



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



Componente práctico de carácter Complexivo, presentado al H.
Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a la
obtención del título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“La Azolla: importancia y usos para mejorar la fertilidad y calidad del
suelo y del agua en la agricultura.”

AUTOR:

Kevin Omar Aguiar Arguello

TUTOR:

Ing. Agr. Marlon López Izurieta, MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2020

DEDICATORIA:

Este trabajo está dedicado a mi querida madre **Sandra María Arguello Tafur** quien me ha permitido llegar tan lejos en mi formación profesional con su incondicional apoyo y fe en mí, siempre me ha transmitido el coraje y la actitud de salir siempre adelante a pesar de las adversidades, que rendirse no es una opción.

AGRADECIMIENTOS:

Quiero expresar mi agradecimiento con Dios por darme la vida para culminar mi preparación profesional, por permitir tener el apoyo de mi familia y tenerlos a mi lado.

Agradecer a mi madre **Sandra María Arguello Tafur** y mi hermana por darme la facilidad para estudiar esta carrera, por brindarme siempre apoyo y sobre todo formar mi carácter para afrontar las dificultades de la vida universitaria.

También agradecer a mi tutor el Ing. Agr. Marlon López Izurieta, MSc por su excelente criterio y visión profesional en la elaboración de este trabajo investigativo para obtener el título de ingeniero agrónomo.

Resumen:

El siguiente documento está dirigido a aprender las bondades del helecho Azolla, de su relación simbiótica con la cianobacteria Anabaena Azollae y probar si éste tiene la capacidad de mejorar la calidad del agua y del suelo funcionando como biorremediador.

El documento se basa en investigaciones científicas sobre la Azolla, su producción, características ,su desarrollo y usos. Se plantearán hipótesis con la información recopilada, la mayoría de investigaciones citadas es de origen ecuatoriano.

Esta información servirá a futuro para dar a conocer a las personas de qué es Azolla y para qué sirve; abriendo nuevas ideas para futuros experimentos basados en este poco conocido helecho y su particular característica de biorremediador.

Palabras clave: Azolla, Biorremediador, Anabaena Azollae, Simbiosis.

Abstract:

The following document is aimed to learn the benefits of the Azolla fern, its symbiotic relationship with the cyanobacterium *Anabaena Azollae* and prove if it can improve the quality of water and soil by functioning as a bioremediatory.

The document is based on scientific research on Azolla, its production, characteristics, development and uses. Hypotheses will be raised with the information collected, most of the investigations cited are of Ecuadorian origin.

This information will serve in the future to make people aware of what Azolla is and what it is for; opening new ideas for future experiments based on this little-known fern and its bioremediation characteristic.

Key words: Azolla, Bioremediatory, *Anabaena Azollae*, Symbiosis.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	3
MARCO METODOLÓGICO	3
1.1 Definición del tema caso de estudio	3
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 General.....	3
1.4.2 Específicos.....	4
1.5 Fundamentación teórica	4
1.6 Hipótesis	16
1.7 Metodología de la investigación	17
CAPITULO II	18
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1 Desarrollo del caso.....	18
2.2 Situaciones detectadas (hallazgo).....	18
2.3 Conclusiones	20
2.4 Recomendaciones	21
BIBLIOGRAFÍA.....	22

INTRODUCCIÓN

La Azolla, conocida como helecho de agua, yerba de agua, helecho mosquito (fairymoss-mosquito fern en inglés), pertenece a un género de helecho que flota sobre el agua, único perteneciente a la familia Azollaceae. Se le conoce como “helecho mosquito” porque al cubrir la planta la superficie del agua crea una capa que evita que los mosquitos depositen huevos.

Son plantas con fácil nivel de propagación ya que son organismos acuáticos se les facilita su adaptación a climas y altitudes, pero en particular a los templados.

La Azolla forma asociación simbiótica con la cianobacteria *Anabaena Azollae*, la que posee la capacidad de fijar nitrógeno del aire para almacenarlo en la planta. Este helecho se puede usar como abono orgánico para aplicar nitrógeno en cultivos en forma de voleo, evitando el uso de fertilizantes de origen inorgánico por ejemplo Urea.

En el continente Asiático su uso (de este helecho) se ha normalizado, tanto que en los campos en los que se cultiva arroz se los siembra con unos meses de anterioridad para favorecer su uso debido a que la Azolla cubre toda la superficie de agua y previene el brote de malezas dentro del cultivo, además de suministrar nitrógeno de manera natural. La Azolla posee dos tipos de reproducción: sexual (por esporas) y asexual (por fragmentos) esto la define como una planta invasora, tanto que puede producir 9 toneladas de abono orgánico al año en una hectárea, gracias a que su cultivo es simple y rápido.

Hay que ser cuidadoso al momento de sembrar Azolla, porque su crecimiento es muy rápido y puede cubrir millones de kilómetros de superficie acuática si se lo permite, dañando la fauna acuática.

Una característica adicional de la Azolla es que puede funcionar como biorremediador del agua (níquel, zinc, cobre, plomo o cromo) eliminando el contenido de metales pesados absorbiéndolos, facilitando así la extracción de

ellos del agua en forma sólida y no líquida como era anteriormente (Portela 2017).

La azolla es una planta que se la debe utilizar en los cultivos, especialmente de arroz lo que evita el desarrollo de las malezas, a más de mejorar la calidad del suelo y del agua que se infiltra a los acuíferos subterráneos, de ahí que es necesario su utilización para mejorar la fertilidad del suelo y la calidad del agua en beneficio del medio ambiente y del productor.

CAPITULO 1

MARCO METODOLÓGICO

1.1 Definición del tema caso de estudio

El presente documento tiene la finalidad de brindar conocimientos técnicos sobre la Azolla, importancia y usos con la finalidad buscar alternativas que mejoren la fertilidad y calidad del suelo y del agua en la agricultura, para lo cual es necesario definir métodos efectivos de fertilización y de biorremediación del suelo y agua para ser implementados en los cultivos, especialmente arroz.

1.2 Planteamiento del problema

Una situación preocupante es el desgaste y empobrecimiento de los suelos por el uso de fertilizantes inorgánicos como la urea que son costosos y que contaminan los acuíferos debido al exceso de nitrógeno que se filtra a través del suelo, por esto se debe dar a conocer las bondades de la Azolla como abono orgánico y biorremediador del ambiente.

1.3 Justificación

La Azolla es un helecho con propiedades fundamentales en la remediación del entorno natural, especialmente el agua, y del suelo por brindar nutrientes de forma natural y mejorar la carga microbiana del mismo, aun siendo de forma indirecta. Este helecho se puede desarrollar sin problema en el clima tropical del Ecuador, pero esta micro planta no ha tenido el reconocimiento en importancia para la agricultura, por lo que es necesario recopilar y sintetizar la información mínima y dispersa que hay en el Ecuador. Además, es relevante para dar a conocer detalles útiles para los ingenieros agrónomos y agricultores del país.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Conocer la importancia y usos de la Azolla para mejorar la calidad del agua y del suelo.

1.4.2 Específicos

- Sintetizar información sobre el desarrollo de la Azolla para mejorar la calidad del agua y de suelo.
- Determinar la importancia de la micro-alga como mejorador de suelo.

1.5 Fundamentación teórica

1.5.1 Importancia de la Azolla:

La Azolla es un organismo natural muy importante porque a pesar de ser considerado una maleza en algunos países tiene características que nos puede dar beneficios en el campo agrícola in situ, debido a su naturaleza simbiótica con cianobacterias, a su capacidad de adaptación y absorción de nutrientes que la convierten en un valioso recurso.

Fue nombrada como super organismo en referencia a que cada eucariota es así, en base a que constituye un simbiote formado por genes de carácter cromosómico, genes organelares e incluso como bacterias simbiotes; tales como un virus (Reyes 2013).

En países asiáticos le dan el valor que se merece a la azolla, realizando cultivos para cosechar y posterior aplicación de la materia viva a los arrozales, mejorando así la calidad y cantidad de la producción de los cultivos, es algo muy normal ver azollarios cerca de los cultivos, produciendo arroz con un mejor sabor. En Ecuador no es muy popular el uso de este helecho, pero aun así se han realizados investigaciones y posteriores experimentos en el cantón Guayas, donde se ha demostrado exitosamente que en nuestro país es posible producir y aplicar azolla en los cultivo de manera sustentable y lo más importante de forma orgánica. Se estima que cada dos días se duplica la cantidad cultivada, por lo que recomiendan aplicar 100 metros cuadrado de azolla en una hectárea de cultivo de arroz, en un mes cubrirá toda el área del cultivo fijando nitrógeno y evitando el crecimiento de malezas (Armijos 2010).

1.5.2 Azolla como fertilizante orgánico:

El potencial de simbiosis de la Azolla es una de las razones por la que se la usa como fertilizante orgánico en varios países de América y en Asia, en mayor medida aplicado en cultivos de arroz (*Oryza sativa*) por inundación, esto a causa de que este helecho alberga en la cavidad de sus hojas a la cianobacteria Anabaena, la cual fija nitrógeno del aire y puede llegar a producir 1200 kg de nitrógeno por hectárea en condiciones adecuadas del ambiente, el cual se lo aplica al área de cultivo realizando la técnica de voleo, según la literatura internacional, la Azolla aporta más de la mitad del nitrógeno necesario que requiere el cultivo de arroz. La biomasa que es capaz de producir Azolla es equivalente a la concentración del fertilizante al igual que su contenido de proteína (Efrén 2017).

Según (Castro 2002): La Azolla contiene alrededor de 4.5% de nitrógeno, 0.5% de fósforo, 1.2% de potasio, 0.5% de carbono, 0.5% de magnesio y 0.1% de hierro asimilable, los mismos que serán aprovechados una vez que cumpla su ciclo de vida, favoreciendo también a la calidad del agua y suelo. La fijación de nitrógeno que realiza la simbiosis, varía según la especie de Azolla, también influyen los factores externos del ambiente sobre la cantidad de biomasa que se podrá producir. De poder fijar la planta mucho nitrógeno, su tasa de crecimiento se incrementará dando como resultado abundante materia rica en Nitrógeno. Este helecho también puede influenciar en la temperatura del agua, ya que al cubrir la superficie acuífera del cultivo no permitirá que ingresen los rayos del sol y por ende su calentamiento para evitar su evaporación; gracias a esto se reduce la volatilización del amonio y se genera una mejor asimilación del elemento

1.5.2.1 Simbiosis Anabaena-Azolla:

Sevillano (2004) indica que, la asociación de la bacteria *Anabaena* con el helecho *Azolla*, es la única simbiosis conocida entre una cianobacteria y una pteridofita estando distribuida ampliamente en aguas tropicales dulces y templadas por todo el planeta.

Esta bacteria es un simbiote extracelular que reside en las cavidades disponibles en las hojas de la *Azolla*, en donde tiene acceso a protección química y física; al mismo tiempo que obtiene un aporte de compuestos de energía y nutrientes mineralizados. En cambio, el helecho recibe la disponibilidad de usar sustancias nitrogenadas elaboradas sintéticamente por la bacteria.

Los filamentos de *Anabaena*, se asocia durante todas las etapas del desarrollo de la *Azolla*, se encuentran ya alojadas en el primordio floral, en cuanto crece la hoja los filamentos algales quedan encerrados en las cavidades creadas en la cara del lóbulo dorsal, cerca de la base. Estas cavidades poseen una diminuta abertura en el centro de las hojas jóvenes conecta con el exterior y estas cubiertas por células epidérmicas, de las que sobresalen pelitos pluricelulares en todas las etapas de desarrollo. En hojas juveniles, la cianofícea llena la cavidad dispuesta en la hoja, estableciendo en su interior una distribución periférica, sobre una capa de mucílago que la tapiza con anterioridad y que presuntamente es segregado por los pelitos.

Pero finalmente, la cavidad se cierra dejando el alga completamente protegida de los agentes exteriores, cabe indicar que aún no existe prueba de que la cianobacteria salga de su cavidad durante el envejecimiento del helecho, pero si se aprecia que antes de morir el área foliar, se reduce el número de células algales las mismas que aparentan enfermedad y un cambio de pigmentación.

Gracias a la capacidad de fijar nitrógeno de esta simbiosis se le facilita mucho su desarrollo en áreas carentes o con poco nitrógeno combinado, cuando se separa la planta de esta cianobacteria, se puede comprobar que la *Azolla* es incapaz de desarrollarse en un medio con deficiencia de nitrógeno combinado o asimilable e incluso si la superficie cuenta con abundante nitrógeno, el crecimiento de las plantas siguen siendo inferior en relación a las que están en

simbiosis con la cianobacteria, es por esto que se concluye que Anabaena es capaz de suministrar a su hospedante todo el nitrógeno que esta llegue a requerir para alcanzar su estado de madurez.

La simbiosis del helecho Azolla y la cianobacteria Anabaena, es por lo tanto un eficaz fijador de nitrógeno del aire, a su vez que muestra características sobresalientes como una sencilla propagación, veloz desarrollo, alta producción de hojas con abundante contenido de nitrógeno, una descomposición rápida y, por último, no es vector, ni transmisor de enfermedades a cultivos por lo que es muy útil como fertilizante orgánico.

1.5.2.2 Azolla aplicado al cultivo de arroz:

En Ecuador, el arroz es un cultivo clave para el desarrollo agrícola, involucrando alrededor de 140 000 familias en su producción y comercialización. Además, ocupa una mayor superficie que cualquier otro cultivo en el país; es necesario indicar que la mayoría de los cultivos el arroz necesita de nitrógeno para su desarrollo y producción, por lo cual una alternativa innovadora es la azolla, la misma que produce biomasa nitrogenada que al ser aplicado al suelo fija este elemento y va a restituir el nitrógeno para poder dar un crecimiento adecuado sin la necesidad de Urea. En pruebas realizadas por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y el Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales (ICQA) se pudo comprobar que en invierno se puede generar un aumento del 40% en producción, comparado con los testigos, aplicando un total de 40 000 kg de azolla fresca por hectárea, pero en contraparte en verano no hubo mucha varianza en la producción entre tratamientos llegando a menos del 5% (Mariano 2005).

1.5.3 Azolla como biorremediador del agua :

Un biorremediador puede definirse como una práctica tecnológica sustentable que se apoya en la implementación de plantas para mitigar o eliminar la presencia de contaminantes presentes, ya sea en el agua, aire o suelo, en este caso agua.

Por causa de los aumento de la población mundial, el crecimiento industrial y de monocultivos intensivos, se han liberado grandes cantidades de contaminantes al ecosistema, empobreciendo los cuerpos de agua, por esto se vuelve de vital importancia el desarrollo de nuevos métodos de biorremediación con el fin de reducir su contaminación y deterioro.

En Ecuador es sumamente importante implementar tecnologías de biorremediación porque hay un crecimiento de industrias que desechan o expulsan metales contaminantes por medio de sus sistemas de aguas residuales, se debe tomar en cuenta que siendo un país “en vías de desarrollo” hay que utilizar métodos económicos y de carácter social, lo que no debería ser una dificultad por ser un país mega diverso y con climas y aguas aptas para cultivar azolla. Además, este método aprovecha los procesos bioquímicos que son realizados por el alga y la cianobacteria asociados en su sistema radicular que resultan en la absorción de metales presentes en el agua, ingresando estos por la planta y siendo acumulados en su interior, cabe resaltar que esto inhibe el desarrollo de la planta, no obstante, se puede eliminar metales pesados como el cobre, níquel, zinc, cromo, etc. Posteriormente se debe retirar las plantas con metales en su interior de la superficie de agua, esto se vuelve una tarea mucho más fácil porque se trabaja con materia sólida, esto ayuda a eliminar la toxicidad del agua causada por metales orgánicos contaminantes que dañan tanto la fauna marina y a los que la consumen(Lara 2011).

1.5.3.1 Contaminación de agua en Ecuador por metales.

La causa más grande por la que existe contaminación del agua por metales es la minería ilegal y artesanal. La provincia del Oro es uno de los vectores receptores de los desechos mineros que contamina a ríos cercanos a causa del mal uso de minerales, provocando su reducción y lixiviación en las piscinas lo que conlleva a que sean relavados antes de llegar al río Puyango, sin embargo, ante todo esto el agua de este río siga teniendo metales pesados (Ovied-Anchundia 2017).

1.5.3.2 Capacidad de absorción de metales:

En un proyecto de investigación realizado en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, en el cual se procedió a medir la capacidad de absorción de una planta de azolla colocada en una solución de sulfato de cobre y mediante espectrofotometría, se determinó que el valor de absorción de las muestras, 10 días antes y 10 días después del tratamiento, se comprobó que las algas absorben iones de cobre en concentraciones altas, estimando que la azolla requiere de cierta concentración (1.25M en este caso) en el medio para empezar a absorber este y otros metales como el cadmio, mercurio, etc. mientras que su peso disminuía entre 14-34%, esto en relación a los metales, considerando que cuando la azolla almacena metales en su interior, inhibe su crecimiento (Roger 2015).

1.5.4 Azolla como biorremediador del suelo:

El uso de la azolla como reemplazo de fertilizantes inorgánicos nos da como resultado una aplicación más controlada del nitrógeno que se asimila en las plantas del cultivo, ya que al ser orgánico, este no se transloca por los niveles del suelos y no es toxico al ambiente, evitando así el empobrecimiento de los suelos ; en suelos parcialmente degradados, gracias a la aplicación de azolla que contiene materia orgánica y nitrógeno de forma natural se puede ayudar a su recuperación a sus niveles de fertilidad de estos suelos; el uso de este abono es más rentable que usar fertilizantes inorgánicos y aporta más nitrógeno que estos, se puede llevar a cabo los cultivos con éxito con un menor umbral económico. A parte de eso se suma que el carácter de azolla para absorber metales (solo si existe una lámina de agua con la altura adecuada sobre un suelo) tales como el cobre, la planta podrá eliminarlos de la superficie dando otra alternativa orgánica de uso.

Para llevar a cabo una práctica de biorremediación se necesita de recursos naturales ya que su base para actuar es siempre un organismo biológico, esto está relacionado a la sustentabilidad, porque el material vegetal que produce azolla se genera en periodos relativamente cortos, dando seguridad a la disposición de materia verde, la biorremediación influye en contrarrestar problemas de salud generado al ser humano y también la degradación de ecosistemas (Jennyfer 2017).

La azolla puede tolerar condiciones de salinidad y contaminación si esta crece en un sustrato que presente materia orgánica y un pH aproximado de 6.47; la producción de biomasa de azolla se puede potencializar si recibe directamente los rayos del sol diariamente, teniendo un estimado de duplicar su masa vegetativa en aproximadamente 3 días (Intriago 2017).

1.5.4.1 Contaminación del suelo por fertilizantes inorgánicos:

La contaminación de suelo hace referencia a que existe un elemento o sustancia química fuera de lugar y que su concentración sea mayor a lo normal por lo que se generan efectos adversos en los organismos para los que no están destinados; es muy difícil medir o establecer un nivel de contaminación en el suelo ya que no puede ser estudiado directamente por eso se lo denomina peligro oculto. El suelo se degrada gravemente si presenta contaminación entorpeciendo los procesos del ecosistema en los que en él se desarrollan. El excesivo uso de fertilizantes en el suelo o su mala aplicación es el principal promotor de problemas ambientales relacionados con el agro; a parte puede producir la salinidad de los suelos, al almacenamiento de metales pesados y nitrato no solo en suelo también en el agua (Rodríguez, 2019)

1.5.4.2 Ventajas y limitaciones de la biorremediación:

La aplicación de técnicas de biorremediación es una actividad que presenta una serie de ventajas y desventajas si es comparada con otras tecnologías ya comunes en el medio, pero la biorremediación es el método a largo plazo y es el más útil para ser llevados a cabo en grandes superficies que contengan contaminantes en su mayoría inmóviles o de bajo nivel.

Según López (2011), las ventajas y desventajas del uso de la azolla para la biorremediación son las siguientes:

Ventajas:

- Se realiza in situ y en ex situ

- No es necesario trasportar el sustrato contaminado evitando su diseminación.
- Es una práctica sustentable.
- Funciona tanto en contaminantes orgánicos e inorgánicos.
- Es económico.
- No consume energía.
- Se puede realizar a base de prácticas agrarias convencionales.
- No daña al ambiente.
- Impacta sobre el suelo de forma positiva, recuperando propiedades nutricionales ya que forma una cubierta verde.
- No requiere de excavaciones ni maquinaria.
- Recicla recursos sin dificultades.
- La azolla tiene la asombrosa capacidad de contribuir a un cambio climático perdurable.

Desventajas:

- Se limita a lugares que tengan contaminación superficial que estén al alcance de las plantas.
- El desarrollo de las plantas se ve entorpecido y limitado por las concentraciones toxicas.
- Hay posibilidad de que si se acumula mucho contaminante en el área foliar este sea devuelto al ambiente.
- Si se incrementa la solubilidad de ciertos contaminantes esto produciría que tengan la posibilidad de migrar.
- No todas las plantas toleran y acumulan los contaminantes.
- Hay la posibilidad de que favorezca a la diseminación de plagas en medio acuáticos.
- Es muy complicado de erradicar por lo que solo se debe cultivar en áreas específicamente destinadas para este propósito.
- Puede matar a toda la fauna marina que se encuentre debajo de ella ya que al formar un manto o tapiz sobre el agua.

1.5.5 Azolla como suplemento nutricional para ganado:

Una dificultad del sector ganadero en la actualidad es su rentabilidad, ya que los costes de la alimentación del ganado son altos, pero la azolla es una fuente proteínica natural reemplazando a los suplementos químicos que son costosos, nutricionalmente contiene alrededor de un 40 de material nutricional, azolla se puede suministrar de manera seca o húmeda y además tiene una alta palatabilidad por lo que los animales no la rechazan (vacas, caballos, cerdos y gallinas), para no alterar la alimentación se debe dar a diario en lo posible. Además, como valor nutricional la azolla contiene niveles altos de arginina y treonina proveyendo de nutrientes a los animales en lugar de solo energía como lo hace los desechos, residuos de cosecha o lavazas los cuales limitan el desarrollo del ganado (Rosales 2006).

1.5.6 Origen y especies:

La azolla tiene su origen en América del norte y en Centroamérica, introduciéndose en zonas tropicales hallándose también en Africa, Europa y Asia. Existen varias especies de fósiles que nos indican que este helecho pertenece a un grupo muy antiguo con características pioneras en el desarrollo de la vegetación confinando aparición el periodo cenozoico. Según Espinoza (2005), de la planta de azolla se conoce solo 7 especies las cuales son y pertenecen:

- Azolla nilótica originaria a norte de África.
- Azolla filiculoides originaria entre Sudamérica central y norte América occidental.
- Azolla pinnata originaria en Asia y costas de África tropical.
- Azolla caroliniana originaria de norte América oriental y Caribe.
- Azolla mexicana originaria de Sudamérica septentrional y norte América occidental.
- Azolla microphylla originaria de América tropical y subtropical.
- Azolla japónica originaria de Japón.

Todas estas especies se han esparcido por todo el globo gracias al hombre, porque se lo ha introducido de forma indiscriminada de un medio a otro.

1.5.7 Cultivo de la Azolla.

Montero (2011) indica que:

Para el cultivo de azolla se necesita un área donde se encuentre o se pueda establecer un cuerpo de agua y debe recibir al menos 6 horas de luz directa al día, se sabe que la azolla puede crecer en contenedores pequeños, pero esto no es óptimo para cultivo porque resulta una producción de masa vegetal muy pobre

Para poder producir entre 15 a 25 kg de azolla semanalmente se necesita construir o disponer de un estanque de 2 metros de ancho por 6 metros de largo, dependiendo del tipo de suelo deberemos usar o no un plástico para retener el agua, se debe considerar que no es recomendable cultivar azolla en criaderos de peces ya que pueden perecer los peces si la alga cubre el estanque asfixiándolos. Se pueden utilizar los criaderos de peces para cultivar la azolla, siempre y cuando no haya peces en ese momento.

El fondo del estanque debe ser plano y uniforme, se tiene que utilizar un plástico de 8mm el cual dura alrededor de 10 años, dependiendo del uso y su cuidado. El sustrato extraído se usa para sostener el plástico que se encuentra sobre los bordes de este y también para rellenar la superficie del estanque, el cual debe tener 10 cm de altura y la tierra más fértil porque la azolla no solo se alimenta de la simbiosis con la cianobacteria, también absorbe nutrientes disueltos en el agua que serán suministrados por el sustrato en cuestión, además se adiciona 20 kg de abono orgánico y a ellos se los cubre con otros 10 cm de tierra, todo esto para tener una micro fauna marina amplia.

El estanque se llena con cualquier tipo de agua, exceptuando las aguas saladas de mar, debido a que la azolla no es tolerante a ella, una vez que se siembra (se la arroja sobre el agua) la azolla se cosecha de entre 15 a 20 días después.

Al momento de la cosecha se debe ser muy cuidadosos con el tiempo, si no cosechamos en ese tiempo, la azolla se muere y pierde su contenido nutricional. En estanques de 2m x 6m se lo realiza semanalmente, mientras que en superficies muy grandes es recomendable cosechar cada 2 días.

Por último, es importante conocer las condiciones ambientales en las que desarrolla la azolla, tolera temperaturas entre 5 a 28 grados centígrados, pero no resiste estar en aguas muy frías, por eso solo se cultivan en áreas donde el agua no presenta temperatura muy bajas o en ambientes de climas controlados (invernaderos). Por otro lado, también son afectadas si la temperatura llega a ser mayor de 30°C. Toleran muy bien pH entre 5.5-8.0, mientras no existan cambios violentos

1.5.8 Riesgos biológicos de la azolla:

La azolla se la define como una planta invasora porque esta no deja de crecer hasta que cubre en su totalidad una superficie de agua; puede reproducirse de manera sexual por esporas y asexual que la realiza por fragmentos este último dato estima que, aunque se elimine la capa superficial en un cuerpo de agua hay una probabilidad de que la población sobreviva por fragmentos residuales. Esta planta que cubre lagunas y espejos de agua completamente, es muy complicado de erradicar por lo que solo se debe cultivar en áreas específicamente destinadas para este propósito, en países como España está prohibido su siembra y propagación porque representa una gran amenaza para las especies autóctonas, los ecosistemas y el hábitat; las plantas del género azolla pertenecen al catálogo de especies invasoras en el país europeo, siendo establecido en el año 2013 aprobado por el real decreto (Namesny 2018).

Una idea real del daño que puede ocasionar al ecosistema por el uso irresponsable de azolla es el evento que tuvo lugar hace 49 millones de años en el que hoy en día está el océano ártico, en ese entonces esa parte del océano contenía agua dulce, adecuada para el desarrollo del helecho por lo que este cubrió un aproximado de 4 millones de kilómetros cuadrados y se estima que esta población tuvo una longevidad de casi 1 millón de años. Lo que ocurrió en

este periodo de tiempo fue que la azolla fijó inmensas cantidades de dióxido de carbono (gas de efecto invernadero) enfriando el planeta, pero luego cuando el agua en que se alojaba se volviera salada, los helechos perecieron en masa y liberaron los gases que habían almacenado en su interior provocando nuevamente el calentamiento del global, pero curiosamente el calor resultante era menor al que había antes de que se diera este gran evento natural; azolla tiene la asombrosa capacidad de contribuir a un cambio climático perdurable (Portela, 2017)

Una parte que no se debe olvidar y seguro es la más fácil de identificar es que al cubrir de una manera tan agresiva y descontrolada de azolla, también puede matar a toda la fauna marina que se encuentre debajo de ella ya que, al formar un manto o tapiz sobre el agua, los rayos del sol no pueden penetrar y el agua no se oxigena por eso se debe usar solo en áreas específicas de cultivo llamada azollares y de manera responsable.

1.5.9 Morfología

Según Isaac (2011), la morfología de la Azolla es la siguiente:

Posee un helecho que presenta rizomas lo que quiere decir que posee la función de nutrición y de reproducción, no produce flores como todos los helechos tampoco da lugar a semillas, se reproduce a través de esporas y mediante fragmentos.

Sus raíces son adventicias, emergen de manera endógena con pelitos radiculares y pueden medir dependiendo de la especie entre 1-5 cm a 11cm.

El tallo es ramificados y profuso, cubierto de hojas alternas bilobuladas, en la que cada una dispone de un lóbulo ventral aclorofílico que se sumerge y otro dorsal que aloja la cianobacteria *Anabaena azollae*.

En algunas instancias, también presenta pigmentos antocianinicos, que le da una tonalidad rojiza y caramelo al helecho (color que puede estar relacionada con la fertilidad del cuerpo de agua, polución o exagerada exposición a la luz).

La azolla tiene estomas que se encuentran formados en hileras con orientación vertical sobre ambos lóbulos antes mencionados, estos pasan de estar compuestos de dos células individuales a una sola, provista de un solo poro en el centro (célula anular).

Sus área foliar está compuesta por hojas triangulares que flotan en el agua y estas pueden medir de 1 a 2.5 cm en el caso de azolla pinnata, pero si se trata de azolla nilótica medirán aproximadamente 11 cm.

1.5.10 Taxonomía de la azolla.

Según Isajar (2014), la taxonomía de la azolla es la siguiente:

- Dominio: Eucariota
- Reino: Plantae
- División: Pteridophyta
- Clase: Polypodopsida
- Orden: Salviniiales
- Familia: Azollaceae
- Género: Azolla

1.6 Hipótesis

Para plantear la hipótesis se tomó un enfoque de causalidad y se llegó a:

- **Hi:** La implementación de azolla como biofertilizante ayuda a mejorar la fertilidad del suelo, la calidad de agua y aumenta la producción de cultivos.
- **Ho:** La implementación de azolla como biofertilizante no ayuda a mejorar la fertilidad del suelo, la calidad de agua y no aumenta la producción de cultivos.

1.7 Metodología de la investigación

Para desarrollar el presente documento se revisó información de sitios web, artículos científicos, tesis, reportes de investigación, revistas online, documentos y libros web, los que fueron analizados y resumidos enfocado a los usos y efecto de la azolla en el suelo, agua y cultivos.

No se realizaron ningún tipo de encuesta o tarea presencial a causa de la pandemia provocada por el Covid-19.

CAPITULO II

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Desarrollo del caso

Este documento fue elaborado con el fin de conocer e identificar las características e importancia que hacen de azolla, un recurso natural capaz de ayudar a mitigar los problemas que se presente en los suelos del Ecuador, debido al uso intensivo y su exposición a grandes cantidades de nitrógeno, el mismo que al no ser asimilado en su totalidad se filtran al subsuelo llegando a contaminar los acuíferos. Por otro lado, también se busca determinar si esta alga mejorar la calidad del agua a través de su uso como biofertilizante en cultivos o simplemente como biorremediador.

2.2 Situaciones detectadas (hallazgo)

Las situaciones que fueron detectadas en la recopilación de información sobre la azolla son las siguientes:

a. La azolla si funciona como biorremediador del suelo, pero en cultivos de inundación:

En el transcurso de la investigación bibliográfica se detectó que el suministro de azolla a un cultivo de inundación tiende a mejorar la calidad del suelo en el que este se desarrolla porque al reemplazar fertilizantes inorgánicos con Azolla no se contaminan los acuíferos, dota al suelo de los nutrientes y no genera desbalance de elementos.

b. La azolla puede mejorar la calidad del agua:

Se puede comprobar que la azolla tiene la capacidad de absorber los iones de los metales contaminantes presentes en el agua como el cobre, con un

porcentaje de cambio entre el 28 al 34% en una concentración de 1.25 M de sulfato de cobre. Ecuador necesita crear métodos tecnológicos basados en plantas capaces de funcionar como hiper acumulador de metales que posee el agua, siendo la opción más recomendable la Azolla, siempre y cuando se dé un manejo responsable y en sitios específicos. Es una opción socio-económica que tiene potencial.

c. La producción y aplicación de azolla es una actividad sustentable.

El cultivo de azolla en zonas tropicales es una realidad, este trabajo investigativo indica de varios ensayos realizados en Ecuador, demostrando que el helecho tolera nuestros climas y aguas (Guayas, Quito, el Oro por dar unos ejemplos), quedando en evidencia que su producción no es costoso y que efectivamente genera suficiente biomasa para las diferentes aplicaciones que se le puede dar; es una fuente valiosa de abono orgánico para mejorar la fertilidad de los suelos, además de ser un alimento proteínico.

d. Azolla, fuente de proteína para ganado:

La azolla gracias a la simbiosis con *Anabaena Azollae* tiene la capacidad de fijar nitrógeno a sus raíces, por lo que logra un excelente desarrollo vegetativo en poco tiempo, favoreciendo el contenido de nutrientes y producción de biomasa el cual puede ser usado como sustituto de los balanceados químicos que usualmente se suministran a los animales de crianza (vacas, caballos, cerdos, gallinas e incluso a peces). Este aporte alimenticio es más económico y con mayor o igual contenido nutricional.

2.2 Soluciones planteadas

Para solucionar la problemática de calidad de suelo y de agua se plantea las siguientes soluciones:

- Reducir o reemplazar los fertilizantes inorgánicos (nitrogenados), en cultivos de arroz por siembra controlada de azolla para mejorar la calidad del agua y del suelo, reduciendo de esta forma la contaminación en los acuíferos y la superficie del suelo a causa de las aplicaciones continuas de nitrógeno químico.
- Socializar la importancia de la azolla como biofertilizante y alimento nutricional a nivel nacional a los agricultores y ganaderos rurales enfatizando que es una práctica económica y sustentable, pero de manejo responsable.
- Desarrollar prácticas tecnológicas controladas que permitan la limpieza de los metales del agua a media o de ser posible a gran escala con el uso de azolla.

2.3 Conclusiones

De acuerdo con la síntesis de la información recopilada podemos concluir que:

- La Azolla es una planta de gran importancia al momento de ser utilizada como biorremediador de agua y suelo, por su capacidad de absorción de los metales pesados como el cobre, zinc, cromo, cadmio etc. De los cuales se absorben en cantidades de 600nm a 850nm.
- Puede ser cultivada sin mayor dificultad en pequeños cuerpos de agua con cierto contenido nutricional y que su producción de biomasa puede ser capaz de duplicarse entre 2 a 3 días si las condiciones ambientales lo permiten.
- La azolla para poder ser cultivada y resulte eficiente, necesita de una lámina de agua para su desarrollo y funcionalidad, considerando que si el suelo está seco tiene alta probabilidad de no hacerlo, lo que permite afirmar la hipótesis de que la azolla ayuda a mejorar la calidad de agua y

del suelo, no obstante, solo puede asegurar el aumento de producción en cultivos que se realicen por inundación como lo es el arroz.

- La azolla es una alga de alto riesgo ambiental si no se la cultiva de manera responsable, porque es una planta capaz de matar toda la fauna marina a causa de cubrir totalmente la superficie del agua. Su uso debe ser controlado.

A través de investigaciones realizadas se puede entender que en Ecuador si existe conocimiento y prácticas de trabajos con azolla, pero solo con fines investigativos, mas no se ha hecho el intento de inculcar a los agricultores arroceros a nivel nacional para que utilicen esta planta productora de biomasa como alternativa de los fertilizantes de casas comerciales por su alto riesgo de descontrol.

2.4 Recomendaciones

- Se recomienda planificar y realizar labores de extensionismo, de manera racional y responsable a nivel nacional para inculcar el cultivo de azolla a productores de arroz por inundación, con el fin de mejorar los suelos y acuíferos en áreas degradadas.
- Desarrollar nuevos métodos tecnológicos de biorremediación de agua en base a Azolla y aplicarlos en fuentes de agua que contengan la mayor polución por metales tóxicos y que sean controlados.
- No producir azolla en ríos o lagos, estos son muy invasores y deben ser manipulados con mucha responsabilidad.

BIBLIOGRAFÍA.

- Armijos, M. d. (2010). *Ecosistema Guayas (Ecuador): Recursos, Medio*. guayas: UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE DEPARTAMENTO DE AGROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE.
- Castro, R. (18 de 06 de 2002). *redalyc.org*. Obtenido de Redalyc:
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193218135001.pdf>
- Efrén, A. D. (21 de 10 de 2017). *dspace.edu.ec*. Obtenido de Dspace:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12941/1/T-UCE-0016-010.pdf>
- Espinoza, Y. (28 de 03 de 2005). *reseachgate.net*. Obtenido de Research Gate:
https://www.researchgate.net/profile/Yusmary_Espinoza/publication/28128795_Caracterizacion_agronomica_de_acciones_de_Azolla_de_Venezuela/links/5443cc9e0cf2e6f0c0fb9888.pdf
- Intriago, L. R. (2017). *Comportamiento de la azolla (Azolla spp.) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo*. canton Pasaje, provincia del Oro: Revista Cumbres Vol.3 N°2.
- Isaac, C. C. (11 de 01 de 2011). *repositorio.uta.edu.ec*. Obtenido de Repositorio uta:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/2137/1/1073.pdf>
- Isajar, M. L. (12 de 07 de 2014). *bdigital.unal.edu.co*. Obtenido de Bdigital:
<http://bdigital.unal.edu.co/49682/1/Tesis%20Final.pdf>
- Jennyfer, M. G. (11 de 08 de 2017). *scielo.org.co*. Obtenido de scielo :
<http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v19n2/0124-7107-reus-19-02-00309.pdf>
- Lara, J. L. (14 de 12 de 2011). *dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de Dspace:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5046/1/UPS-QT02529.pdf>
- Lopez, A. E. (10 de 01 de 2011). *Scielo.org.mx*. Obtenido de scielo :
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Mariano, M. A. (25 de 10 de 2005). *pdfs.semanticsholar.org*. Obtenido de pdfs semantic scholar:
<https://pdfs.semanticscholar.org/2cbc/e31b58f99ae1ad6e54e36fa8137c74e882ea.pdf>
- Monteros, R. J. (23 de 02 de 2011). *dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de Dspace:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1830/12/UPS-YT00098.pdf>
- Namesny, A. (30 de 09 de 2018). *tecnologia horticola.com*. Obtenido de Tecnologia horticola:
<https://www.tecnologiahorticola.com/sistema-fijador-nitrogeno-vetado-por-riesgos-medioambientales/>
- Natalia Rodríguez Eugenio, F. (01 de 07 de 2019). *fao.org*. Obtenido de fao:
<http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Ovied-Anchundia, R. (02 de 04 de 2017). *revistabionatural.com*. Obtenido de revista bionatural:
<https://www.revistabionatura.com/files/2017.02.04.5.pdf>

- Portela, R. (06 de 06 de 2017). *ciencia y biologia.com*. Obtenido de ciencia y biologia :
<https://cienciaybiologia.com/azolla-helecho-agua/>
- Reyes, A. P. (03 de 11 de 2013). *repositorio.uta.edu.ec*. Obtenido de repositorio/bitstream:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6636/1/BQ%2045.pdf>
- Roger, B. C. (09 de 12 de 2015). *slideshare.net*. Obtenido de Slide Share:
<https://es.slideshare.net/KatherynPisfilColcha/evaluacion-de-la-planta-helechito-de-agua-azolla-filiculoides-comofitorremediador-sobre-aguas-contaminada-con-cobre>
- Rosales, A. (25 de 08 de 2006). *orbi.uliege.be*. Obtenido de orbi/stream:
<https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/32746/1/Valor%20nutricional%20de%20las%20plantas%20acuaticas.pdf>
- Sevillano, F. (19 de 02 de 2004). *digital.csic.es*. Obtenido de digital bitstream:
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/85747/1/La%20asociaci%C3%B3n%20simbi%C3%B3tica%20fijadora%20de%20nitr%C3%B3geno%20atmosf%C3%A9rico%20Azolla-Anabaena.pdf>