

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación

Producción de lenteja de agua (*Lemna minor* L.) bajo condiciones no controladas en la unidad de acuicultura de la Escuela Agrícola Panamericana

Estudiante

Bairon David Escobar Colindres

Asesores

Patricio E. Paz, Ph.D.

María Alexandra Bravo, M.Sc.

Honduras, julio 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Anexos.....	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Materiales y Métodos.....	11
Ubicación	11
Descripción del Estudio.....	11
Descripción de los Tratamientos.....	11
Variable Analizada en Producción	12
Tasa Relativa de Crecimiento-TRC-(g/día/g).....	12
Propiedades Físicas y Químicas Analizadas	12
pH.....	12
Amonio (NH ₄ ⁺).....	12
Oxígeno Disuelto.....	13
Temperatura (°C)	13
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	13
Resultados y Discusión.....	14
Variabes Analizadas en Producción	14
Tasa Relativa de Crecimiento (TRC)	14
Propiedades Físicas y Químicas Analizadas	15
pH.....	15
Amonio.....	15
Oxígeno Disuelto.....	16
Temperatura	18

	4
Conclusiones	20
Recomendaciones	21
Referencias.....	22
Anexos.....	24

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Descripción de los tratamientos en la producción de lenteja de agua (<i>Lemna minor</i>) bajo condiciones no controladas en la Escuela Agrícola Panamericana.	11
Cuadro 2 Efecto de diferentes densidades de siembra en la tasa relativa de crecimiento de <i>Lemna minor</i>	14
Cuadro 3 Efecto de diferentes densidades de siembra sobre el pH del agua.	15
Cuadro 4 Efecto de diferentes densidades de siembra sobre el amonio del agua.....	16
Cuadro 5 Efecto de diferentes densidades de siembra sobre el oxígeno disuelto en el agua por la mañana.	17
Cuadro 6 Efecto de diferentes densidades de siembra sobre el oxígeno disuelto en el agua por la tarde	18
Cuadro 7 Efecto de diferentes densidades de siembra en la temperatura del agua por la mañana. .	19
Cuadro 8 Efecto de diferentes densidades de siembra en la temperatura del agua por la tarde.....	19

Índice de Anexos

Anexo A Medidor de pH de bolsillo de alta precisión.....	24
Anexo B Kit de prueba de amoniaco.....	25
Anexo C Medidor de oxígeno disuelto YSI Pro20A	26
Anexo D Medición de Parámetro de Amonio	27

Resumen

El objetivo del experimento fue determinar la densidad de siembra óptima para mejorar los desempeños de producción de la lenteja de agua (*Lemna minor* L.). Asimismo, se evaluó la tasa relativa de crecimiento y propiedades físicas y químicas del agua como el pH, amonio, oxígeno disuelto y temperatura del agua. El experimento se realizó durante un periodo de 28 días. Los tratamientos consistieron en tres densidades de siembra (20, 30 y 50 g/m²) con tres repeticiones por tratamiento. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA). Los resultados se analizaron mediante un ANDEVA y una prueba de rango múltiple de Duncan en el programa SAS v9.4. Las diferentes densidades de siembra no mostraron diferencias para la tasa relativa de crecimiento, sin embargo, provocaron diferencias en las propiedades de temperatura y oxígeno disuelto. En la variable de oxígeno disuelto presentaron mayores niveles las densidades de siembra de 20 g/m² y 30 g/m², a diferencia de la densidad de 50 g/m², la cual obtuvo los niveles más bajos únicamente por la mañana y en el día cero por la tarde, nivelándose a lo largo de los 28 días de producción. En la variable de temperatura las diferentes densidades de siembra presentaron niveles similares por la mañana y tarde, caso contrario de la densidad de 20 g/m², la cual presentó niveles más bajos únicamente por la tarde en el día quince y por la mañana en el día 28.

Palabras clave: Oxígeno disuelto, tasa relativa de crecimiento, temperatura,

Abstract

The objective of the experiment was to determine the optimum planting density of duckweed (*Lemna minor* L.) and its effect on production performance, relative growth rate and physicochemical properties of the water such as pH, ammonium, dissolved oxygen and water temperature. The experiment was conducted over a period of 28 days. The treatments consisted of three planting densities (20, 30 and 50 g/m²) with three replicates per treatment. A completely randomized design (CRD) was used. Results were analyzed via an ANOVA and Duncan's multiple range test with SAS v9.4. The different planting densities did not show differences for relative growth rate, however, they caused differences in temperature and dissolved oxygen properties. In the dissolved oxygen variable, the 20 g/m² and 30 g/m² planting densities presented higher levels, unlike the 50 g/m² density, which obtained the lowest levels only in the morning and on day zero in the afternoon, leveling off throughout the 28 days of production. In the temperature variable, the different planting densities presented similar levels in the morning and afternoon, the opposite was the case for the 20 g/m² density, which presented lower levels only in the afternoon on day 15 and in the morning on day 28.

Keywords: Dissolved oxygen, relative growth rate, temperature.

Introducción

La lenteja de agua (*Lemna minor* L.) es un género de plantas acuáticas flotantes de la subfamilia Lemnoideae, familia Araceae (antes conocida como familia Lemnaceae) y pertenecientes a las monocotiledóneas (Tache Rocha 2020). En el estudio de Garcia Llorens (2020), se dice que 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 progenitor. La planta puede desarrollarse en un rango amplio de temperaturas, que varía entre 5 y 30 °C, con un crecimiento óptimo entre los 15 y 18 °C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación. Crece rápidamente en partes calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos (Arroyave 2004).

Cuando las condiciones son ideales, en términos de temperatura del agua, pH, luz incidente y concentraciones de nutrientes, compiten en términos de producción de biomasa con las plantas terrestres fotosintéticas más vigorosas duplicando su biomasa entre 16 horas y dos días, dependiendo de las condiciones (FAO 2004).

La lenteja de agua como otras plantas acuáticas es un recurso altamente productivo de biomasa con alto valor proteínico y pueden constituirse en un complemento ideal en la alimentación de animales domésticos. Alcanza niveles de proteína hasta de un 38% de su biomasa. Este contenido proteínico, junto con su alta palatabilidad y su facilidad de suministro, la hace ideal para alimentación de cerdos, aves o ganado (Arroyave 2004). Grandes empresas como Lentein™ utilizan la lenteja de agua como fuente renovable de proteína concentrada para el consumo humano y la empresa Parabel™ lo utiliza para nutrición animal (Plate Leon 2019).

Esta planta acuática tiene como uso característico el tratamiento de aguas residuales, por su gran adsorción de material orgánico, bajo costo y disponibilidad en cualquier medio. Otro uso que se está investigando es para la obtención de biocombustible por su rápido crecimiento de biomasa (Plate Leon 2019)

En Zamorano la lenteja de agua tiene el potencial de aportar múltiples beneficios al utilizarla en las distintas áreas del campus. Al utilizar la lenteja de agua en las lagunas de oxidación puede disminuir la carga de metales en estas. Las plantas de rápido crecimiento actúan como un sumidero de nutrientes, absorbiendo principalmente nitrógeno, fósforo, calcio, sodio, potasio, magnesio, carbono y cloruro de las aguas residuales. Estos iones luego se eliminan permanentemente del corriente efluente después de la recolección de una parte del cultivo. Dependiendo de las aguas residuales, el cultivo cosechado puede servir como alimento para animales, complemento alimenticio que aporta proteínas y minerales o fertilizante. Sin embargo, es posible que deba descontaminarse antes de alimentar a los animales si hay metales pesados en el agua, ya que la lenteja de agua los concentra (FAO 1995). Puede utilizarse como alimento en materia cruda o procesarla para producción de harina de *Lemna*, sustituyendo las harinas utilizadas en los concentrados como lo son la harina de maíz y de soya. Al remplazar estas harinas disminuiríamos los costos de producción alimentaria.

Este estudio se llevó a cabo un estudio en la Escuela Agrícola Panamericana para encontrar las condiciones óptimas para la producción de lenteja de agua. El estudio se realizó en condiciones no controladas en campo en la unidad de acuacultura y con esto se determinó las mejores condiciones para la producción de lenteja de agua (*Lemna minor* L.). El objetivo general del presente estudio fue Determinar la densidad de siembra óptima para mejorar los desempeños de producción de la lenteja de agua (*Lemna minor* L.) y los objetivos específicos fueron Determinar la tasa relativa de crecimiento de las distintas densidades de siembra de la lenteja de agua y Evaluar el efecto de las diferentes densidades de siembra sobre las propiedades físicas y químicas del agua.

Materiales y Métodos

Ubicación

Este estudio se llevó a cabo entre los meses de mayo y junio en un invernadero ubicado en la estación de acuicultura de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicado en el Valle de Yegüare, municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, a 32 km de Tegucigalpa, Honduras.

Descripción del Estudio

Se evaluó la tasa de crecimiento de distintas densidades de siembra producidas en el invernadero de la unidad de acuicultura de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, con tres tratamientos diferentes. Se utilizaron tres densidades de siembra distintas. Se utilizó lenteja de agua (*Lemna minor* L.) extraída de la laguna de oxidación que luego fue descontaminada en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales para eliminar los microorganismos que pudieran encontrarse en ella. Para su siembra se utilizaron 12 tanques de 20 litros durante un periodo de 28 días.

Descripción de los Tratamientos

Se evaluó el efecto de diferentes densidades de siembra en la tasa relativa de crecimiento. Se tomaron en cuenta los datos obtenidos al día 15 y 28 de las siembras. El Cuadro 1 describe los tratamientos evaluados.

Cuadro 1

Descripción de los tratamientos en la producción de lenteja de agua (Lemna minor) bajo condiciones no controladas en la Escuela Agrícola Panamericana.

Tratamientos	Densidades g/m ²	Descripción
Tratamiento 1	20	Siembra de 20 g/m ² de espejo de agua
Tratamiento 2	30	Siembra de 30 g/m ² de espejo de agua
Tratamiento 3	50	Siembra de 50 g/m ² del espejo de agua

Variable Analizada en Producción

Tasa Relativa de Crecimiento-TRC-(g/día/g)

La Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) se estimó mediante dos cosechas (Lambers y Poorter 1992), la primera a 15 días de iniciado el experimento y la segunda a 28 días. se calculó de acuerdo con Cardillo y Bernal (2006), que mide los cambios en la biomasa de las plántulas a través del tiempo según la ecuación 1:

$$TRC = \frac{BT2-BT1}{T2-T1} \times \frac{2}{BT1+BT2} \quad [1]$$

Donde:

BT1 = Biomasa total inicial

BT2 = Biomasa total final

T1 = Tiempo inicial

T2 = Tiempo final

Propiedades Físicas y Químicas Analizadas

pH

Se midió el pH del agua de cada tratamiento con un medidor de pH de bolsillo de alta precisión BANTE modelo PHscan30S (Anexo A) calibrado con soluciones buffer de 7.00 y 4.01, con precisión de 0.01 pH. Este parámetro fue medido cada tres días durante todo el experimento. Se evaluaron los niveles de pH entre los diferentes tratamientos en el día 0, 15 y 28 del experimento.

Amonio (NH₄⁺)

Se midió el amonio presente en el agua de cada unidad experimental mediante el uso de un Kit de prueba de amonio API® (Anexo B), que mide niveles de amonio de 0 a 8 ppm. Esta variable fue evaluada cada tres días (Anexo D). Se evaluaron los niveles de amonio entre los diferentes tratamientos en el día 0, 15 y 28 del experimento.

Oxígeno Disuelto

Se midió el oxígeno disuelto en el agua de cada unidad experimental dos veces por día, por la mañana a las 07:00 am y por la tarde a la 13:00 pm con un medidor de oxígeno disuelto YSI Pro20A (Anexo C). Se evaluaron las medias de oxígeno disuelto por la tarde y por la mañana en los días 0, 15 y 28.

Temperatura (°C)

Se midió la temperatura del agua de cada unidad experimental dos veces por día, por la mañana a las 07:00 am y por la tarde a la 13:00 pm con un medidor de oxígeno disuelto y temperatura YSI Pro20A (Anexo C). Se evaluaron las medias de temperatura por la tarde y por la mañana en los días 0, 15 y 28.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA), evaluando tres tratamientos en el invernadero de la Estación de Acuicultura Daniel E. Meyer de Zamorano. Se realizaron un total de tres densidades de siembra y cuatro unidades experimentales por densidad. Los resultados se evaluaron en el programa Statistical Analysis System (SAS®) versión 9.4, mediante un ANDEVA y una separación múltiple de medias con la prueba Duncan.

Resultados y Discusión

VARIABLES ANALIZADAS EN PRODUCCIÓN

En el Cuadro 2 se observan los valores obtenidos en la tasa de reproducción. No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en la tasa relativa de crecimiento bajo las distintas densidades de siembra (Cuadro 2). Se presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) en las propiedades físicas y químicas del agua únicamente en las variables de temperatura y oxígeno disuelto.

Tasa Relativa de Crecimiento (TRC)

La Tasa Relativa de Crecimiento no mostró diferencias ($P > 0.05$) entre los tres tratamientos a los 15 y 28 días (Cuadro 2). La TRC, definida como la ganancia de biomasa en el tiempo, es una de las principales variables para el análisis del crecimiento en plantas (Mayo-Mendoza et al. 2018).

Estos resultados fueron diferentes a los de Driever et al. (2005) que mencionan que a bajas densidades de población la TRC se incrementa significativamente, sin embargo, conforme la densidad aumenta la TRC disminuye. Al igual que Espejo-Díaz et al. (2006) concluyen que a menor cantidad de material vegetativo el crecimiento es más acelerado y lo atribuyen a que el área del espejo de agua y la cantidad de nutrientes es proporcionalmente mayor, lo cual disminuye la competencia intraespecífica y aumenta la producción de biomasa.

Cuadro 2

Efecto de diferentes densidades de siembra en la tasa relativa de crecimiento de Lemna minor.

Densidades g/m ²	Tasa Relativa de Crecimiento \pm D.E. ^{NS}	
	Día 15	Día 28
20	0.045 \pm 0.012	0.085 \pm 0.025
30	0.035 \pm 0.021	0.099 \pm 0.004
50	0.028 \pm 0.019	0.089 \pm 0.002
P valor	0.6097	0.4542
C.V. (%)	51.96	16.01
R ²	0.39	0.47

Nota. D.E: Desviación Estándar. ^{NS}: No hay diferencias significativas ($P > 0.05$). CV (%): Coeficiente de variación. R²: Coeficiente de determinación.

Propiedades Físicas y Químicas Analizadas

pH

No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el día cero del experimento, esto corrobora que el agua estaba bajo las mismas condiciones en todas las unidades experimentales en el momento de la siembra. Las diferentes densidades de siembra no presentaron diferencia ($P > 0.05$) en el pH a los 15 días del experimento (Cuadro 3). Al igual que no hubo diferencia para la variable de pH a los 28 días después de la siembra ($P > 0.05$), presentando valores similares entre las tres distintas densidades de siembra (Cuadro 3).

El pH es una medida que nos indica la concentración de iones de hidrogeno en el agua. El pH que influye en la disponibilidad de nutrientes, a través de la mediación de formas inorgánicas de nitrógeno, volatilización de amoníaco y precipitación de fósforo (Beltrán-Rocha et al. 2017). La lenteja de agua puede adaptarse a condiciones de un amplio rango de pH (3-10) (Jaramillo Jumbo y Flores Campoverde 2012).

Cuadro 3

Efecto de diferentes densidades de siembra sobre el pH del agua.

Densidades g/m ²	pH ± D.E. ^{NS}		
	Día 0	Día 15	Día 28
20	7.57 ± 0.03	8.20 ± 0.15	8.70 ± 0.24
30	7.58 ± 0.04	8.08 ± 0.05	8.67 ± 0.08
50	7.57 ± 0.02	8.01 ± 0.06	8.81 ± 0.17
P valor	0.6674	0.2806	0.5698
C.V. (%)	0.39	1.30	1.99
R ²	0.35	0.58	0.41

Nota. pH: Potencial de Iones Hidrógeno. D.E: Desviación Estándar. ^{NS}: No hay diferencias significativas ($P > 0.05$). CV (%): Coeficiente de variación. R²: Coeficiente de determinación.

Amonio

No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el día cero del experimento, esto corrobora que el agua estaba bajo las mismas condiciones en todas las unidades experimentales en el momento de la siembra. De igual forma no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el nivel de amonio al día 15, al

igual que al día 28 que no se presentaron diferencias ($P > 0.05$), se presentaron valores similares entre las diferentes densidades de siembra (Cuadro 4).

El amonio está presente en el agua como resultado de la descomposición de materia orgánica de plantas y animales, diversas actividades industriales, la desaminación microbiana de las proteínas en un proceso denominado amonificación y por ser el principal producto de excreción de los organismos debido a la necesidad de una alimentación con alta concentración proteica (Cárdenas Calvachi y Sánchez Ortiz 2013).

La lenteja de agua tiene una extrema preferencia de consumo por amonio (NH_4^+), lo cual es importante para la síntesis de aminoácidos y proteínas, asociada con un reducido requerimiento de energía para el proceso (Palacios Libreros y Villalobos Urrego 2019). Tiene un mayor crecimiento en concentraciones de amonio entre 3.5 y 20 mg/L, con pH de 7 (Palacios Libreros y Villalobos Urrego 2019).

Cuadro 4

Efecto de diferentes densidades de siembra sobre el amonio del agua.

Densidades g/m ²	Amonio (ppm) \pm D.E. ^{NS}		
	Día 0	Día 15	Día 28
20	0.25	0.02 \pm 0.02	0
30	0.25	0.02 \pm 0.02	0
50	0.25	0.02 \pm 0.02	0
P valor	---	0.6385	---
C.V. (%)	---	94.76	---
R ²	---	0.37	---

Nota. D.E: Desviación Estándar. ^{NS}: No hay diferencias significativas ($P > 0.05$). CV (%): Coeficiente de variación. R²: Coeficiente de determinación.

Oxígeno Disuelto

No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el día cero del experimento, esto corrobora que el agua estaba bajo las mismas condiciones en todas las unidades experimentales en el momento de la siembra. Al día 15 se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) en el oxígeno disuelto en el agua por la mañana entre las tres distintas densidades de siembra, presentando mayor cantidad de oxígeno disuelto en la densidad de 20 g/m² y menor cantidad en la de cincuenta gramos por metro cuadrado

(Cuadro 5). En el día 28 la densidad con 50 g/m² presentó la menor cantidad de oxígeno disuelto en el agua ($P \leq 0.05$), mostrando la densidad de 20 g/m² y la de 30 g/m² resultados similares.

La densidad de 50 g/m² presentó menor cantidad de oxígeno disuelto por la tarde al día cero ($P \leq 0.05$). El tratamiento con una densidad de 50 g/m² presentó menor cantidad de oxígeno disuelto en el día cero y es estadísticamente menor a la densidad de 20 y 30 g/m², sin embargo, el tratamiento con una densidad de 50 g/m² no fue diferente al tratamiento con una densidad de 30 g/m², quien, a su vez, presentó valores similares a la densidad de 20 g/m² (Cuadro 6). En el día 15 y 28 los tratamientos no presentaron diferencias ($P > 0.05$) en la cantidad de oxígeno disuelto por la tarde. Esto concuerda con los datos obtenidos por García Trujillo (2012), donde el oxígeno disuelto disminuyó en el área de agua residual cubierta con *Lemna minor*, a causa de la eliminación de las algas provenientes de la laguna.

Cuadro 5

Efecto de diferentes densidades de siembra sobre el oxígeno disuelto en el agua por la mañana.

Densidades g/m ²	OD AM (ppm) \pm D.E. ^{NS}		
	Día 0	Día 15	Día 28
20	3.60 \pm 0.08	4.46 \pm 0.28 ^A	4.56 \pm 0.08 ^A
30	3.67 \pm 0.19	3.74 \pm 0.30 ^B	4.55 \pm 0.07 ^A
50	3.65 \pm 0.13	2.72 \pm 0.34 ^C	4.36 \pm 0.13 ^B
P valor	0.7801	0.0033	0.0500
C.V. (%)	4.12	8.49	2.23
R ²	0.29	0.92	0.67

Nota. OD AM: Oxígeno Disuelto por la mañana. D.E: Desviación Estándar. ^{NS}: No hay diferencias significativas ($P > 0.05$). ^{A-B}: Medias seguidas de letras distintas entre columnas indican diferencias entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). CV (%): Coeficiente de variación. R²: Coeficiente de determinación.

Cuadro 6

Efecto de diferentes densidades de siembra sobre el oxígeno disuelto en el agua por la tarde.

Densidades g/m ²	OD PM (ppm) ± D.E. ^{NS}		
	Día 0	Día 15	Día 28
20	15.35 ± 2.98 ^A	7.77 ± 0.78	6.75 ± 0.25
30	12.87 ± 0.77 ^{AB}	7.15 ± 0.36	6.39 ± 0.22
50	9.88 ± 1.03 ^B	6.83 ± 0.42	6.27 ± 0.53
P valor	0.0262	0.2282	0.1040
C.V. (%)	16.17	7.49	4.34
R ²	0.72	0.61	0.72

Nota. OD PM: Oxígeno Disuelto por la tarde. D.E: Desviación Estándar. ^{NS}: No hay diferencias significativas ($P > 0.05$). ^{A-B}: Medias seguidas de letras distintas entre columnas indican diferencias entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). CV (%): Coeficiente de variación. R²: Coeficiente de determinación.

Temperatura

No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en la temperatura del agua en el día cero al momento de la siembra del experimento, esto corrobora que el agua estaba bajo las mismas condiciones en todas las unidades experimentales en el momento de la siembra (Cuadro 7). De igual forma no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en la temperatura del agua por la mañana entre las diferentes densidades de siembra en el día 15. En el día 28 se mostraron diferencias ($P \leq 0.05$), la densidad de 20 g/m² presentó menor temperatura, siendo menor a la de 20 y 50 g/m² las que presentaron resultados similares como se muestran en el Cuadro 7.

En las temperaturas del agua medidas por la tarde al día cero no se muestran diferencias ($P > 0.05$) entre los distintos tratamientos. En el día 15 la densidad con veinte gramos por metro cuadrado presentó la menor temperatura del agua ($P \leq 0.05$). Mostrando la densidad de 50 g/m² y la de 30 g/m² resultados similares. En el día 28 del experimento no se presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) en las temperaturas del agua entre las distintas densidades de siembra (Cuadro 8).

Los días que la densidad de 50 g/m² obtuvo mayores temperatura concuerdan Dale y Gillespie (1976) que explican que a mayor velocidad del viento, la mezcla del agua con menos cobertura retrasó el momento de la temperatura máxima hasta que se calentó toda la masa de agua. El viento tuvo menos influencia en el sistema cubierto de lentejas de agua.

La temperatura mínima del agua requerida para su crecimiento es de 7 °C, pero para una óptima producción de biomasa se requiere una temperatura de 25 a 31 °C. La planta comienza a experimentar un stress por el calor a partir de 35 °C (Plate Leon 2019).

Cuadro 7

Efecto de diferentes densidades de siembra en la temperatura del agua por la mañana.

Densidades g/m ²	T °C AM ± D.E. ^{NS}		
	Día 0	Día 15	Día 28
20	26.83 ± 0.19	26.10 ± 0.46	25.28 ± 0.29 ^B
30	27.00 ± 0.24	26.48 ± 0.11	25.80 ± 0.12 ^A
50	27.08 ± 0.31	26.59 ± 0.11	25.94 ± 0.12 ^A
P valor	0.7888	0.1291	0.0152
C.V. (%)	1.08	0.96	0.89
R ²	0.28	0.69	0.76

Nota. T °C AM: Temperatura (°C) por la mañana. D.E: Desviación Estándar. ^{NS}: No hay diferencias significativas (P > 0.05). ^{A-B}: Medias seguidas de letras distintas entre columnas indican diferencias entre los tratamientos (P ≤ 0.05). CV (%): Coeficiente de variación. R²: Coeficiente de determinación.

Cuadro 8

Efecto de diferentes densidades de siembra en la temperatura del agua por la tarde.

Densidades g/m ²	T °C PM ± D.E. ^{NS}		
	Día 0	Día 15	Día 28
20	33.10 ± 0.76	32.59 ± 0.85 ^B	29.81 ± 0.47
30	34.03 ± 0.66	33.31 ± 0.46 ^{AB}	30.10 ± 0.23
50	34.48 ± 0.39	33.84 ± 0.49 ^A	30.57 ± 0.57
P valor	0.3061	0.0404	0.0922
C.V. (%)	2.17	1.58	1.22
R ²	0.56	0.75	0.73

Nota. T °C PM: Temperatura(°C) por la tarde. D.E: Desviación Estándar. ^{NS}: No hay diferencias significativas (P > 0.05). ^{A-B}: Medias seguidas de letras distintas entre columnas indican diferencias entre los tratamientos (P ≤ 0.05). CV (%): Coeficiente de variación. R²: Coeficiente de determinación.

Conclusiones

La tasa relativa de crecimiento de la lenteja de agua (*Lemna minor* L.) no se vio afectada por las tres densidades de siembra utilizadas en el experimento.

Las densidades de siembra de 20 y 30 g/m² presentan los mayores niveles de oxígeno disuelto por la mañana y tarde, mientras que la densidad de 50 g/m² tuvo los niveles más bajos por la mañana y al día cero por la tarde, nivelándose a lo largo de los 28 días de producción.

Las tres densidades de siembra presentan niveles similares de temperatura del agua por la mañana y tarde, a diferencia de la densidad de 20 g/m², la cual presentó niveles más bajos únicamente por la tarde al día 15 y por la mañana al día 28.

Recomendaciones

Sembrar a una densidad de 20 g/m² porque hay una menor utilización de insumos.

Incluir un periodo de adaptación mayor a 15 días previo al inicio de futuras evaluaciones.

Hacer uso de un fotómetro para la medición de amonio en el agua.

Evaluar la conductividad eléctrica para conocer la disponibilidad y absorción de nutrientes.

Evaluar el comportamiento productivo de la lenteja de agua en asocio con alevines de tilapia.

Referencias

- Arroyave MDP. 2004. La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): una planta acuática promisoría. Escuela de Ingeniería de Antioquia; [consultado el 24 de jun. de 2022]. 33–38. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372004000100004&script=sci_abstract&tlng=en.
- Beltrán-Rocha JC, Guajardo-Barbosa C, Barceló-Quintal ID, López-Chuken UJ. 2017. Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del ph, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO₂. *Rev. biol. mar. oceanogr*; [consultado el 25 de jun. de 2022]. 52(3):417–427. doi:10.4067/S0718-19572017000300001.
- Cárdenas Calvachi, GL, Sánchez Ortiz IA. 2013. Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *UNIVERSIDAD Y SALUD*; [consultado el 25 de jun. de 2022]. 15(1):72–88. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007.
- Cardillo E, Bernal CJ. 2006. Morphological response and growth of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings at different shade levels. *Forest Ecology and Management*; [consultado el 29 de jun. de 2022]. 222(1-3):296–301. doi: 10.1016/j.foreco.2005.10.026.
- Dale HM, Gillespie T. 1976. La influencia de las plantas vasculares flotantes en las fluctuaciones diurnas de la temperatura cerca de la superficie del agua a principios de la primavera. *Hydrobiologia*; [consultado el 1 de jul. de 2022]. 49(3):245–256. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00014518>.
- Driever SM, van Nes EH, Roijackers RM. 2005. Growth limitation of *Lemna minor* due to high plant density. *Aquatic Botany*. 81(3):245–251. 01/07/2022. doi:10.1016/j.aquabot.2004.12.002.
- Espejo-Díaz M, Sanchez R, Nael-Borges G. 2006. Biomass production of duckweed (*Lemna minor*) fertilized with ovine manure. *ALPA*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 14(3):84–85. https://www.researchgate.net/publication/28128763_Biomass_production_of_duckweed_Lemna_minor_fertilized_with_ovine_manure?enrichId=rgreq-8e4d360f2ecdf7bdd79a4331633ccd60-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4MTI4NzYzO0FTOjI2NTcxMDIyODIwOTY2NUAxNDQwMzYxNjYzMTI5&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1995. Duckweed - a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish; [consultado el 29 de may. de 2022]. 7(1). <https://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/lrrd/lrrd7/1/3.htm>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2004. DUCKWEED: A tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 5 de may. de 2022]. <https://www.fao.org/ag/againfo/resources/documents/DW/dw2.htm>.
- García Llorens J. 2020. Evaluación ambiental de la producción de *lemna*. Comparación con otras fuentes de proteína vegetal [tesis]. Valencia, España: Universitat Politècnica de València. 28 p; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/138685>.
- García Trujillo ZM. 2012. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas [Tesis]. Lima, Peru: Universidad Nacional de Ingeniería. 283 p; [consultado el 29 de jun. de 2022]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1292>.

- Jaramillo Jumbo MDC, Flores Campoverde ED. 2012. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera [Tesis]. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. 128 p; [consultado el 25 de jun. de 2022]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>.
- Lambers H, Poorter H. 1992. Inherent Variation in Growth Rate Between Higher Plants: A Search for Physiological Causes and Ecological Consequences. 23:187–261. 01/07/2022. doi:10.1016/S0065-2504(08)60148-8.
- Mayo-Mendoza M, Romo-Campos RdL, Medina-Fernández P. 2018. Tasa relativa de crecimiento de herbáceas con potencial de restauración en suelos degradados del bosque La Primavera, Jalisco, México. Acta Universitaria; [consultado el 29 de jun. de 2022]. 28(2):58–66. doi:10.15174/au.2018.1930.
- Palacios Libreros JM, Villalobos Urrego SC. 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.* Colombia: Universidad Santo Tomas; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <http://hdl.handle.net/11634/19274>.
- Plate Leon KS. 2019. Estudio de prefactibilidad para la propuesta de instalación de una planta productora de harina de lenteja de agua (*Lemna minor*) para la sustitución de torta de soya en la alimentación avícola en la región Lambayeque [tesis]. Peru: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo; [consultado el 23 de jun. de 2022]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1974>.
- Tache Rocha KC. 2020. Lenteja de agua (*Lemna minor*); una promisoriosa planta con potencial en el cuidado ambiental y alimentario para seres humanos y animales [tesis]. Cartagena, Colombia: Universidad del Sinú; [consultado el 29 de jun. de 2022]. <http://repositorio.unisinucartagena.edu.co/xmlui/handle/123456789/241>.

Anexos**Anexo A**

Medidor de pH de bolsillo de alta precisión.



Anexo B

Kit de prueba de amoniac



Anexo C*Medidor de oxígeno disuelto y temperatura YSI Pro20A*

Anexo D*Medición de Parámetro de Amonio*