gran utilidad en los patrones alimentarios saludables de la población dado su contenido nutricional; sin embargo, muchos estudios han destacado la presencia de componentes, sustancias o factores anti-nutricionales en ella. (Landolt, 1986) 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. (Lo, et al., 2015)

Por otra parte, los factores anti-nutricionales 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. (Kritchevsky & Chen, 2005)

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%. (Naumann, et al., 2007) 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. (Sree, et al., 2015)

Otros estudios utilizaron extractos de plantas enteras de siete especies de lentejas de agua (*Spirodela polyrhiza*, *Landoltia punctata*, *Lemna gibba*, *Lemna minor*, *Wolffiella hialina*, *Wolffia globosa* y *Wolffia microscopica*) para detectar la probable presencia o ausencia de efectos citotóxicos y antiproliferativos en las líneas celulares humanas. Al final del estudio, se concluye que los extractos a partir de lentejas de agua no tienen efectos adversos detectables en las líneas celulares humanas utilizadas en el estudio. (Sree, et al., 2019)

A pesar que en la actualidad se han reportado investigaciones de componentes antinutritivos potenciales como los nitratos, oxalatos, taninos y fitatos; la evidencia de estos estudios en donde no se identifican efectos tóxicos a partir de las lentejas de agua, abren una oportunidad para el uso de estas plantas tipo algas como un componente en la alimentación humana. (Sree, et al., 2019) (Hemmige, et al., 2017)

CAPITULO VII. LENTEJA DE AGUA EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA

La lenteja de agua (*Lemna minor*) ha demostrado tener un buen perfil de aminoácidos favorables en la alimentación de peces y animales de granja; esto, se acompaña de un aporte de minerales y vitaminas considerables, que contribuyen en su palatabilidad. Justamente son estas características la que hacen de la lenteja de agua, un alimento de gran interés en la dieta de los seres humanos; considerando las grandes tasas de pobreza y hambruna en algunas poblaciones del mundo y la necesidad elevada de suplementación nutricional en poblaciones con acceso limitado a una alimentación saludable. (Appenroth K. , et al., 2017) (Zelicha, et al., 2019)

Históricamente, en poblaciones rurales ubicadas al sur del continente asiático, las lentejas de agua han tomado un destacado papel al incluirse en la dieta de estas comunidades, especialmente en Birmania, Tailandia y Laos. (Appenroth K, et al., 2017)

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. (Lonnie, et al., 2020)

Ahora, no existen muchos estudios que evidencien el uso de estas algas en otras regiones del mundo, pero, en los últimos años el interés de la comunidad científica se ha enfocado en la búsqueda de nuevos alimentos funcionales con potencial cultivo y rendimiento que, además, representen una gran oportunidad en la alimentación humana. Recientemente, 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*, identificaron en estas plantas una gran oportunidad en la alimentación humana en especial, en grupos poblaciones con dificultades en metabolismo de carbohidratos. Según estas investigaciones, la lenteja de agua

de *Wolffia globosa* podría servir como una fuente de proteína vegetal alternativa emergente con potenciales efectos glucémicos posprandiales beneficiosos. (Zelicha, et al., 2019)

Por otra parte, uno de los mayores estudios que se ha tenido de las lentejas de agua en la alimentación humana, han destacado una visión general de la composición nutricional de esta familia de plantas; considerándolas de gran relevancia en la alimentación humana dado el contenido de proteínas que variaba de 20% al 35%, grasa del 4% al 7% y almidón del 4% al 10% por peso seco. (Zelicha, et al., 2019)

Estudios similares, realizados con lenteja de agua de la especie desarrollada *L. Wolffia globosa*, han evidenciado a través de modelos investigativos de ensayos aleatorios controlados que, la lenteja de agua puede proporcionar una fuente sustitutiva de alta calidad para la proteína animal y una posible fuente biodisponible de vitamina B12. Sin embargo, se hacen necesarios estudios que evalúen la disponibilidad proteica en especies como *L. minor* de mayor interés en la comunidad científica. (Kaplan, et al., 2019)

Así mismo, el mayor aspecto que favorece la recomendación de este estudio para el uso de estas algas en la alimentación humana es la distribución de aminoácidos y la favorable relación de ácidos grasos omega 6 y 3, relativamente similares con las recomendaciones dadas por la Organización Mundial de la Salud. (Appenroth K. , et al., 2017)

En cuanto al aporte proteico, el alto contenido de las lentejas de agua (*Lemna minor*) acompañado de la capacidad de crecimiento de las mismas, ha hecho de estas, algas de interés científico como fuente de proteínas en el patrón alimentario del ser humano; sin embargo, actualmente no existen suficientes estudios de evidencia científica al respecto.

Pocos estudios como los de Zeinstra y colaboradores recientemente publicados en 2019, buscaban evaluar el perfil de aminoácidos séricos posprandiales de *Lemna minor* en adultos sanos y comparar tales resultados con los guisantes de consumo común en el mundo, buscando

así, obtener información sobre la seguridad en el consumo humano de estas algas como alimentos. La importancia de este estudio, a pesar de haberse realizado en una población de voluntarios sanos relativamente pequeña (n=12), reside en la medición de muestras sanguíneas entre el minuto 0 y 180 con intervalos de 15 minutos, en donde se analizaron niveles de aminoácidos, glucosa e insulina; además de, la medición de frecuencia cardíaca, presión arterial y temperatura auditiva antes y después del consumo de las muestras de guisantes y lentejas de agua. (Zeinstra, et al., 2019)

Los resultados de esta investigación, abrieron las luces para conocer más sobre la digestibilidad proteica de las lentejas de agua, *Lemna minor*. En comparación con los guisantes, en el estudio se observó que las lentejas de agua presentan una carga glucémica y respuesta de insulina mucho más baja; sin embargo, al valorar la carga de aminoácidos en sangre, el consumo de guisantes permitía obtener un perfil de aminoácidos en sangre relativamente más alto que las lentejas de agua, lo que sugiere poca o menor digestibilidad proteica en las proteínas de *L. minor*. Así mismo, no se evidenció diferencia significativa en lo que respecta a parámetros de salud o molestias gastrointestinales entre guisantes y lentejas de agua. Finalmente, el estudio demuestra que la ingesta de lentejas de agua no impacta con la producción de eventos adversos agudos en humanos, pese a que se necesitan más estudios para determinar los efectos de la ingesta continua de *L. minor* y la biodisponibilidad proteica de la misma en caso de ser purificada. (Zeinstra, et al., 2019)

Recientemente, ante la disminución de la carne en la dieta y del riesgo asociado a déficit de hierro en seres humanos dada la poca disponibilidad del hierro de origen vegetal; estudios como los de Yakolska y colaboradores (2019) exploraron el efecto de una dieta mediterránea baja en carne, complementada con lenteja de agua de *Wolffia globosa* como fuente de alimento para humanos, sobre el estado del hierro examinando, además, la biodisponibilidad de hierro de Mankai en ratas. Luego de seis meses valorando el impacto en los niveles de hierro en sangre

de humanos con dieta mediterránea baja en carne y biodisponibilidad en humanos, el estudio finaliza concluyendo y demostrando que, en humanos, una dieta baja en carne verde no altera la homeostasis del hierro. Por otra parte, en ratas, el hierro derivado de lentejas de agua es biodisponible y eficaz para revertir la anemia, aunque claramente harán falta estudios de casos en seres humanos para determinar esa eficacia. (Yaskolka Meir, et al., 2019)

Finalmente, 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 con capacidad de generar efectos adversos en la salud humana, las lentejas de agua (*Lemna minor*) podrían representar una excelente opción en el consumo de esta, como suplemento en el patrón alimentario de comunidades necesitadas a lo largo del mundo. (Yaskolka Meir, et al., 2019)

CONCLUSIONES

Las algas *Lemna minor* o lentejas de agua, como son conocidas generalmente, comprenden una especie de plantas de gran interés en la industria ambiental y alimentaria. Su rápido crecimiento y capacidad de proliferación en cuerpos de agua sin requerimientos especiales, ha hecho de estas algas, una potencial opción en la industria ambiental y alimentaria de animales e incluso, seres humanos. (Arroyave, 2004)

Desde el punto de vista ambiental, las lentejas de agua representan una gran oportunidad en la fitorremediación de los cuerpos de agua contaminados. En el caso de Colombia, la prevalencia de cuerpos de aguas contaminados ha ido en aumento; con el crecimiento acelerado de la industria, parece ser más el efecto contaminante que la recuperación de estos cuerpos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

En estos casos, el acelerado crecimiento de las lentejas de agua, favorecería en la recuperación de los cuerpos de agua al absorber sustancias de metales pesados y nitratos suspendidos en el agua además de, repeler plantas que funcionen como plagas en la superficie de los cuerpos de agua dada la gran competitividad que se destaca de esta planta. (Lo, et al., 2015)

Por otra parte, el factor ambiental para el uso de estas algas no estaría solo limitado a la recuperación de cuerpos de agua; en varios países del mundo, se utilizan estas plantas para la industria de peces y animales de granja de consumo humano con un aporte nutricional importante con una inclusión de hasta el 30% de los piensos y notable reducción de costos. (Gutierrez, 2000) (Palacios & Villalobos, 2019)

Ahora, en cuanto a la población humana, el crecimiento acelerado de esta y el impacto del cambio climático, dificultan cada vez más la obtención de alimentos de calidad y en las cantidades que se requieren. En este orden de ideas, el uso de las lentejas de agua como un alimento vegeta

fuentes de proteína serían una gran opción en aspectos nutricionales, ambientales y económicos. (Appenroth K. , et al., 2017)

En Colombia, la desnutrición es una problemática que afecta aproximadamente más de medio millón de niños menos de 5 años según las cifras de la última Encuesta de la Situación Nutricional ENSIN y, a pesar que la desnutrición no puede ser vista como una patología exclusivamente alimentaria, su trasfondo sociopolítico, económico y cultural conllevan a que la lucha de los programas mundiales sea cada vez más difícil. En este sentido, la inclusión de las lentejas de agua como un alimento de producción rápida y económica para los seres humanos, parecería ser una excelente estrategia. (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, ICBF, 2016)

Así mismo, no sería la primera vez que se usen alimentos de origen vegetal en la lucha contra la desnutrición. En la década los setentas con el desarrollo de las mezclas de vegetales de alto valor proteico, conocidas en Colombia como Bienestarina, se dan pie a una nueva estrategia de seguridad alimentaria y nutricional enfocada en la lucha contra la desnutrición. Ahora, teniendo en cuenta el aporte proteico, perfil de aminoácidos, riqueza de carotenos y poco aporte de carbohidratos, la lenteja de agua son potencialmente una opción de inclusión en las mezclas vegetales utilizadas para la recuperación nutricional de niños en desnutrición a lo largo del territorio nacional. (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, ICBF, 2015)

Aprovechando el valor nutricional de estas plantas y la ausencia de factores antinutricionales, la inclusión de las lentejas de agua en la alimentación humana podría favorecer el componente nutricional de las sociedades sin aumentar la carga económica que involucra la producción de alimentos en ambientes cada vez más hostiles. Sin embargo, es importante destacar la escasa cantidad de estudios que existen en cuanto al uso de estas plantas en la alimentación humana; por lo que se harán necesarios más estudios para determinar el rol que podrían tomar estas algas al incluirse en la dieta del ser humano y la seguridad asociada al consumo continuo de estas.

REFERENCIAS

- Appenroth, K., Sree, K., Bog, M., Ecker, J., Seeliger, C., Böhm, V., . . . Jahreis, G. (2018). Nutritional value of the duckweed species of the genus *Wolffia* (Lemnaceae) as human food. *Frontier Chemistry*, 483.
- Appenroth, K., Sree, K., Bohm, V., Hammann, S., Veter, W., Leiterer, M., & Jhareis, G. (2017). Nutritional value of dickweeds (Lemnaceae) as human food. *Food Chemistry*, 266-273.
- Arce, G., & Caicedo, J. (2000). Efectos del amonio y del pH sobre el crecimiento de la *Spirodela ptyrhiza* cultivado en afluentes de reactor UASB. *Revolution Bol Ecology*, 17-23.
- Arnold, C., Schwarzenbolz, U., & Böhm, V. (2014). Carotenoids and chlorophylls in processed xanthophyll-rich food. *Food Science and Technology*, 442-445.
- Arroyave, M. (2004). La Lenteja de Agua (*Lemna minor* L.): una planta acuatica promisoría. *Rev. EIA*, 33-38.
- Bairagi, A., Ghosh, K., Sen, S., & Ray, A. (2002). Duckweed (*Lemna polyrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff in formulated diets for rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium. *Biores. Technol.*, 17-24.
- Bergmann, B., Cheng, J., Classen, J., & Stomp, A. (2000). In vitro selection of duckweed geographical isolates for potential use in swine lagoon effluent renovation. *Bioresource Technology*, 13-20.
- Bress, P., Crespo, D., Rizzo, P., & Rossa, F. (2012). Capacidad de las macrofitas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para eliminar el níquel. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 153-157.

- Brown, P., Tazik, P., Hooe, M., & Blyte, W. (1990). Consumption and apparent dry matter digestibility of aquatic macrophytes by male and female crayfish (*Orconectes virilis*). *Aquaculture*, 55-64.
- Bui, O., & Lindberg. (2002). Use of duckweed as a protein supplement for breeding ducks. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 866-871.
- Bui, X., Ogle, B., & Lindberg, J. (2002). Use of duckweed as a protein supplement for breeding ducks. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 866-871.
- Cedergreen, N., & Vindbek, M. (2002). Nitrogen uptake by floating macrophyte *Lemna minor*. *New Phytol*, 285-292.
- Chakrabarti, R., Clark, W., & Sharma, J. (2018). Production of *Lemna minor* and its amino acid and fatty acid profiles. *Frontier Chemistry*, 479.
- Chará, J. (1998). El potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación productiva. *CIPAV*.
- Chará, J. (1998). *El potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación productiva*. Caracas.
- Chew, E., Clemons, T., SanGiovanni, J., Danis, R., Ferris, F., & Elman, M. (2013). Lutein + Zeaxanthin and Omega-3 fatty acids for age-related macular. *Food Chemistry*.
- Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. (2018). *La nutrición y los sistemas alimentarios. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial*. Roma: HLPE.
- Cook, C., & Gut, B. (1974). *Water plants of the world: A manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes*. Junk: The Hague.

- Cross, J. (2006). *The Charms of Duckweed*. Alexandria: Missouri Botanical Garden.
- Cui, W., & Cheng, J. (2015). Growing duckweed for biofuel production: A review. *Plant Biology*, 16-23.
- Dehghan, M., Mente, A., Zhang, X., Swaminathan, S., Li, W., Viswanathan, M., . . . Safura, A. (2017). Associations of fats and carbohydrate intake with cardiovascular disease and mortality in 18 countries from five continents (PURE): a prospective cohort study. *The Lancet*, 2050-2062.
- Dewanji, A. (1993). Amino acid composition of leaf proteins extracted from some aquatic weeds. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 1232.
- Edelman, M., & Colt, M. (2016). Nutrient value of leaf vs seed. *Frontiers in Chemistry*, 32.
- Ekperusi, A., Sikoki, F., & Nwachukwu, E. (2019). Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. *Chemosphere*, 285-309.
- Forzza, R. (2010). *Lista de espécies Flora do Brasil*. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Goswami, R., Shrivastav, A., Sharma, J., Tocher, D., & Chakrabarti, R. (2020). Growth and digestive enzyme activities of rohu labeo rohita fed diets containing macrophytes and almond oil-cake. *Anim Feed Sci Technol*, 263.
- Gür, N., Türker, O., & Böcük, H. (2016). 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*, 1-9.
- Gutierrez, G. (2000). Potencial de la planta *Lemna gibba* en la alimentación de cerdos. *Universidad Interinstitucional de Colima*.

- Guttman, D. (2004). Plants as models for the study of human pathogenesis. *Biotechnology Advances*, 363-382.
- Hardy, R. (2006). Worldwide fish meal production outlook and the use of alternative protein meals for aquaculture. *Universidad Autónoma de Nuevo Leon*.
- Hasar. (2002). Role of duckweed (*Lemna minor* L.) harvesting in biological phosphate removal from secondary treatment effluents. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27-29.
- Hemmige, N., Abbey, L., & Asiedu, S. (2007). An overview of nutritional and anti nutritional factors in green leafy vegetables. *Horticult Int J*, 58-65.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, ICBF. (2015). *El trabajo del ICBF de cara la nutrición infantil: un camino a la equidad*. Bogotá: CONPES.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, ICBF. (2016). *ENSIN 2015*. Bogotá: ICBF.
- Jahreis, G., & Schaefer, U. (2011). Rapeseed (*Brassica napus*) oil and its benefits for human health. *Academic Press*, 967-974.
- Jahreis, G., Brese, M., Leiterer, M., Schaefer, U., & Böhm, V. (2016). Legume flours: Nutritionally important sources of protein and dietary fiber. *Ernaehrungs Umschau International*, 36-42.
- Kaplan, A., Zelicha, H., Tsaban, G., Yaskolka Meir, A., Rinott, E., Kovsky, J., . . . Shai, I. (2019). Protein bioavailability of *Wolffia globosa* duckweed, a novel aquatic plant - A randomized controlled trial. *Clinical Nutrition*, 2576-2582.
- Khellaf, N., & Zerdaoui, M. (2009). Phytoaccumulation of zinc by the aquatic plant, *Lemna gibba* L. *Bioresour Technol*, 6137-6140.

- Kreider, A., Fernandez, C., Bruns, M., & Brennan, R. (2019). Duckweed as an Agricultural Amendment: Nitrogen Mineralization, Leaching, and Sorghum Uptake. *Journal of environmental quality*, 469-475.
- Kritchevsky, D., & Chen, S. (2005). Phytosterols—Health benefits and potential concerns: A review. *Nutrition Research*, 413-428.
- Landolt, E. (1986). Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae). En G. Veröff, *The family of Lemnaceae – A monographic study. Part 1 of the monograph: Morphology; karyology; ecology; geographic distribution; systematic position; nomenclature; descriptions*. Zürich: Inst. Stiftung Rübél.
- Leng, R., Stambolie, J., & Bell, R. (1995). Duckweed a potencial high protein feed resource for domestic animals and fish. *Res. Rural Develop*, 141.
- Liu, C., Dai, Z., & Sun, H. (2017). Potential of duckweed (*Lemna minor*) for removal of nitrogen and phosphorus from water under salt stress. *J Environ Management*, 497-503.
- Lo, B., Elphick, J., Bailey, H., Baker, J., & Kennedy, C. (2015). The effect of sulfate on selenite bioaccumulation in two freshwater primary producers: A duckweed (*Lemna minor*) and a green alga (*Pseudokirchneriella subcapitata*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2842-2845.
- Lonnie, M., Laurie, I., Myers, M., Horgan, G., Russell, W., & Johnstone, A. (2020). Exploring Health-Promoting Attributes of Plant Proteins as a Functional Ingredient for the Food Sector: A Systematic Review of Human Interventional Studies. *Nutrients*, 2291.
- Manchuria, C., & Aruquipa, M. (1996). Aplicación de la *Lemna* sp. (lenteja de agua) para la producción de hortalizas. *UNA Puno*.
- Martinez, J. (2012). *Nutricion y alimentacion en el ambito escolar*. Madrid: Arboleda.

Mbagqu, I., & Adeniji, H. (1988). El contenido alimenticio de la lenteja de agua en el área de Kainji, Nigeria. *IFFR*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Diagnostico Nacional de Salud Ambiental*. Bogotá: Republica de Colombia.

Monette, F., Samir, L., Louise, M., & Abdelkrim, A. (2006). Comprehensive modeling of mat density effect on duckweed (*Lemna minor*) growth under controlled eutrophication. . *Water Res*, 2901-2910.

Morales, N., Arevalo, K., Ortega, J., Briceño, B., Andrade, C., & Morales, E. (2006). EL pH y la fuente nitrogenada como moduladores del crecimiento de la macrófita *Lemna* spp. . *Revista Fasciculo de Agronomia*, 70-83.

Muztar, A., Slinger, S., & Burton, J. (1978). Chemical composition of aquatic macrophytes. Investigation of organic constituents and nutritional potential. *Canadian Journal Plant Sciences*, 829-841.

Naumann, B., Eberius, M., & Appenroth, K. (2007). 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. *Journal of Plant Physiology*, 1656-1664.

Noor, J., Hossain, M., Bari, M., & Azimuddin, K. (2000). Effects of duckweed (*Lemna minor*) as dietary fishmeal substitute for silver barb (*Bar bodes gonionotus* Bleeker) Bangladesh . *Journal Fish*, 35-42.

Olguin, E., & Hernandez, E. (1998). Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater. *Institute of Ecology, Environmental Biotechnology*.

Organización Mundial de la Salud. (2018). Carga Mundial de la Enfermedad. OMS.

- Oron, G., Porath, D., & Wildschut, L. (1986). Waste water treatment and renovation by different duckweed species. *Journal Environment England*, 247-263.
- Palacios, J., & Villalobos, S. (2019). 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. *Universidad Santo Tomas*.
- Panfili, I., Bartucca, M., & Del Buono, D. (2019). The treatment of duckweed with a plant biostimulant or a safener improves the plant capacity to clean water polluted by terbuthylazine. *Sci Total Environment*, 832-840.
- Parr, L., Perkins, R., & Mason, C. (2002). *Water Research*. 1735-1742.
- Peters, R., Morales, E., Morales, N., & Hernández, J. (2009). Evaluación de la calidad alimentaria de la harina de Lemna obscura como ingrediente en la elaboración de alimento para tilapia roja (*Oreochromis* spp.). *Revista Científica*, 303-310.
- Ponce, J., Febrero, I., González, R., Romero, O., & Estrada, O. (2005). Perspectivas de la Lemna sp. para la alimentación de peces. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 1-6.
- Radic, S., Stipanicev, D., Cvjetko, P., Rajcic, M., Sirac, S., Pevalek, B., & Pavlica, M. (2011). Duckweed Lemna minor as a tool for testing toxicity and genotoxicity of surface waters. *Ecotoxicol Environ Safety*, 182-187.
- Raven, P., Evert, R., & Eichhorn, S. (1971). *Biology of plants*. New York: Worth.
- Rock, B., Sriyan, J., Vijay, B., Thalha, N., Elango, S., & Rajajeyakumar, M. (2017). Organic Food and Health: a systematic review. *Journal of Community Medicine & Health Education*, 1-7.

- Roldan, G., & Alvarez, L. (2002). Aplicación del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales y opciones de reuso de la biomasa producida. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 56-71.
- Russo, G. (2009). Dietary n6 and n3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochemical Pharmacology*, 937-946.
- Sánchez, O. (2016). Obtención de harina a partir de ensilaje biológico de subproductos de Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y Tilapia roja (*Oreochromis spp.*). *Universidad del Cauca*.
- Sasmaz, M., Arslan, E., Obek, E., & Sasmaz, A. (2015). The potential of *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. to remove Cu, Pb, Zn, and As in gallery water in a mining area in Keban, Turkey. *J Environ Manage*, 246-253.
- Sobrino, A., Miranda, M., Alvarez, C., & Quiroz, A. (2010). Bio-accumulation and toxicity of lead (Pb) in *Lemna gibba* L (duckweed). *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*, 107-110.
- Sowinski, E., Gilbert, S., Lam, E., & Carpita, N. (2019). Linkage structure of cell-wall polysaccharides from three duckweed species. *Carbohydrates Polymers*, 115-119.
- Sree, K., & Appenroth, K. (2020). Worldwide Genetic Resources of Duckweed: Stock Collections, The Duckweed Genomes. En X. Cao, P. Fourounjian, & W. Wang, *The Duckweed Genomes* (págs. 39-46). Springer: Compendium of Plant Genomes.
- Sree, K., Bog, M., & Appenroth, K. (2016). Taxonomy of duckweeds (Lemnaceae), potential new crop plants. *Emirate Journal of Food and Agriculture*, 291-302.

- Sree, K., Dhase, H., Chandran, J., Scheneider, J., Jahreis, G., & Appenroth, K. (2019). Duckweed for Human Nutrition: No Cytotoxic and No Anti-Proliferative Effects on Human Cell Lines. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1-2.
- Sree, K., Maheshwari, S., Boka, K., Khurana, J., Keresztes, A., & Appenroth, K. (2015). The duckweed *Wolffia microscopica*: A unique aquatic monocot. *Flora*, 31-39.
- Sree, S., Keresztes, Á., Mueller-Roeber, B., Brandt, R., Eberius, M., & Fischer, W. (2015). Phytotoxicity of cobalt ions on the duckweed *Lemna minor* – Morphology, ion uptake, and starch accumulation. *Chemosphere*, 149-156.
- Stomp, A. (2005). The duckweeds: a valuable plant for biomanufacturing. *Biotechnol Annu Rev*, 69-99.
- Tang, J., Li, Y., Ma, J., & Cheng, J. (2015). Survey of duckweed diversity in Lake Chao and total fatty acid, triacylglycerol, profiles of representative strains. *Plant Biology*, 1066-1072.
- Tavares, A., Rodrigues, R., Machado, F., Esquivel, J., & Roubach, R. (2008). Dried duckweed and commercial feed promote adequate growth performance of tilapia fingerlings. *Biotemas*, 91-97.
- Thomson, E., & Dennis, J. (2013). Common duckweed (*Lemna minor*) is a versatile high-throughput infection model for the *Burkholderia cepacia* complex and other pathogenic bacteria. *PLoS One*, 8.
- Van der Heide, T., Roijackers, M., Nes, V., & Peeters, T. (2006). Simple equation for describing the temperature dependent growth of free-floating macrophytes. *Aquatic Botanic*, 171-175.
- Van Lai, N. (1999). On-farm comparison of Mong Cai and Large White pigs fed ensiled cassava root, rice bran and duckweed. . *Res Rural Develop.*

- Wolverton, B., & McDonald, R. (1981). Energy from vascular plants wastewater treatment systems. *Ecology and Botanic*, 224-232.
- Xu, J., Cui, W., Cheng, J., & Stomp, A. (2012). Growing *Spirodela polyrrhiza* in swine wastewater for the production of animal feed and fuel ethanol: A pilot study. *Clean – Soil Air Water*, 760-765.
- Xue, Y., Peijnenburg, W., Huang, J., Wang, D., & Jin, Y. (2018). Trophic transfer of Cd from duckweed (*Lemna minor* L.) to tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Environ Toxicol Chem*, 1367-1377.
- Yan, Y., Candreva, J., Shi, H., Ernst, E., Martienssen, R., & Schwender, J. (2013). 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 c-linolenic and stearidonic acids in *Lemna gibba*. *BMC Plant Biology*, 201.
- Yaskolka Meir, A., Tsaban, G., Zelicha, H., Rinott, E., Kaplan, A., Youngster, I., . . . Shai, I. (2019). A Green-Mediterranean Diet, Supplemented with Mankai Duckweed, Preserves Iron-Homeostasis in Humans and Is Efficient in Reversal of Anemia in Rats. *Journal Nutrition*, 1004-1011.
- Yilmaz, E., Akyurt, I., & Gunal, G. (2004). Use of Duckweed, *Lemna minor*, as a Protein Feedstuff in Practical Diets for Common Carp, *Cyprinus carpio*, Fry. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 105-109.
- Ying, F., Babourina, O., Rengel, Z., Yang, E., & Min, P. (2007). Ammonium and nitrate uptake by the floating plant *Landoltia punctata*. *Annual Botanical*, 365-370.

- Yu, G., Liu, H., Venkateshan, K., Yan, S., Cheng, J., & Sun, X. (2011). Functional, physicochemical, and rheological properties of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) protein. . *Transactions of the ASABE*, 555-561.
- Zeinstra, G., Somhorst, D., Oosterink, E., Fick, H., Klopping, I., Van der Meer, I., & Mes, J. (2019). Postprandial amino acid, glucose and insulin responses among healthy adults after a single intake of *Lemna minor* in comparison with green peas: a randomised trial. *Journal of Nutritional Science*, 1-11.
- Zelicha, H., Kaplan, A., Yaskolka, A., Tsaban, A., Rinott, E., Shelef, I., . . . Ceglarek, M. (2019). The Effect of *Wolffia globosa* Mankai, a Green Aquatic Plant, on Postprandial Glycemic Response: A Randomized Crossover Controlled Trial. *Diabetes Care*, 1162-1169.
- Zetina, P. (2009). Utilización de la lenteja agua (lemnaceae) en la producción de tilapia (*Oreochromis* spp.). *Archivos de Zootecnia, Mexico*.
- Zhang, Y., Hu, Y., Yang, B., Ma, F., Lu, P., Li, L., . . . Chen, S. (2010). Duckweed (*Lemna minor*) as a model plant system for the study of human microbial pathogenesis. *PLoS One*, 5.
- Zhao, X., Moates, G., Wellner, N., Collins, N., Coleman, M., & Waldron, K. (2014). Chemical characterisation and analysis of the cell wall polysaccharides of duckweed (*Lemna minor*). *Carbohydrate Polymers*, 410-418.
- Zhao, Z., Shi, H., Liu, C., Kang, X., Chen, L., Liang, X., & Jin, L. (2018). Duckweed diversity decreases heavy metal toxicity by altering the metabolic function of associated microbial communities. *Chemosphere*, 76-82.
- Zhao, Z., Shi, H., Wang, M., Cui, L., Zhao, H., & Yun, Z. (2015). Effect of nitrogen and phosphorus deficiency on transcriptional regulation of genes encoding key enzymes of

starch metabolism in duckweed (*Landoltia punctata*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 72-81.

Ziegler, P., Adelman, K., Zimmer, S., Schmidt, C., & Appenroth, K. (2015). Relative in vitro growth rates of duckweeds (Lemnaceae) – The most rapidly growing higher plants. *Plant Biology*, 33-41.

Ziegler, P., Sree, K., & Appenroth, K. (2019). Duckweed biomarkers for identifying toxic water contaminants? *Environ Sci Pollut Res Int*, 14797-14822.