

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



VALORIZACIÓN DE SUERO DE LECHE COMO SUSTRATO EN CULTIVO DE
Arthrospira maxima Y SU APLICACIÓN COMO SUPLEMENTO EN DIETAS DE
CODORNIZ JAPONESA *Coturnix japonica*

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN:
INGENIERÍA EN BIOSISTEMAS

PRESENTA

JUDITH ALEJANDRA SOTO CUEVAS

GRAL. ESCOBEDO N.L.

AGOSTO 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



VALORIZACIÓN DE SUERO DE LECHE COMO SUSTRATO EN CULTIVO DE
Arthrospira maxima Y SU APLICACIÓN COMO SUPLEMENTO EN DIETAS DE
CODORNIZ JAPONESA *Coturnix japonica*

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN:
INGENIERÍA EN BIOSISTEMAS PRESENTA

JUDITH ALEJANDRA SOTO CUEVAS

GRAL. ESCOBEDO N.L.

AGOSTO 2022

VALORIZACIÓN DE SUERO DE LECHE COMO SUSTRATO EN CULTIVO DE
Arthrospira maxima Y SU APLICACIÓN COMO SUPLEMENTO EN DIETAS DE
CODORNIZ JAPONESA *Coturnix japonica*

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN:
INGENIERÍA EN BIOSISTEMAS

COMITÉ PARTICULAR

Dr. Celestino García Gómez

Director de Tesis

Dr. Hugo Bernal Barragán

Codirector de Tesis

Dr. Julio Beltrán Rocha

Asesor

Dra. Julia Mariana Márquez Reyes

Asesor

Dra. Juan Antonio Vidales Contreras

Asesor

Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto

Subdirector de Estudios de Posgrado

DEDICATORIA

A mis madre Verónica Cuevas Montoya por ser mi fuente de inspiración para seguir adelante sea cual sean las adversidades que se presenten en la vida, por siempre poner primero a mis hermanos y a mí que a todo lo demás.

A mi abuela Carmela Montoya por siempre motivarme a seguía adelante, por siempre estar al pie del cañón y echarme porras cada que sentía que no podía. A mis bisabuelos Concepción y Carlos por siempre tener fe en mí, espero estén donde estén compartan este logro.

A mi Padre Pablo García por siempre estar al pendiente de mí, a pesar de no ser tu hija de sangre, tenemos un lazo que nos une mucho más, que es el amor de padre que siempre me has dado, gracias por llegar a nuestras vidas, espero te sientas orgulloso. A mis hermanos Alberto y Edith por siempre estar conmigo, además de acompañarme en las buenas y en las malas.

A David Martínez por ser mi fuente de apoyo, mi compañero, mi amigo y mi todo, gracias por siempre estar ahí cuando sentía que no podía, por ayudarme en cosas que no entendía o no quería entender, por estar cada seminario, examen o clase que necesitaba unas palabras de aliento. Sé que estos dos años se fueron muy rápido, pero espero seguir contando contigo esta y todas las metas que lograremos juntos.

A mi tío Miguel Ángel Flores Cuevas por ser parte de este nuevo proyecto profesional, si estuvieras aquí nos estaríamos graduando juntos, pero no te preocupes como te lo dije: esta va por los dos. Con mucho orgullo te puedo decir: ¡Ya terminamos! Donde quiera que estés este logro también es tuyo.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía por permitirme realizar mis estudios de posgrado, por siempre interesarse en que sus egresados sigan creciendo personal y académicamente.

Al Centro de Investigación y Desarrollo en Industrias Alimentarias (CIDIA) por ser la sede de mi crecimiento y mi desarrollo profesional.

Al Dr. Celestino García por su apoyo en mi crecimiento profesional, por darme la libertad de trabajar en lo que realmente me gusta y por nunca decirme que no a una decisión de cambiar algo en este proyecto.

Al Dr. Hugo Bernal Barragán por aportar sus conocimientos a este proyecto de investigación que a pesar de no estar desde un inicio siempre tuvo la disponibilidad de apoyarme en todo lo que estuvo dentro de sus posibilidades. Al equipo de trabajo del Laboratorio de Nutrición y Calidad de Alimentos: Dafne Almaguer, Litzzy, Rebecca Mares y Sebastián Sáenz.

A la Dra. Nydia Vásquez por su apoyo incondicional en este proyecto, por enseñarnos la organización, las técnicas y todos los análisis que son de gran importancia para esta investigación.

Al Dr. Víctor E. Aguirre por siempre motivarme a ser una mejor biotecnóloga, a siempre ir por más y por hacer que me enorgullezca de mi carrera universitaria.

A la M.C. Keyla Mauleón por ser esa persona que te ayuda a salir adelante, gracias a ti por ser la iniciadora de este logro, espero estés orgullosa de lo que has creado.

A la M.C. Katty Hernández por ser mi apoyo en el laboratorio, en los análisis, por ser mi mentora en el área de la Spirulina, gracias a ti este proyecto, así como los seminarios, capítulo de libro y

congresos fueron buenas experiencias estos dos años. Gracias por tu amistad, pero sobre todo por tu tiempo a este proyecto.

A la Ing. Andrea Sandoval por su ayuda cuando recién entré al laboratorio, por apoyarme dentro y fuera de la escuela. Gracias por ser mi hermana menor que siempre me escucha y acude en mi auxilio, siempre alguien más joven que tú te puede llenar de aprendizaje.

A la Ing. Valeria Morales por ser mi compañera en la etapa de aplicación de este proyecto por siempre estar al pie del cañón en cualquier cosa que se necesitara, por aprender juntas y siempre tomarme en cuenta para cualquier cosa.

Pero sobre todo gracias a Dios y a la vida que me permiten terminar satisfactoriamente mis estudios de posgrado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	XVII
RESUMEN	19
1. INTRODUCCIÓN.....	21
2. REVISIÓN DE LITERATURA	23
2.1 Industria láctea.....	23
2.1.1. Producción de leche a nivel nacional	24
2.1.2. Productos y subproductos	26
2.1.3. Contaminación de la industria láctea	27
2.2. Tratamiento de aguas residuales	31
2.3. Microalgas y cianobacterias	32
2.3.1. Sistemas de crecimiento	34
2.3.2. Sistemas abiertos	34
2.3.3. Sistemas cerrados	35
2.4. Medios de cultivo.....	41
2.5. <i>Arthrospira</i>	44

2.6. Composición fisicoquímica y valor nutricional	45
2.7. Ficocianina	47
2.8. Microalgas y cianobacterias en la nutrición animal	48
2.9. Codorniz japonesa.....	54
3. OBJETIVOS	55
4. HIPÓTESIS	56
5. MATERIALES Y MÉTODOS	57
5.1. Suero de leche como sustrato para la producción de biomasa de <i>A. maxima</i>	57
5.2. Material biológico	59
5.3. Diseño experimental.....	59
5.4. Composición de la biomasa	61
5.6. Aplicación codorniz japonesa	63
5.7. Área del experimento	66
5.7.1. Registro de variables	66
5.7.2. Evaluación de la calidad de huevo	68
5.7.3. Contenido Materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC) y grasa en muestras de las dietas y huevo.....	71
5.8. Análisis estadístico.....	71
6. RESULTADOS	72
6.1. Caracterización de suero de leche	72

6.2. Sustitución de medio de cultivo	73
6.3. Monitoreo de nutrientes	77
6.3.1. Monitoreo de Nitrógeno (N)	77
6.3.1.1. Nitratos (NO ₃ -)	78
6.3.1.2. Nitritos (NO ₂ -).....	80
6.3.2. Ortofosfatos (PO ₄ ³⁻)	82
6.3.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	84
6.3.4. Amonio (NH ⁴⁺)	86
6.4. Composición Bioquímica.....	88
6.5. APLICACIÓN EN DIETAS DE CODORNIZ	91
6.5.1 Parámetros de ganancia de peso.....	91
6.5.2. Ganancia de peso.....	91
6.6. Consumo de alimento.....	92
6.7. Datos productivos de huevo	94
6.8. Colorimetría de la yema de huevo	95
6.9. Contenido de materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC) y grasa.	98
6.9.1. Muestras de alimento	98
6.9.2. Muestras de huevo.....	99
7. DISCUSIÓN	101
8. CONCLUSIONES.....	104

8. BIBLIOGRAFÍA106

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Producción de leche (millones de litros) a nivel mundial del año 2017 al 2019.....	24
Cuadro 2	Producción (miles de litros) nacional de leche en el periodo 2019-2021.....	25
Cuadro 3	Productos con mayor producción en México.	27
Cuadro 4	Principales componentes del suero de leche.	28
Cuadro 5	Especificaciones de la NOM-CCA-009-ECOL-1993.	30
Cuadro 6	Daños ocasionados por la contaminación de aguas residuales.....	32
Cuadro 7	Principales ventajas y desventajas de los sistemas de cultivo de microorganismos (microalgas y cianobacterias).	37
Cuadro 8	Residuos de la industria alimentaria y ganadera como medio de cultivo.....	43
Cuadro 9	Características fisicoquímicas de los microorganismos fotosintéticos.	46
Cuadro 10	Aplicaciones de biomasa de microalgas y cianobacterias en la nutrición animal. .	53
Cuadro 11	Análisis utilizados en la caracterización del suero de leche.....	58
Cuadro 12	Tratamientos suplementados con suero de leche.....	59
Cuadro 13	Dieta para codorniz de postura.	63
Cuadro 14	Caracterización del suero de queso ricota.	72
Cuadro 15	Monitoreo de pH de los distintos tratamientos con sustitución de suero de leche.	77
Cuadro 16	Resultados de análisis de carotenoides de <i>A. maxima</i>	88
Cuadro 17	Análisis proximal de la biomasa obtenida.....	89
Cuadro 18	Peso vivo (g/semana) en codornices.	91
Cuadro 19	Datos productivos de los huevos obtenidos mediante la suplementación de <i>A. maxima</i> y suero de leche.....	95
Cuadro 20	Valores de colorimetría de yema de huevo.	96

Cuadro 21 Contenido de materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC) y grasa del alimento.99

Cuadro 22 Contenido de materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC) y grasa del huevo.100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de biorreactores utilizados para lo producción de microalgas y cianobacterias	36
Figura 2 Cianobacteria <i>Artrospira maxima</i> al microscopio.	44
Figura 3 Aplicaciones de la biomasa en nutrición animal.....	49
Figura 4 a) Proceso de elaboración de queso panela. b) Obtención de suero de leche dulce. .	57
Figura 5 a) Filtración b) almacenamiento de muestras de suero de leche.....	58
Figura 6 Representación esquemática de reactor de columna de burbuja.....	60
Figura 7 Representación de la Cámara de Neubauer para conteo celular.	61
Figura 8 Producción de biomasa a mediana escala.	62
Figura 9 Unidad experimental del laboratorio de Nutrición Animal FAUANL.	64
Figura 10 Dietas experimentales preparadas para la alimentación de las codornices. a) Tratamiento control. b) 3% <i>A. maxima</i> . c) 3% suero de leche. d) 3% <i>A. maxima</i> + 3% suero de leche.	65
Figura 11 Pesaje de alimento para los comederos de cada jaula.	67
Figura 12 Pesaje semanal a cada una de las aves utilizadas en el experimento. a) Recipiente para garantizar el correcto manejo del ave. b) Pesaje de ave del tratamiento con <i>A. maxima</i> ..	68
Figura 13 Selección de piezas de huevo por tratamiento a diferentes tiempos (D0, D15 y D29).	69
Figura 14 a) Preparación de muestras de huevo. b) Medición de huevo (largo y ancho), c) Medición de grosor de cascarón de huevo. d) Determinación de clara/ yema.	70
Figura 15 Producción de biomasa de las cepas <i>S. acutus</i>	74
Figura 16 Crecimiento celular de la cepa <i>S. acutus</i>	74

Figura 17 S. acutus con una sustitución del 15% de medio Zarrouk con suero de leche.....	75
Figura 18 Producción celular de A. maxima con suero de leche.	76
Figura 19 Comparación del efecto de la sustitución de suero de leche sobre la concentración celular de A. maxima.....	76
Figura 20 Concentración de NO ₃ - durante los 14 días de experimentación (P value = 0.001)	78
Figura 21 Residual de NO ₃ - durante los 14 días de experimento.	79
Figura 22 Concentración de NO ₂ - durante los 14 días de experimentación (P value= 0.000).	80
Figura 23 Porcentaje de producción en base a Nitritos durante los 14 días de experimento. ..	81
Figura 24 Concentración de Ortofosfatos (PO ₄ ³⁻) durante los 14 días de experimentación (P value = 0.01).	82
Figura 25 Remoción de Ortofosfatos durante los 14 días de experimentación.	84
Figura 26 Concentración de DQO durante los 14 días del experimento (P value = 0.00)	84
Figura 27 Remoción de DQO del cultivo de A. maxima durante los 14 días de experimento.	85
Figura 28 Monitoreo de producción de Amonio durante los 14 días de experimento (P value = 0.004).....	86
Figura 29 Remoción de amonio durante los 14 días del experimento.	87
Figura 30 Peso vivo de las aves durante las 4 semanas de experimentación (P value =0.054).	92
Figura 31 Consumo de alimento de los tratamientos suplementados con A. maxima y suero de leche (P value= 0.057).	93
Figura 32 Producción de huevo durante las 4 semanas de experimentación (P value = 0.01).	94
Figura 33 Determinación de color de yema de huevo. A) T1, b) T2, c) T3, d) T4.	96

Figura 34 Pigmentación de cáscara de huevo de codorniz de los tratamientos suplementados con biomasa de *A. maxima*.....98

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

NH_4^+	Amonio
CaCO_3	Carbonato de Calcio
C	Carbono
cel/mL	Células por mililitro
cm	Centímetro
cm^2	Centímetro cuadrado
cm^3	Centímetro cúbico
b^*	Coefficiente de color de tendencias de azul a amarillo
a^*	Coefficiente de color de tendencias de verde a rojo
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
P	Fósforo
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
g	Gramos
g/L^{-1}	Gramos por litro
h	Horas
lux	Iluminación o nivel de luz
Kcal	Kilocaloría
kg	Kilogramo
L	Litro
L^*	Luminosidad (tendencia a color negro)

MS	Materia seca
μm	Micrómetro
mg	Miligramos
NO_3^-	Nitrato
NO_2^-	Nitrito
N	Nitrógeno
NOM	Norma Oficial Mexicana
PO_4^{3-}	Ortofosfatos
PC	Proteína cruda
c^*	Saturación
h^*	Tono de color

RESUMEN

La industria láctea se caracteriza por ser gran consumidora de agua para la elaboración de todos sus productos. En México, asociado a la producción de queso, se llegan a producir 50 mil toneladas de suero de leche al año, con una tendencia creciente debido al aumento de demanda de la población, para la cual los productos de origen animal han formado parte de la dieta humana. Debido a dichos aumentos también ha incrementado la generación de aguas residuales con alto contenido de nutrientes y materia sólida, que si son arrojados al drenaje o cuerpos de agua sin contar con un tratamiento puede llegar a causar problemas de eutrofización. El uso de cultivos de microalgas y cianobacterias para el tratamiento de aguas residuales ha ido ganando interés en el área de la biotecnología ambiental, debido a que se les caracteriza por ser capaces de desarrollarse en ambientes variables y llegar a producir altas cantidades de biomasa para uso comercial. También pueden favorecer el porcentaje de remoción de contaminantes y obtener mejoras en la calidad de descarga de la industria alimentaria.

El objetivo del estudio fue evaluar el potencial del cultivo de *Scenedesmus acutus* y *Arthrospira maxima* con el aprovechamiento de suero de leche, un residuo de la industria láctea como sustrato en la producción de biomasa con alto contenido nutricional y evaluar la utilización de *Arthrospira maxima* para suplementar las dietas de codorniz japonesa (*Coturnix japonica*).

En el presente trabajo se utilizaron una microalga (*Scenedesmus acutus*) y una cianobacteria (*Arthrospira maxima*). Se realizaron evaluaciones preliminares con la sustitución de cuatro distintos porcentajes de suero (5, 10, 15 y 20%) y medio comercial (Zarrouk) para determinar cuál de estos era el porcentaje óptimo en los parámetros a medir: cepa con mayor producción de biomasa y mayor contenido nutricional.

La cepa con mayor uso de medio de cultivo con suero y la que más se asemejó a los parámetros del tratamiento control fue *Arthrospira maxima* con el 10% de suero de leche, obteniendo reducciones de DQO, NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} y NH_4^+ en un 83, 90, 80 y 94% respectivamente. En cuanto a su composición bioquímica se obtuvo alto contenido de carbohidratos, clorofila y carotenoides siendo una materia prima óptima para ser utilizada en la nutrición avícola.

Se evaluaron cuatro tratamientos con la suplementación de suero de leche liofilizado y biomasa de *A. maxima* (T1: Dieta experimental para postura, T2: 3% de biomasa de *A. maxima*, T3: 3% de suero de leche, T4: 3% de biomasa de *A. maxima* + 3% de suero de leche) en 20 jaulas con un total de 60 aves.

Las variables de respuesta fueron: ganancia de peso (GP), consumo de alimento (CA), producción de huevo (PH), además de las características físicas de la calidad de huevo: largo, ancho, pero e índice de forma. Se utilizó un diseño completamente al azar utilizando el paquete estadístico SPSS® y la comparación de media con el método de Tukey.

En cuestión a la ganancia de peso, consumo de alimento y producción de huevo no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$). El peso de huevo producido en los T2 y T4 fue mayor en comparación con los tratamientos T1 y T3 (12.35g vs. 11.35g; $P < 0.05$). En los parámetros de colorimetría b^* fue mayor en el T3 ($P < 0.05$) y c^* fue mayor en T2 ($P < 0.05$). La materia seca y cenizas en el huevo no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos. Sin embargo, la proteína mostró diferencia significativa ($P < 0.05$) en los tratamientos con inclusión de suero de leche y biomasa de *A. maxima*.

Estos tratamientos ayudaron a encontrar una aplicación biotecnología a los residuos provenientes de la industria láctea, ya que no afectan el consumo de alimento ni la ganancia de peso ofreciendo alimentos con mayor contenido de proteína y mejoras en la coloración de yemas.

1. INTRODUCCIÓN

La industria láctea se caracteriza principalmente por la generación de residuos con alto contenido nutricional, como el lactosuero, en el que se encuentran algunos de los componentes que no se integran por completo en la coagulación de proteínas durante la elaboración de queso (Hannibal et al., 2015). Por cada m³ de leche procesada se estima que la generación de agua residual oscila entre de 1-10m³ de agua residual, teniendo variaciones que dependen del nivel de producción de la planta piloto, del producto a realizarse y de la demanda de la población.

En México anualmente la producción de suero de leche llega a 1 millón de toneladas, que equivale a 50 mil toneladas de lactosa y 5 mil toneladas de proteínas que son desaprovechadas (Gogoi et al., 2021). En el mejor de los casos el 47% del suero de leche que es descargado por las plantas procesadoras de productos lácteos es destinado para la elaboración de productos como: queso ricota, alimento para bebé, aderezos para ensalada suplemento alimenticio, etc. (Valencia Denicia & Ramírez Castillo, 2009). Este residuo conocido como lactosuero o suero de leche es considerado una fuente contaminante por el aporte de nutrientes no aprovechados que pueden llegar a causar problemas de eutrofización (pérdida de sistemas acuáticos por la disminución de oxígeno disuelto) (Balcorta & Arenas, 2017). Una alternativa para este tipo de residuos es el tratamiento de aguas residuales por medio de: coagulación, filtración por membranas o lodos activados y los reactores de secuenciación por lotes, estos últimos teniendo mayor interés biotecnológico ya que con la utilización de microorganismos fotosintéticos (microalgas y cianobacterias) se recuperan los nutrientes que se encuentran en las aguas residuales de la industria láctea (carbono, nitrógeno y fósforo) (De Carvalho et al., 2020). Estos cultivos han mostrado tener altos porcentajes de reducción de lactosa (54%) en suero de leche, teniendo como mayor beneficio la mejora de la calidad de descarga a la par de recuperar algunos de los nutrientes que contiene el medio de cultivo (suero) (Girard et al., 2014), además de ser

útiles para la obtención de productos de alto valor comercial (nutrientes asimilables para el consumo humano y animal, pigmentos, antioxidantes para la industria cosmética) (De Carvalho et al., 2020).

Uno de los problemas más comunes en la producción de biomasa es el método de recuperación, el cual se caracteriza por ser un procedimiento costoso y complejo que puede llegar a representar entre un 20-30% del costo de producción total. Algunas de las técnicas utilizadas son: sedimentación, centrifugación, filtración y floculación, siendo esta última la estrategia con mayor uso debido a la utilización de floculantes orgánicos de bajo costo (Quitral et al., 2012).

Una de las posibles aplicaciones de la biomasa de microorganismos fotosintéticos es en la nutrición animal en la producción avícola (pollo de engorda, codorniz japonesa y pavo), mejorando significativamente la ganancia de peso, coloración de yema debido a su alto contenido de carotenoides (Ekýzolu et al., 2020). Se ha reportado por Hajati et al., (2019), que la suplementación con *A. maxima* puede disminuir el estrés por calor en aves de corral.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Industria láctea

En muchos países la industria alimentaria es una de las principales consumidoras de agua y generadora de aguas residuales. La industria láctea se caracteriza por la generación de efluentes y contaminantes, cuyas cantidades dependen de ciertos parámetros operativos tales como: programa de producción, cambios en la operación, configuración de la planta de proceso (Farizoghu & Uzuner, 2011). La producción ganadera y avícola son las grandes procesadoras de recursos naturales, que utilizan una gran cantidad de agua por kilocaloría (Kcal) de alimento producido, además de emisiones de gases de efecto invernadero (Liebe et al., 2020). La leche es un alimento completo que aporta nutrientes esenciales entre ellos: calcio, magnesio, selenio, vitamina B₅ y B₁₂, etc. que ayudan a combatir el hambre y desnutrición. Su aporte energético es de 134 kcal de energía, 8.3 g de proteínas y 7.6 g de grasa/ persona al día, con un consumo de 97 L de leche al año (FAOSTAT, 2018). El aumento a la demanda de productos derivados de esta industria se debe principalmente al crecimiento de la población que ha aumentado hasta un 70% en los últimos 10 años (FAOSTAT, 2018).

En el año 2018 la producción mundial de leche fue de 843 millones de toneladas de lo cual el 81% fue leche de vaca, 15.1% leche de búfala, 2.2% leche de cabra, 1.3% de oveja y 0.4% de camella. En el Cuadro 1 se presenta la producción mundial de leche entre los años 2017 y 2019. En la actualidad Asia es considerado el mayor productor de leche con el 31%, seguida de la Unión Europea con el 23.7%, mientras que Norte y Centro América producen 18%. Estos valores de producción han incrementado debido al aumento de consumo per cápita de los productos derivados de la leche: por ejemplo, del 2009 al 2018 creció una tasa de promedio anual de 0.9%, llegando a un valor per cápita de 113.7 litros anuales (FAOSTAT 2020).

Cuadro 1 Producción de leche (millones de litros) a nivel mundial del año 2017 al 2019.

Lugar	2017		Lugar	2018		Lugar	2019	
	País	Producción		País	Producción		País	Producción
1	E.U.A.	97,761,519	1	E.U.A.	96,890,477	1	E.U.A.	99,056,527
2	India	89,833,590	2	India	83,833,590	2	India	90,000,000
3	Bra.	33,312,149	3	Bra.	33,839,864	3	Bra.	35,890,280
4	Ale.	32,598,198	4	Ale.	33,064,833	4	Ale.	33,080,180
16	Méx.	11,767,556	27	Méx.	12,005,692	27	Méx.	12,005,692
	Otros	410,348,007		Otros	454,747,691		Otros	478,313,357
	Total	675,621,019		Total	714,382,147		Total	748,346,036

¹ E.U.A.: Estados Unidos de América, Bra: Brasil, Ale: Alemania, Méx: México.

Fuente: FAOSTAT, 2020.

Todo esto se relaciona directamente con el aumento poblacional mundial, que tuvo una tasa de crecimiento de 1.2%, es decir valores mayores a los del consumo de leche y producción de esta industria. La leche y los productos que se comercializan pueden llegar a representar el 14% del comercio agrícola mundial, algunos de los productos con mayor demanda son: leche entera en polvo, leche descremada en polvo, mientras que los productos que son comercializados en fresco llegan a representar solamente el 1% de la producción total (FAOSTAT, 2021).

2.1.1. Producción de leche a nivel nacional

La ganadería en México es considerada de importancia para la economía nacional. Actualmente la producción de leche en México es todavía insuficiente para cubrir la demanda nacional. Entre

el 2007 y el 2012 la importación de leche alcanzó los 2,000 millones de litros por año, esta cantidad corresponde al 20% de la producción nacional. La producción y comercialización de este producto debe ser aprovechada para el beneficio económico del país, fomentando la mayor producción de ganado de leche para reducir la importación de productos en polvo y frescos (Loera et al., 2017).

Cuadro 2 Producción (miles de litros) nacional de leche en el periodo 2019-2021.

Lugar	2019		Lugar	2020		Lugar	2021	
	Estado ¹	Producción		Estado ¹	Producción		Estado ¹	Producción
1	Jal.	2,541,915	1	Jal.	2,625,726	1	Jal.	2,706,304
2	Coah.	1,394,913	2	Coah.	1,457,972	2	Coah.	1,459,173
3	Dgo.	1,242,953	3	Dgo.	1,291,208	3	Dgo.	1,444,932
4	Chih	1,160,432	4	Chih	1,189,304	4	Chih	1,212,845
27	N.L.	22,957	27	N.L.	22,824	27	N.L.	22,301
	Otros	5,912,695		Otros	5,966,772		Otros	6,021,816
	Total	12,275,865		Total	12,553,806		Total	12,867,371

¹ Jal: Jalisco, Coah: Coahuila, Dgo: Durango, Chih: Chihuahua, N.L.: Nuevo León.
Fuente: SIAP, 2021.

En el 2020 México tuvo una producción de 12 554 millones de litros, además de los cuales se importaron el 28.6%. El Cuadro 2 presenta la producción de leche nacional del año 2019 - 2021 donde Jalisco, Coahuila y Durango fueron los principales productores, mientras que en este periodo en Estado de Nuevo León se encuentra entre los menores productores de leche.

En México se importa más leche (390 mil toneladas) de la que exporta (69 mil toneladas), todo esto para obtener leche en polvo (SIAP, 2021).

El Estado de Coahuila, principalmente la Comarca Lagunera, adoptó desde los años 50's de siglo XX el sistema intensivo de producción lechera con vacas Holstein que consiste en mejorar la producción de leche implementando elementos tecnológicos tales como: inseminación artificial, mejoramiento genético, mejora en la ordeña y desarrollo de la cadena de frío (Robledo Padilla 2018).

2.1.2. Productos y subproductos

Los procesos de producción de alimentos han sido realizados apartándose de los conceptos relacionados con la sostenibilidad de los sistemas productivos, mismos que deben ser complementados en cada una de las operaciones de la industria. Desafortunadamente la mayoría de las empresas no encuentran la forma de incorporar prácticas de producción sostenibles. De hecho, la industria láctea es una de las mayores generadoras de aguas residuales de procesos como la elaboración del producto, sistemas de limpieza, mantenimiento y aseo del personal operativo (Muñoz Lucas & Sánchez García, 2018).

El ciclo de la industria láctea inicia desde la producción de leche en fincas, su industrialización, procesamiento de los productos (Cuadro 3) y generación de subproductos que generan impactos negativos en el medio ambiente (Feil et al., 2020). En el año 2017 los quesos lideraron las ventas en el mercado con el 40% de producción internacional, siguiendo de la leche en polvo entera 12%, mantequilla 12% y la leche en polvo descremada 9% (FAOSTAT, 2018).

Cuadro 3 Productos con mayor producción en México.

Lugar	Producto	Unidad	Producción		
			2017	2018	2019
1	Leche entera	1000 L	430,483	414,026	389,152
2	Leche en polvo	ton	81,991	78,000	82,420
3	Quesos	ton	94,269	101,507	94,744
4	Yogurt	1000 L	239,547	235,212	225,760
5	Crema	ton	30,592	39,850	39,046
6	Mantequilla	ton	23,799	25,290	25,640
7	Suero en polvo	ton	26,272	27,232	27,545

Fuente: FAOSTAT, 2020.

2.1.3. Contaminación de la industria láctea

La principal desventaja de la industria láctea es la generación de residuos líquidos, entre ellos la leche diluida, crema, suero, grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno.

Las aguas residuales resultantes de plantas productoras de queso generan grandes cantidades que se desechan o se pueden reutilizar para la elaboración de otros productos. El principal subproducto resultante de la industria láctea es el suero de leche que corresponde a la fracción que queda después del proceso de coagulación de la leche entera, entre 10-9 L de suero es lo que resulta de la realización de 1 Kg de queso (Kaur, 2021).

El suero de leche o lactosuero es un subproducto muy poco aprovechado en México y ciertas partes del mundo, aunque contiene el 50% de los nutrientes presentes en la leche (Osorio González et al., 2018).

La producción mundial de suero es aproximadamente 200 millones de toneladas por año, de lo cual México representa solo el 0.6% de la generación de este residuo (FAOSTAT, 2017).

Estos niveles llegan a representar el 90% del volumen de la leche y contiene los compuestos hidrosolubles, el 95% corresponde a la lactosa, 25% proteínas y el 8% a su materia grasa, estos valores pueden llegar a variar dependiendo del origen de la leche, tipo de queso y las variaciones en su proceso de elaboración que varía en cuestión a la región.

Los componentes principales del suero de leche se pueden observar en el Cuadro 4, que indica que hay un enorme desaprovechamiento de los nutrientes que se encuentran en el suero de leche ya que la mayor parte de este es arrojada en ríos y suelos causando grandes problemas de contaminación (Hannibal et al., 2015).

Cuadro 4 Principales componentes del suero de leche.

Componente	Contenido aproximado (%)
Agua	93.1
Lactosa	4.9
Proteína Cruda	0.9
Cenizas	0.6
Grasa	0.3
Ácido láctico	0.2

Fuente: Hannibal et al., 2015.

Dependiendo del queso producido se obtienen tres tipos de suero (Gallardo et al., 2005):

- 1) Suero dulce: Es el que se obtiene de la fabricación de quesos reducidos por ejemplo el queso Cheddar, panela o también de la producción de requesón, su pH es ≥ 5.8 .
- 2) Suero medio ácido: Es el resultante de la fabricación de quesos ácidos frescos, pH 5.0.
- 3) Suero ácido: También se obtiene de quesos ácidos frescos cambiando la cantidad de ácido cítrico adicionada durante su fabricación, su pH < 5.0 .

El lactosuero es considerado una fuente de contaminación debido a la carga elevada de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), 50 y 80 gL^{-1} respectivamente (Pires et al., 2021). La constante descarga de suero sin tratamiento a los cuerpos de agua causa un rápido consumo de oxígeno produciendo: salinización, generación de malos olores y acidificación. Los nutrientes excesivos encontrados en las aguas residuales pueden ser nitrógeno y fósforo que a grandes concentraciones pueden llegar a causar eutrofización. Según estudios realizados por el comité Internacional de Medio Ambiente el 48% de los lagos en América del norte son eutróficos, Asia y el Pacífico 54%, en Europa 53%, en América del Sur 41% y en África 28% (Cai et al., 2013).

En México existen varias normas que establecen límites permisibles de emisiones de contaminantes tales como:

NOM-CCA-009-ECOL que establece los límites máximos permisibles (Cuadro 5) de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria elaborada de leche y sus derivados.

Cuadro 5 Especificaciones de la NOM-CCA-009-ECOL-1993.

Parámetros	Límites máximos Permisibles	
	Promedio diario	Instantáneo
pH (Unidades de pH)	6 a 9	6 a 9
SS (mg/L)	100	120
DBO (mg/L)	100	12
G/A (mL/L)	20	30

SS: Sólidos suspendidos, DBO: Demanda Biológica de Oxígeno, G/A: Grasas y aceites.
Fuente: Diario Oficial de la Federación.

En los primeros años del siglo XXI se han desarrollado investigaciones para el aprovechamiento de este residuo. Desafortunadamente es difícil implementarlas debido a que la industria láctea tiene aún rezago tecnológico o falta de capital (Manzano et al., 2019).

Una estrategia para el aprovechamiento de este residuo es la fabricación del queso Ricota puede ser a partir de leche y varias fracciones de leche de vaca, y que a menudo se elabora utilizando el suero dulce producido en la fabricación de queso panela. Para su producción se necesitan 3 factores importantes: Temperatura, ácidos orgánicos y sales. Primero se debe elevar la temperatura entre 80-90°C. Una vez alcanzada esta temperatura se ajusta el pH a 5.2 mediante la adición de ácidos orgánicos y sales para inducir a la desnaturalización y conseguir la precipitación de las proteínas del suero de leche. Una vez obtenido el precipitado se le adiciona sal, se deja reposar por 12 hrs y se empaca (Carota et al., 2017).

El queso Ricota contiene de 4.8-5.0% lactosa, 1.0-1.3% sales, 0.15-0.22% proteínas, 0.20-0.25% ácidos orgánicos, 0.20% de grasas y entre 50 000 y 80 000 mg/L⁻¹ de DQO. Debido a su contenido de proteínas y azúcares lo ha convertido en un candidato para ser utilizado como

medio de crecimiento para algunos microorganismos y producir a partir de estos: bioetanol y biomasa (Carota et al., 2017).

2.2. Tratamiento de aguas residuales

En México solamente son tratadas el 57% de las aguas municipales y 32% de las aguas industriales que son generadas por la población. Los altos niveles de nutrientes, metales pesados y compuestos orgánicos pueden llegar a representar un riesgo para la salud humana y el ambiente.

La descarga continua de aguas residuales de este tipo sin algún tratamiento puede causar problemas de eutrofización (reproducción de algas, agotamiento del oxígeno y pérdida de cuerpos acuáticos) (Hernández et al., 2019).

La intervención del hombre ha creado desde el siglo XIX, cuando se inició la construcción del sistema de drenaje en Europa, en cuerpos de agua y en los que se ha potencializado la eutrofización antropogénica. En los años 50 y 60 del siglo XX se inició el combate a esta problemática (Balcorta & Arenas, 2017).

En la industria láctea el tratamiento y eliminación de las aguas residuales puede llegar a representar un gasto de millones de pesos y por ello se ha convertido en un gran problema económico y social, ya que la mayoría de las empresas que se dedican a la elaboración de estos productos no han implementado algún tipo de tratamiento (Cuadro 6).

La selección del tratamiento a implementar depende de las fuentes de energía que serán utilizadas y su entorno (Armesto et al., 2016). Principalmente las aguas residuales de esta procedencia son tratadas por métodos físicos, biológicos y fisicoquímicos, estos últimos son los que llegan a representar gran cantidad de inversión económica.

Cuadro 6 Daños ocasionados por la contaminación de aguas residuales.

Etapa	Características
1	La materia orgánica es arrojada al medio, inicia la degradación por procesos de oxidación y las bacterias aerobias (comienza el crecimiento de algas y plantas).
2	Los organismos heterótrofos incrementan el consumo de oxígeno, el pH disminuye y comienza la turbidez en el agua.
3	Muerte de organismos aerobios, inicia la generación de gases (amonio, sulfuro y metano), agua con mayor acidez y mal olor
4	La producción de compuestos ácidos afecta totalmente la población causando daños irreversibles al ecosistema.

Fuente: Armesto et al., 2016.

2.3. Microalgas y cianobacterias

Las microalgas y cianobacterias son microorganismos fotosintéticos, eucariotas que pueden ser autótrofos o heterótrofos. Su origen data de hace unos 3500 millones de años, por los que son considerados unas de las primeras formas de vida. Algunas de sus principales características son: organismos pluricelulares, pueden llegar a alcanzar 60 m de longitud (macroalgas) y un tamaño de 0.2 a 2 mm (microalgas) (Christaki et al., 2011). Pueden desarrollarse utilizando residuos de la actividad industrial como fuente de nutrientes para la conversión de partículas de dióxido de carbono o amonio en macromoléculas como las proteínas. Cuentan con una alta eficiencia fotosintética, en la cual la clorofila es el elemento que aporta la coloración característica de estos microorganismos (Salgado et al., 2019).

Tienen la capacidad de desarrollarse en condiciones ambientales variables y producir altas concentraciones de lípidos y proteínas, además de competir directamente con los cultivos para la producción de alimento, ayudar en el tratamiento de aguas residuales utilizados en la industria alimentaria (Matos, 2019).

A mediados del siglo XX se inició el cultivo de microalgas para la producción de alimento y se descubrió que el cultivo debe cumplir con tres condiciones: alta tasa de crecimiento, tolerancia a variación de parámetros y buena capacidad de cosecha. Algunos de los géneros más utilizados para los fines mencionados son: *Chlorella*, *Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*, *Euglena*, *Spirulina*, *Navicula*, entre otras que han llamado la atención para la producción a niveles comerciales (Hernández & Labbé, 2014).

En términos de sustentabilidad la generación a gran escala de estos microorganismos cuenta con características muy importantes que les permiten la generación de grandes cantidades de biomasa por unidad de superficie y la capacidad de ser producidas en áreas no aptas para el cultivo e incluso con la utilización de agua no potable (Torres et al., 2020).

Las microalgas y cianobacterias tienen alta producción de biomasa y de otros compuestos de suma importancia para el consumo humano y animal. Además de la captación, fijación y transformación del CO₂ en el planeta ayudando así a la biorremediación del aire (Salgado et al., 2019).

Producen antioxidantes, carotenoides, enzimas, lípidos, colorantes naturales, ácidos grasos, toxinas y esteroides que se utilizan como materia prima en varios procesos industriales. También son grandes productoras de compuestos bioactivos de alto valor para la industria farmacéutica como, por ejemplo: ácidos acetílicos, β - caroteno, agarosa, vitamina B, luteína, entre otros. Como se mencionó anteriormente la biomasa de estos microorganismos puede aumentar el valor nutricional de los alimentos destinados para el consumo humano y animal (Rizwan et al., 2018).

2.3.1. Sistemas de crecimiento

En relación con las tecnologías de producción, a lo largo de los años se han utilizado distintos tipos de reactores debido a los problemas de rendimiento que se han presentado para establecer las condiciones óptimas y la producción de biomasa a bajo costo (Garrido et al., 2018). Hoy en día la generación a gran escala de microalgas y cianobacterias suelen calificarse según el tipo de configuración y funcionamiento, debido a que existe una gran variedad de especies y aplicaciones se puede elegir la mejor opción para el cultivo y optimizarlo (González Céspedes, 2016).

2.3.2. Sistemas abiertos

Su origen data de los años 1950 y son los más utilizados para la producción de biomasa a nivel comercial. Pueden ser utilizados medios naturales como lagunas, estanques (también se utilizan tanques artificiales); deben contar con una fuente de luz, agua y CO₂. Las cepas que son cultivadas en estos sistemas deben crecer en condiciones en las cuales a otros microorganismos se les dificultaría su desarrollo como la variación de pH, temperatura y requerimientos nutritivos del medio de cultivo (Hernández & Labbé, 2014) algunos ejemplos son:

2.3.2.1. Canales

La producción en los Raceways o canales se realiza en estanques de material resistente como fibra de vidrio u hormigón cubiertos en sus superficies con plástico inerte, su configuración es ovalada y poco profunda lo que permite la implementación de paletas o sistemas de agitación que asegura la agitación y mezclado para la producción de biomasa y la obtención de CO₂ (Jerney & Spilling, 2020).

2.3.2.2. Tanques circulares

Estos sistemas se enfrentan a distintos problemas operacionales, área de producción y costo elevado del material (hormigón) además del alto consumo de energía para la implementación del sistema de agitación, a pesar de sus dificultades es el más utilizado en Japón para la producción de *Chlorella* (Salgado et al., 2019).

2.3.2.3. Balsas

Se le conoce como balsas a las piscinas o albercas artificiales con profundidad limitada, en el cual la producción celular ocurre sin la adición de algún otro elemento ni manipular las condiciones de operación (condiciones naturales) y obtienen un crecimiento de biomasa muy bajo (González Céspedes, 2016).

2.3.3. Sistemas cerrados

Debido a las dificultades que se presentaban en los sistemas de producción abiertos, se fueron realizando mejoras para desarrollar los sistemas cerrados, permitiendo controlar parámetros y minimizando los problemas que se presentaban en los sistemas anteriores. Estos se pueden realizar en pequeña, mediana y gran escala lo que permite obtener la optimización de la producción de biomasa, cuentan con distintos diseños de fotobiorreactores que varían dependiendo del cultivo a producir (Hernández y Labbé, 2014) algunos ejemplos son:

2.3.3.1. Cámara de microalgas

Se basa principalmente en la producción a baja escala utilizada para mantener el cultivo en condiciones controlada. Se puede elegir de una gran cantidad de materiales que permitan el paso del espectro lumínico y mantener las distintas cepas de microalgas o cianobacterias (Salgado et al., 2019).

2.3.3.2. Fotobiorreactores

Sistema cerrado al máximo para el control de los parámetros de crecimiento y garantizar un mayor crecimiento celular, reduce la probabilidad de contaminación y pérdida de CO₂ del cultivo. Existen clasificaciones derivados de su diseño y modo de operación (Figura 1) (Cid et al., 1992).

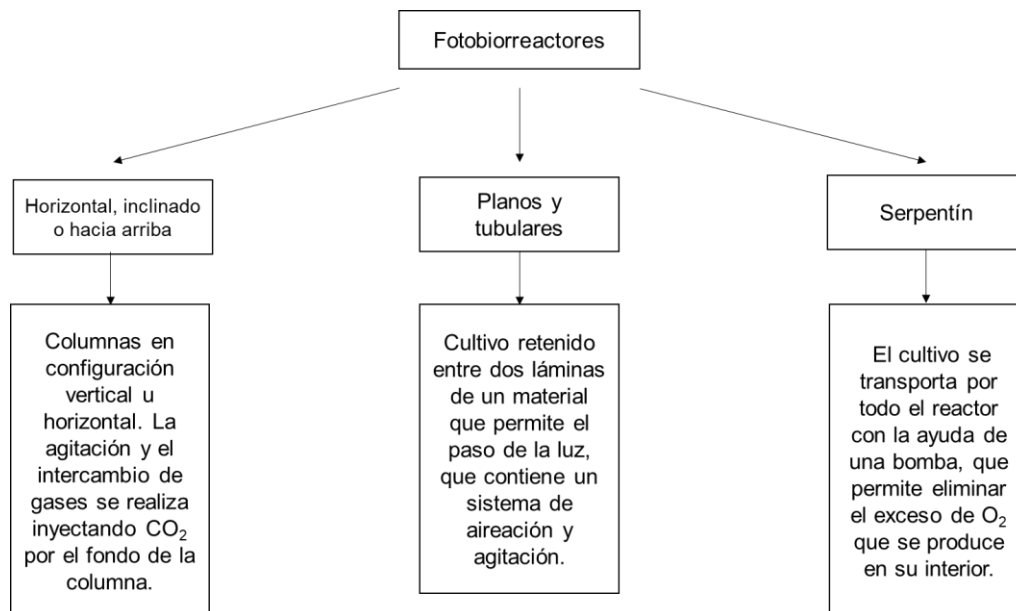


Figura 1 Tipos de biorreactores utilizados para lo producción de microalgas y cianobacterias

A pesar del funcionamiento y el sistema seleccionado para cada cepa se deben tomar en cuenta las ventajas y desventajas (Cuadro 7) que conlleva cada uno de estos sistemas.

Cuadro 7 Principales ventajas y desventajas de los sistemas de cultivo de microorganismos (microalgas y cianobacterias).

Sistema	Ventajas	Desventajas	Referencias
Abierto	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de producción. • Facilidad de construcción. • Facilidad de operación. • Materiales de alta duración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja accesibilidad a la luz. • Evaporación del medio. • Uso de grandes áreas de terreno. • Contaminación por organismos heterótrofos. • Bajo rendimiento. 	(González Céspedes, 2016; Salgado et al., 2019)

	<ul style="list-style-type: none"> • Ambiente controlado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de producción. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de mantenimiento. 	(Garrido et al., 2018;
	<ul style="list-style-type: none"> • Control en los parámetros de crecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales de poca duración 	Hernández & Labbé, 2014; Rizwan et al.,
Cerrado	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de pequeñas áreas de terreno. 		2018; Salgado et al., 2019)

La necesidad de compuestos orgánicos debe ser cubierta para asegurar el crecimiento del cultivo, además de determinar las cantidades óptimas para su operación. Los nutrientes orgánicos más necesarios para el cultivo son:

2.3.3.3. Carbono (C)

Este elemento contribuye a todos los compuestos orgánicos y se encuentra principalmente en la biomasa de las microalgas y cianobacterias llegando a representar el 65% de su peso seco. Algunas de las fuentes que pueden cubrir la necesidad de carbono orgánico son la glucosa, ácido acético y la fructosa (Hernández & Labbé, 2014).

2.3.3.4. Nitrógeno (N)

Segundo elemento abundante en la biomasa con un contenido entre el 1-14% de peso seco, su principal participación en los compuestos químicos esenciales como: los ácidos nucleicos (ADN, ARN), aminoácidos y pigmentos como clorofila y ficocianina, además de ser tomados en forma de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y amonio (NH_4) (Markou et al., 2014).

2.3.3.5. Fósforo (P)

Debido a su unión a otros iones no lo hace disponible para ser adsorbido y se le considera como un factor limitante para el crecimiento celular. Al igual que el N influye en la en la cantidad de carbohidratos y lípidos que se encuentran en la biomasa (Salgado et al., 2019).

Existen otros parámetros que pueden llegar a influir en el crecimiento y producción de biomasa, entre ellos se encuentran la temperatura, el pH y el fotoperiodo.

2.3.3.6. Temperatura

Debe ser tomada en cuenta si los microorganismos fueron aislados de algún sitio en específico, ya que si provienen de zonas polares pueden crecer a una temperatura de 10°C, provenientes de zonas templadas 10-25°C y de zonas tropicales a 28°C. Cabe recalcar que a temperaturas < 16°C el proceso de producción celular será más lento de lo común y > a 38°C pueden ser letales para algunas especies (Barsanti & Gualtieri, 2006).

2.3.3.7. pH

Para garantizar el crecimiento óptimo algunas especies de estos microorganismos se deben encontrar en un rango óptico de pH entre 8.2 a 8.7. El crecimiento en un medio ácido puede ocasionar el colapso de mucho procesos celulares y causando la pérdida del cultivo (Borowitzka, 2013).

2.3.3.8. Fotoperiodo

La luz es uno de los principales precursores de las reacciones fotosintéticas y debe ser considerado un parámetro de operación de vital importancia. La cantidad puede llegar a variar dependiendo del medio y la densidad celular que se desea producir. Las intensidades utilizadas varían entre 100 -200 $\mu\text{E sec}^{-1} \text{m}^{-2}$ lo que asemeja entre un 5-10% de la luz del día. Puede ser aplicada de manera natural o artificial con ayuda de lámparas, se debe tomar en cuenta que no

todas las especies crecen a iluminación constante a lo que deben de aplicarse fotoperiodos para garantizar el crecimiento celular estos pueden variar entre luz/ oscuridad (L:O) en periodos de 16:8, 14:10 y 12:12 (Kim, 2015).

2.4. Medios de cultivo

Estos microorganismos tienen la capacidad de crecer en distintas condiciones (Ortiz et al., 2012):

- 1) Autotróficas: es decir por medio de la conversión de la radiación solar más el CO₂ recuperado por los cloroplastos en ATP y O₂.
- 2) Fotoautótrofas: aquellas que utilizan la luz como fuente de energía y solo necesitan minerales inorgánicos para su desarrollo.
- 3) Heterotróficas: aquellas que obtienen energía mediante la oxidación de compuestos orgánicos y no de la luz, ya que debido a su metabolismo puede adaptarse a distintos medios de cultivo y procesos con ayuda de la biotecnología

Una de las características de mayor importancia es el gasto económico en los medios de cultivo para lograr a producciones a gran escala. Esto ocurre debido al aumento de precios y el impacto negativo al ambiente buscando la posibilidad de utilizar fuentes de nutrientes de bajo costo (Geadá et al., 2017).

Se ha logrado la reducción de hasta un 50% de los costos de producción mediante la utilización de residuos (Cuadro 8) provenientes de la ganadería (principalmente en forma líquida). Se han utilizado como fuente de C, N y P para la producción de biomasa y compuestos con alto valor nutricional, algunos son provenientes de la avicultura y porcicultura (Ortiz et al., 2012).

La producción de biomasa a partir de residuos ganaderos se utiliza para la producción de piensos y biocombustibles que se utilizan para la nutrición animal (Zhu & Hiltunen, 2016).

Por otra parte, la industria alimentaria que se caracteriza por la generación de residuos con altas cantidades de P, N y compuestos orgánicos que llegan a contribuir al problema de contaminación de aguas residuales ya que debido a las características anteriormente mencionadas pueden ser utilizados como medio de cultivo para la producción de microalgas y cianobacterias (Girard et al., 2014).

La incorporación de un cultivo de microalgas al tratamiento de aguas residuales genera una biomasa con alto valor económico y a su vez garantiza la eliminación de N y P disminuyendo problemas de eutrofización y afectaciones a la salud humana (Leite et al., 2019).

Cuadro 8 Residuos de la industria alimentaria y ganadera como medio de cultivo.

Especie	Residuo	Resultados	Referencias
<i>Chlorella sorokiniana</i>	Agua porcícola (AP)	400 L de AP obtiene más del 90% de remoción de materia orgánica con la producción de 1g _L -1 de biomasa.	(Leite et al., 2019)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	Permeado de Suero de leche (PSL)	40% de sustitución del medio comercial aumenta el valor de producción celular (1.083 ± 0.030) comparado con el tratamiento control (0.267 ± 0.083).	(Girard et al., 2014)
<i>Chlorella sorokiniana</i>	Suero de leche (SL)	Provee 26.9% de ω-3, utilizando la biomasa producida como suplemento en marinadas que aportan 6-8% de retención de agua en canales de aves.	(Bazarnova et al., 2019)
<i>Tetradismus obliquus</i>	Permeado de Suero de leche	Reemplazando el 80% del medio comercial por AWP se logró una producción de biomasa de hasta 5g _L -1.	(Bentahar et al., 2019)

2.5. *Arthrospira*

Se les conoce como Spirulina a las especies del género *Arthrospira sp* teniendo principalmente *Arthrospira maxima* y *Arthrospira platensis*. Estas cianobacterias o microalgas verde azuladas (Figura 2) son organismos procariotas, fotosintéticos que cuyo origen data de hace 2.7 billones de años (Fernández et al., 2019). Existen registros de su utilización en la antigua Tenochtitlán, su producción consistía en un lodo de color verde- azul de nombre “tecuitatl” que se producía en sus canoas, siendo recolectado y secado al sol. Una vez seco se colocaba en alimentos como queso para condimentar el maíz (Ramírez y Olvera, 2006). A lo largo de los años la biotecnología de microalgas ha ganado interés para diferentes aplicaciones comerciales y su alto contenido de proteínas (70%) además de contener ácidos grasos esenciales, pigmentos y antioxidantes que permiten explotar la producción de este microorganismo.



Figura 2 Cianobacteria *Arthrospira maxima* al microscopio.

2.6. Composición fisicoquímica y valor nutricional

Su composición química es determinada por las variaciones el medio de cultivo, la temperatura, intensidad de luz y fotoperiodo a las que es sometido, además de ir generando variaciones entre cepa, especie y lote (Cuadro 9) (Torres et al., 2020).

Debido a su composición bioquímica pueden ser utilizadas como suplemento, complemento o una fuente de colorante en los alimentos. En la actualidad la producción de biomasa de estos microorganismos está dominada por cuatro cepas: *Chlorella*, *D. salina*, *Arthrospira* y *Aphanizomenon flosaquae* que se caracterizan por la acumulación de altos niveles de contenido lipídico, llegando a formar parte esencial como el ácido α -linolénico y el ácido linoleico. Además, debido a su contenido proteico y de aminoácidos se les ha considerado como una fuente con buena digestibilidad lo que permite agregarlos sin limitaciones en alimentos o pienso con un impacto positivo en la salud (Spolaore et al., 2006).

Se han reportado estimaciones de volumen de producción aproximadamente a 10 000 ton/año y una generación de \$10 000/año para *Arthrospira*, 4000 ton/año y \$20 000/ ton para *Chlorella* y 200 ton/año y \$100000/ ton para *Hematococcus*. Estos volúmenes de generación corresponden a su peso en seco y los costos pueden tener variaciones dependiendo de su sistema de producción, escala y ubicación (Benemann, 2013).

Cuadro 9 Características fisicoquímicas de los microorganismos fotosintéticos.

Especie	Familia	Lípidos	Proteínas	Carbohidratos	Productos	Referencias
<i>Arthrospira platensis</i>	Cyanobacteria Verde azul	60%	55%	8-14%	γ- ácido linoleico	(Christaki et al., 2011)
					Ficocianina Vitamina B Aminoácidos Ácido araquidónico	
<i>Porphyridium cruentum</i>	Rodophyta Alga roja	9.02%	35%	40.87%	Sulfatos Polisacáridos Ficoeritrina Ácido oleico	(Matos, 2019)
<i>Hematococcus pluviialis</i>	Clorophyta Alga verde	15%	25%	27%	Ácido palmítico Lípidos Antoxantina Proteína Ácido α-	(Spolaore et al., 2006)
<i>Chlorella vulgaris</i>	Clorophyta Alga verde	14- 22%	42%	12-17%	Linoleico Luteína Clorofila	(Matos, 2019)

Una de las propiedades que caracterizan a estos microorganismos es su variedad de pigmentos, que forman parte del sistema fotosintético y se dividen en tres clases (Kim, 2015):

- 1) Carotenoides: colorante que llega a representar de 0.1 a 0.2% del peso seco hasta 14% de peso seco para β -caroteno.
- 2) Clorofilas: representan del 0.5 a 1.0% del peso seco.
- 3) Ficobiliproteínas: representan hasta el 8% del peso en seco.

Después de su producción a gran escala la biomasa recuperada debe tener entre un 7 -10% de contenido de agua, si se sobrepasa este porcentaje de humedad puede llegar a afectar el producto favoreciendo el crecimiento de bacterias y hongos (Matos, 2019).

2.7. Ficocianina

Otra de las razones para la producción de biomasa de microalgas y cianobacterias es la importancia de sus pigmentos entre los cuales se obtiene la comercialización de: Luteína, zeaxantina, β -caroteno, astaxantina, bixina, ficoeritrina y ficocianina (Salgado et al., 2019), que pueden ser utilizados como colorantes en la industria cosmética e industria alimentaria llegando a competir con los colorantes sintéticos debido a que no presentan toxicidad.

La ficocianina tiene como característica principal un color azul, forma parte de la familia de las ficobiliproteínas (PBP) y es uno de los pigmentos con mayor concentración en la cianobacteria *Arthrospira maxima* siendo propulsor de la actividad antioxidante (González et al., 2021).

La producción de este pigmento aumenta cuando la cianobacteria es cultivada con bajas intensidades de luz ($0-120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Se ha observado que la utilización de luz azul llega a favorecer su producción debido a que la longitud de onda es más corta sintetizando grandes cantidades de ficocianina para la aportación de energía. Para optimizar su crecimiento debe ser administrada una gran cantidad de nitrógeno ya que a falta de este nutriente puede disminuir la generación de este (Hsieh et al., 2019).

De las cepas de *A. maxima* y *S. platensis* se pueden obtener dos tipos de ficocianina los cuales son:

- 1) C- Ficocianina: Se emplea en distintos campos de la biotecnología como marcador molecular, agente terapéutico y antiinflamatorio.
- 2) R-Ficocianina: Contiene ficocianobilina y ficoeritrobilina que son las encargadas de dar la coloración azul a sus pigmentos.

2.8. Microalgas y cianobacterias en la nutrición animal

Se estima que el 30% de biomasa producida a nivel mundial es destinada para la nutrición animal, debido a la capacidad de mejorar el contenido nutricional de algunas dietas convencionales. Varias especies cuentan con un alto contenido proteínas y aminoácidos que puede llegar a ser comparado con el aporte de proteínas alimentarias, siendo esto un parámetro fundamental para la dieta humana y animal (Figura 3) ya que proporcionan nitrógeno necesario y ciertos aminoácidos que los organismos no pueden sintetizar y que deben ser suministrados mediante la dieta, llamados aminoácidos esenciales (Amorim et al., 2021) tales como: histidina, lisina, metionina, fenilalanina, cisteína, treonina, triptófano, tirosina, leucina y valina.

En el año 2018, en Estados Unidos el alimento para ganado representó la mayor parte del presupuesto del proceso, en la cría de vacas, becerros y cerdos (68, 75 y 52% respectivamente). Estos costos van en aumento dependiendo de la necesidad de fuentes de nitrógeno y proteínas. La biomasa de estos microorganismos es una fuente de minerales (Christaki et al., 2011). Estas características han permitido utilizar la biomasa para la formulación de dietas para: ganado, peces, cabras, corderos, aves de corral, cerdos y conejos. Se permiten concentraciones que van de un 5-15% de adición de biomasa seca, para obtener mayor producción de leche, huevo y acumulación de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) además de la ganancia en peso, deposición de proteínas en el músculo mediante la obtención de lípidos, proteína cruda y carbohidratos (Acquah et al., 2020).

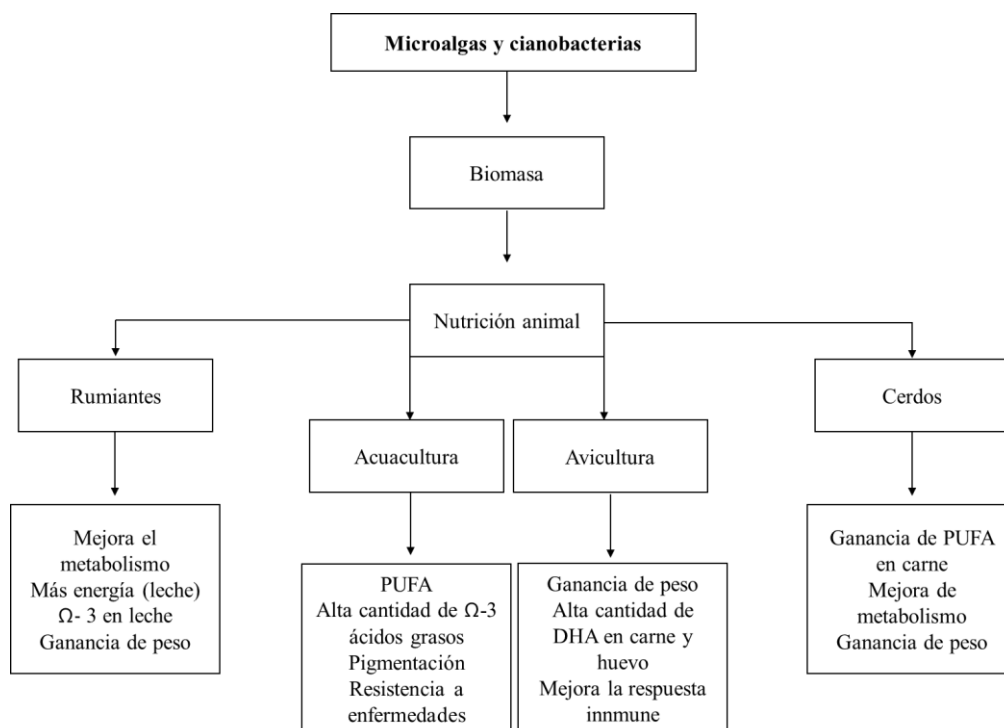


Figura 3 Aplicaciones de la biomasa en nutrición animal.

2.6.1. Avicultura

En el área de la avicultura es muy importante mantener una buena calidad y composición nutricional en la carne y huevo. La suplementación de la dieta con la biomasa de microorganismos como microalgas y cianobacterias influye positivamente en la composición de ácidos grasos. Además, el consumo de alimentos obtenidos de manera saludable puede llegar a disminuir enfermedades en seres humanos, además su aporte en el contenido de antioxidantes y carotenoides disminuye la concentración de colesterol en yema (Boiago et al., 2019).

La especie *Arthrospira* ha sido utilizada como aditivo alimenticio en la nutrición animal debido a su aporte de proteína, con posibilidad de tener efectos sobre la ganancia de peso. Utilizando una adición del 3 y 6% se obtienen mejoras en el rendimiento de postura y calidad de huevo (Ekýzolu et al., 2020). Su aporte energético equivale casi al 90% de la energía que aporta el maíz, 76% de contenido de proteína cruda y aminoácidos esenciales, la adición de biomasa seca puede llegar hasta un 16% sin causar efectos negativos en el rendimiento y peso de las aves (Swiatkiewicz et al., 2015).

2.6.2. Rumiantes

La suplementación con biomasa ha impactado en el contenido ruminal ya que principalmente se utilizan especies de agua salada para el aporte de energía en sustitución parcial del contenido de harina de maíz, aporte de proteína: sustitución parcial de contenido de soya, con efectos potenciales en la mejora del sistema de inmune debido a su contenido de antioxidantes naturales (Altomonte et al., 2018). Existen rangos de suplementación pueden variar desde 4-79g de biomasa seca en cabras y 10-11 g/kg en vacas lecheras (Boeckert et al., 2008).

Las investigaciones que se han realizado previamente se basan en el aporte de los ácidos grasos que marcan una limitante para estas suplementaciones debido a que el contenido de histidina y otros factores asociados a la administración de grandes cantidades de este suplemento pueden afectar la aceptabilidad del alimento y disminuir su consumo impactando directamente en la producción de leche (Costa et al., 2016).

2.6.3. Cerdos

La nutrición en cerdos se divide en cada una de las etapas de su desarrollo destacando la etapa de destete donde se desea cuidar la salud intestinal del animal evitando enfermedades como la diarrea que pueda llegar a afectar su desarrollo, por lo que en esta etapa la suplementación debe ser controlada (Chaves et al., 2021).

En la etapa de engorda es más recomendable la adición de biomasa ya que puede ayudar a la salud intestinal, reducir el uso de antibióticos, aumento de peso, además se puede mejorar significativamente la calidad de la carne (Furbeyre et al., 2017).

2.6.4. Acuicultura

Esta es una de las principales áreas abastecedoras de alimento para la población humana, ya que según la FAO la necesidad de producción de harina de pescado para la suplementación en dietas y la acuicultura se verá rebasada por su demanda en el año 2030 (FAOSTAT, 2020).

Es muy importante que los alimentos tengan un equilibrio para la acumulación de ácidos grasos, es por lo que en la etapa de crecimiento de algunas especies de peces es necesario realizar el mayor aporte de proteínas. Las especies más utilizadas para cubrir estas necesidades son *Arthtopira*, *Scenedesmus* sp., *Chlorella* sp. y *Dunaliella* sp (Cuadro 10).

Su uso para la producción de peces, zooplancton, moluscos, crustáceos y camarones aporta color, nutrientes, propiedades inmunoestimulantes y resistencia a algunas enfermedades (Dineshbabu et al., 2019).

La adición de microalgas vivas como alimento puede traer mucho mayor ventaja ya que no se verían afectados todos sus nutrientes y componentes bioactivos por algún método de filtración o secado llamándole a esto la técnica del agua verde (Ansari et al., 2021).

Cuadro 10 Aplicaciones de biomasa de microalgas y cianobacterias en la nutrición animal.

Especie	Clasificación	Suplementación	Resultados	Referencia
<i>Arthrospira platensis</i>	Ave de corral	0%, 5%, 10% y 15%	Aumento del 15% en el índice de yema	(Boiago et al., 2019)
<i>Arthrospira maxima</i>	Ave de corral	1.5%, 2.0% y 2,5%	Aumento del color de la yema sin efecto sobre el huevo	(Swiatkiewicz et al., 2015)
<i>Arthrospira platensis</i> y <i>Chlorella vulgaris</i>	Rumiante	1:1 Proteína bruta: biomasa	No afecta la ingesta de materia seca o la producción de leche	(Lamminen et al., 2017)
Mezcla de microalgas	Rumiante	10g de biomasa	El porcentaje de grasa láctea disminuyó de 47,9 a 22,0 g/Kg	(Boeckert et al., 2008)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	Acuicultura	4% de reemplazo de biomasa de FM	Mejora el crecimiento y el color de la piel de los peces	(Ansari et al., 2021)
<i>Arthrospira maxima</i>	Acuicultura	0%, 5%, 10%, 15% y 20%	20% Aumento del contenido de proteínas y lípidos	(Abdulrahman, 2014)

2.9. Codorniz japonesa

La codorniz japonesa (*Coturnix japonica*) es uno de los animales con mayor uso en los laboratorios ya que su tamaño y su naturaleza dócil permite experimentar con ella, siendo además un buen modelo aviar.

Para su identificación en la etapa de polluelo se puede observar una coloración marrón claro. Su plumaje en la etapa juvenil se comienza a apreciar a las 4 semanas de edad y sus plumas de etapa adulta a las 6 semanas (Cheng et al., 2010).

Para la identificación entre machos y hembras se puede observar una coloración marrón en el pecho de los macho y abdomen color beige claro. Para la identificación de las hembras tienen una coloración beige claro en el pecho acompañado de puntos marrones (Cheng & Kimura, 1990).

La ventaja de utilizar esta especie es que pueden iniciar su producción de huevo a partir de las 6-7 de edad, su esperanza de vida de aproximadamente 2 a 3 años y el peso entre machos puede rondar entre los 100 a 140 g, las hembras pueden rondar entre 120 a 160 g obteniendo huevos con un peso entre 6 a 10g (Bertechini et al., 2003). Cada hembra puede llegar a producir entre 280 a 300 huevos al año (Sezer 2007).

3. OBJETIVOS

Objetivo General

Estimar la producción de biomasa de una microalga (*Scenedesmus acutus*) y una cianobacteria (*Arthrospira maxima*) utilizando un residuo de la industria alimentaria, (suero de leche) como sustrato para la producción de biomasa y su utilización como suplemento para dietas de codorniz japonesa.

Objetivos específicos

Evaluar diferentes concentraciones de suero de leche en un medio de cultivo mixotrófico en biorreactores de columna de burbuja.

Evaluar la influencia de la adición de suero de leche y *A. maxima* en dietas para codornices de postura.

Evaluar el potencial del suero de leche y *A. maxima* en: ganancia de peso, producción de huevo y calidad nutrimental del huevo (proteína y grasa).

4. HIPÓTESIS

El uso de un residuo de la industria alimentaria (suero de leche) impactará significativamente en la producción celular de biomasa de una microalga (*Scenedesmus acutus*) y una cianobacteria (*A. maxima*). El uso de microorganismos fotosintéticos ayudará a reducir la carga de nutrientes causantes de la eutrofización.

La utilización de la biomasa de microorganismos fotosintéticos impactará positivamente en las dietas de postura de codorniz además de mejorar su contenido de proteína y aspectos como el tamaño de huevo y la coloración de la yema.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Suero de leche como sustrato para la producción de biomasa de *A. maxima*

El suero de leche se obtuvo de la planta piloto de Lácteos (Figura 4) del Centro de Investigación y Desarrollo en Industrias Alimentarias (CIDIA) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL).

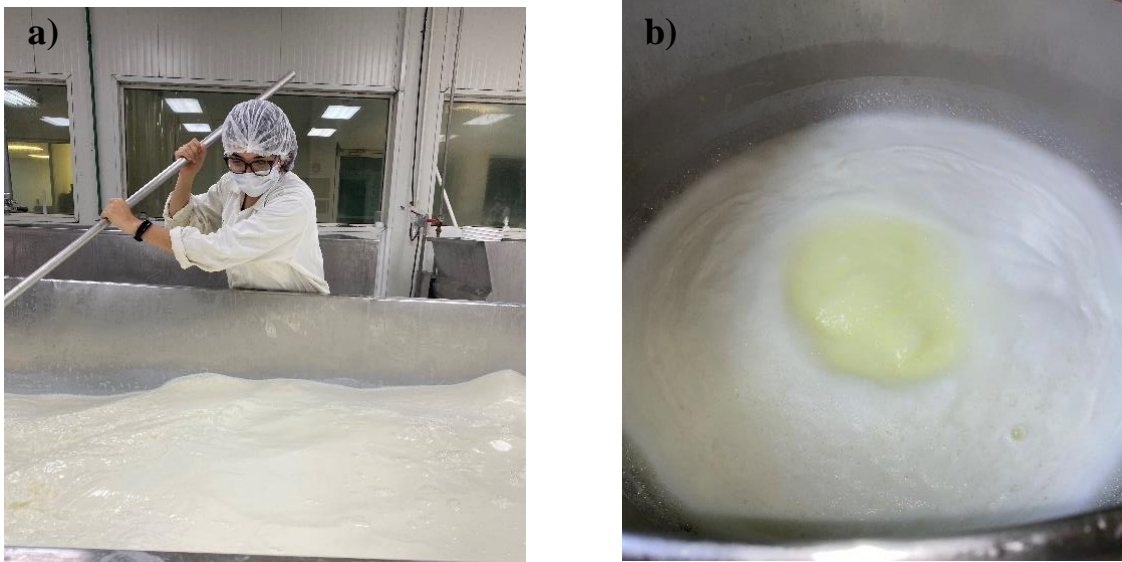


Figura 4 a) Proceso de elaboración de queso panela. **b)** Obtención de suero de leche dulce.

Se realizó la producción de queso Ricota con el suero dulce proveniente de la producción de queso panela. El suero fue sometido a una prefiltración manual a un tamaño de poro de 5 μm . Para descartar algún contenido sólido se realizó una filtración adicional mediante bomba de vacío a un tamaño de poro de 2 μm . Las muestras fueron almacenadas en recipientes de plástico (Figura 5) con una capacidad de 350 mL a una temperatura de -18°C hasta su utilización.



Figura 5 a) Filtración b) almacenamiento de muestras de suero de leche.

La caracterización del residuo se realizó en base a las Normas Oficiales Mexicanas (Cuadro 11) teniendo modificaciones en cuestión al factor de dilución de la muestra.

Cuadro 11 Análisis utilizados en la caracterización del suero de leche.

Método	Referencia	FD
Alcalinidad	NMX-AA-036-SCFI-2001	100
Amonio	Método del Fenol	150
Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001	100
Demanda Química de Oxígeno	NMX- AA-030/1-SCFI-2008	100
Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001	80
Nitratos	Espectrofotometría ultravioleta	200

(4500- NO₃⁻ B)

Nitritos	Método colorimétrico (4500- NO ₂ ⁻ B)	100
Ortofosfatos	Método del ácido ascórbico (4500-P)	200
Sólidos	NMX-AA-004-SCFI- 2013	Directa

FD = Factor de Dilución.

5.2. Material biológico

Las cepas de *Scenedesmus acutus* y *Arthrospira maxima* se obtuvieron del Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste (CIBNOR). El inóculo fue producido en condiciones estériles colocados en recipientes de 1 L, se mantuvieron en fase de crecimiento exponencial en medio comercial Zarrouk a una temperatura ambiente (30-34°C) y un fotoperiodo de 16:8 e intensidad de luz de 300 klux.

5.3. Diseño experimental

Se realizaron pruebas preliminares en las cepas *S. acutus* y *A. maxima* por triplicado con cuatro sustituciones del medio comercial (Zarrouk) por suero de leche (Cuadro 12).

Cuadro 12 Tratamientos suplementados con suero de leche.

Tratamiento	Sustitución con suero
C	Control 100% medio Zarrouk
5%	5% Suero+ 95% Medio Zarrouk
10%	10% Suero + 90% Medio Zarrouk
15%	15% Suero + 85% Medio Zarrouk
20%	20% Suero + 80% Medio Zarrouk

Las cepas fueron colocadas en un reactor de columna de burbuja, elaborado con acrílico de 25cm de alto, diámetro de 7.62 cm y un volumen de operación de 800 mL (Figura 6).

Se tomaron 2 mL cada 2 días para el monitoreo de crecimiento celular y 12 mL cada 4 días para el monitoreo de nutrientes (Amonio, Ortofosfatos, Nitratos, Nitritos y DQO).

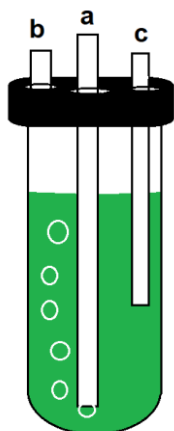


Figura 6 Representación esquemática de reactor de columna de burbuja.

a) entrada de aire, b) salida de aire, c) manguera para muestreo.

Para el monitoreo celular de las cepas y debido a la turbidez del residuo, se descartó el monitoreo del crecimiento celular mediante espectrofotometría y se optó por realizarlo mediante conteo celular con cámara de Neubauer (Figura 7) utilizando la ecuación [1].

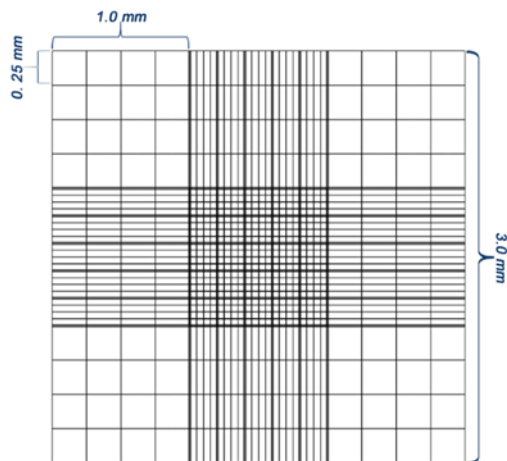


Figura 7 Representación de la Cámara de Neubauer para conteo celular.

Para realizar el cálculo del volumen inicial de los reactores se estableció una concentración de 5×10^6 cel/mL para *S. acutus* y 2.85×10^5 cel/mL para *A. maxima*.

$$C = N \cdot 10^4 \cdot dil \quad [1]$$

En dónde:

C= células/ mililitro (cel/mL)

N= promedio de células presentes en $0.1 \mu\text{L}$

dil= factor de dilución (si se considera diluir la muestra)

5.4. Composición de la biomasa

El análisis de contenido de proteína y carbohidratos de la biomasa obtenida se realizó en el Laboratorio de remediación ambiental, análisis de agua, suelo y plantas de la FAUANL, ubicado en el Campus de Ciencias Agropecuarias, Gral. Escobedo N.L., los análisis realizados fueron: Antrona para carbohidratos, Bradford para proteínas y así poder realizar selección de la cepa con mayor producción celular y contenido nutricional.

5.5. Producción de biomasa

La cepa y el porcentaje que mostró mayor crecimiento celular se colocó en recipientes de 20 L para la producción de biomasa. Para escalar a un nivel planta piloto se utilizaron dos recipientes de 150 L (Figura 8). Se utilizó un fotoperiodo natural (en la época de otoño) a nivel invernadero durante 20 días. La biomasa obtenida fue depurada mediante un filtro de nylon con un tamaño de poro de $5\mu\text{m}$ y se centrifugó a 4000 rpm a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su separación con el medio de cultivo hasta obtener una pasta color verde azulado, el cual se recolectó en bolsas de 40 g y fueron almacenadas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 8 Producción de biomasa a mediana escala.

Posteriormente fueron colocadas en un horno de secado durante 48 hrs a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que no hubiera presencia de humedad y fueron pulverizadas en un mortero. La biomasa en polvo se

colocó en bolsas con sello hermético y fue almacenada a temperatura ambiente hasta su utilización.

5.6. Aplicación codorniz japonesa

Un total de 60 codornices japonesas (*Coturnix japonica*) de 6 semanas de edad fueron utilizadas durante cuatro semanas de experimentación. Las aves fueron asignadas completamente al azar en un acomodo de cuatro tratamientos, donde la biomasa de *A. maxima* y el suero de leche fueron incorporados a la dieta (Cuadro 13). Se les colocó una marca con esmalte de diferentes color para su identificación.

Cuadro 13 Dieta para codorniz de postura.

Ingredientes (g)	Tratamiento			
	1	2	3	4
Sorgo	2350	2390	2170	2235
Harina de soya	1874	1678.5	1876.5	1676
Suero de leche	-	-	150	150
<i>A.maxima</i>	-	150	-	150
Aceite vegetal	200	200	225	210
Fosfato monocálcico	25	25	25	25
Carbonato de Calcio	480	485	485	485
Sal	20	20	20	20
Lisina (78%)	16	17.5	14	16

Metionina (99%)	15	14	15	14
Treonina (99%)	2.5	2.5	2	1.5
Cloruro de Colina	5	5	5	5
Premix Vit+Min	12.5	12.5	12.5	12.5
TOTAL	5000	5000	5000	5000

Cada tratamiento tuvo cinco jaulas (réplicas) con tres aves cada una. El suero dulce fue obtenido con el apoyo de la empresa Trouw Nutrition ® ubicada en San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

Las dietas experimentales fueron elaboradas en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de los Alimentos de la FAUANL (Figura 9) y colocadas en cubetas de 20 L debidamente identificadas para su protección a la humedad y traslado al área de experimentación. Las codornices se obtuvieron del Rancho “Las Reinas” ubicado en el municipio de Doctor González N.L., las aves fueron alimentadas y monitoreadas hasta la postura de huevo.



Figura 9 Unidad experimental del laboratorio de Nutrición Animal FAUANL.

Las dietas experimentales formuladas para cubrir los requerimientos nutricionales de las codornices de postura (Figura 10) de acuerdo con los requerimientos sugeridos por Omidwira (2016) y fueron suministradas durante 29 días. El agua y alimento fueron proporcionados diariamente registrando el rechazo de cada una de las jaulas.

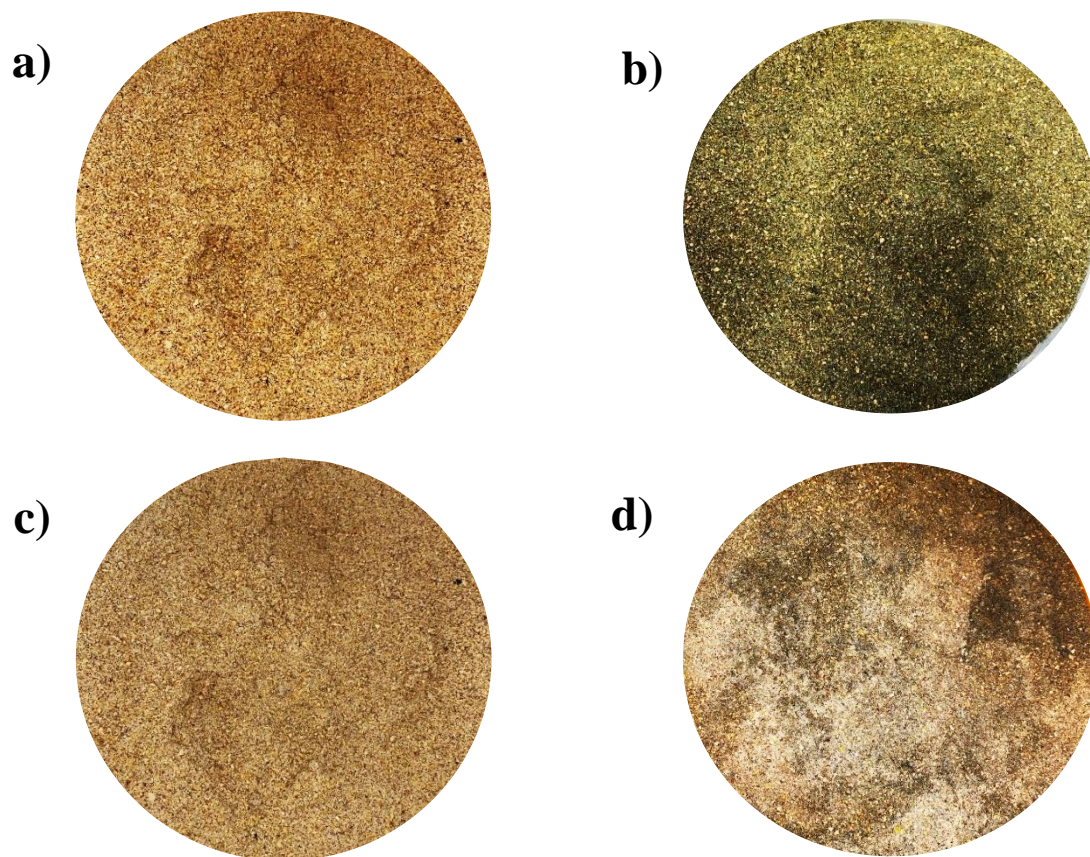


Figura 10 Dietas experimentales preparadas para la alimentación de las codornices. a) Tratamiento control. b) 3% *A. maxima*. c) 3% suero de leche. d) 3% *A. maxima* + 3% suero de leche.

5.7. Área del experimento

El experimento fue realizado en la Unidad de Nutrición Experimental del Laboratorio de Nutrición y Calidad de Alimentos de la Facultad de Agronomía, el espacio destinado para la experimentación constaba de un cuarto con un tamaño de 3 m x 5 m. Las 20 jaulas tenían una medida de 38 cm de ancho, 55.5 cm de largo y 33 cm de altura, además de tener una malla protectora en la parte superior.

A cada una de las 20 jaulas se les colocó un bebedero y un comedero que eran lavados diariamente y una cama de aserrín que fue cambiada una vez a la semana. Antes de iniciar con el experimento las aves estuvieron siete días en etapa de adaptación a las jaulas y condiciones del área de experimento, su cuidado fue realizado cubriendo lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999.

5.7.1. Registro de variables

El alimento fue suministrado diariamente con un consumo aproximado de 30 g por ave (Figura 11). El ofrecimiento y rechazo de alimento fueron pesados utilizando una báscula electrónica (Marca TRUPER® 5EP) con capacidad de 5 Kg y división mínima de 1 g y el cálculo de consumo fue realizado semanalmente.



Figura 11 Pesaje de alimento para los comederos de cada jaula.

El peso de cada ave fue registrado por semana de manera individual con la ayuda de una báscula electrónica (Marca TRUPER® 5EP) con capacidad de 5 Kg y división mínima de 1 g y un recipiente para facilitar el manejo del individuo (Figura 12).

Las variables de respuesta de este estudio fueron: consumo de alimento (CA) ganancia de peso (GP), producción de huevo (PH). Los datos de GP se obtuvieron realizando el pesaje de manera semanal, CA se obtuvo mediante la suma del consumo de alimento de manera semanal, PH se obtuvo mediante la suma semanal de los huevos producidos diariamente por cada jaula.



Figura 12 Pesaje semanal a cada una de las aves utilizadas en el experimento. a) Recipiente para garantizar el correcto manejo del ave. b) Pesaje de ave del tratamiento con *A. maxima*.

5.7.2. Evaluación de la calidad de huevo

La producción de huevo (cantidad y peso) fueron registradas diariamente. Las muestras de huevo destinadas para el análisis proximal fueron recolectadas seleccionando 9 piezas al azar (Figura 13) en los días inicial (D0), intermedio (D15) y final (D29) para el análisis fisicoquímico.



Figura 13 Selección de piezas de huevo por tratamiento a diferentes tiempos (D0, D15 y D29).

Los parámetros productivos (PP) como el índice de forma (Figura 14), largo y ancho de huevo se midieron con la ayuda de un vernier digital marca TRUPER® y los cálculos se realizaron mediante la ecuación 2.

$$\text{Índice de forma} = \frac{\text{Ancho}}{\text{Longitud}} \times 100 \quad [2]$$

Para determinar la proporción de clara, yema y cascarón de huevo, las muestras se hirvieron durante 13 minutos en agua a una temperatura entre 90-100°C (Figura 14). El peso de cada componente fue registrado, como lo menciona Fathi (2020), el grosor del cascarón se midió con un micrómetro de tornillo (Mitutoyo, serie 103).

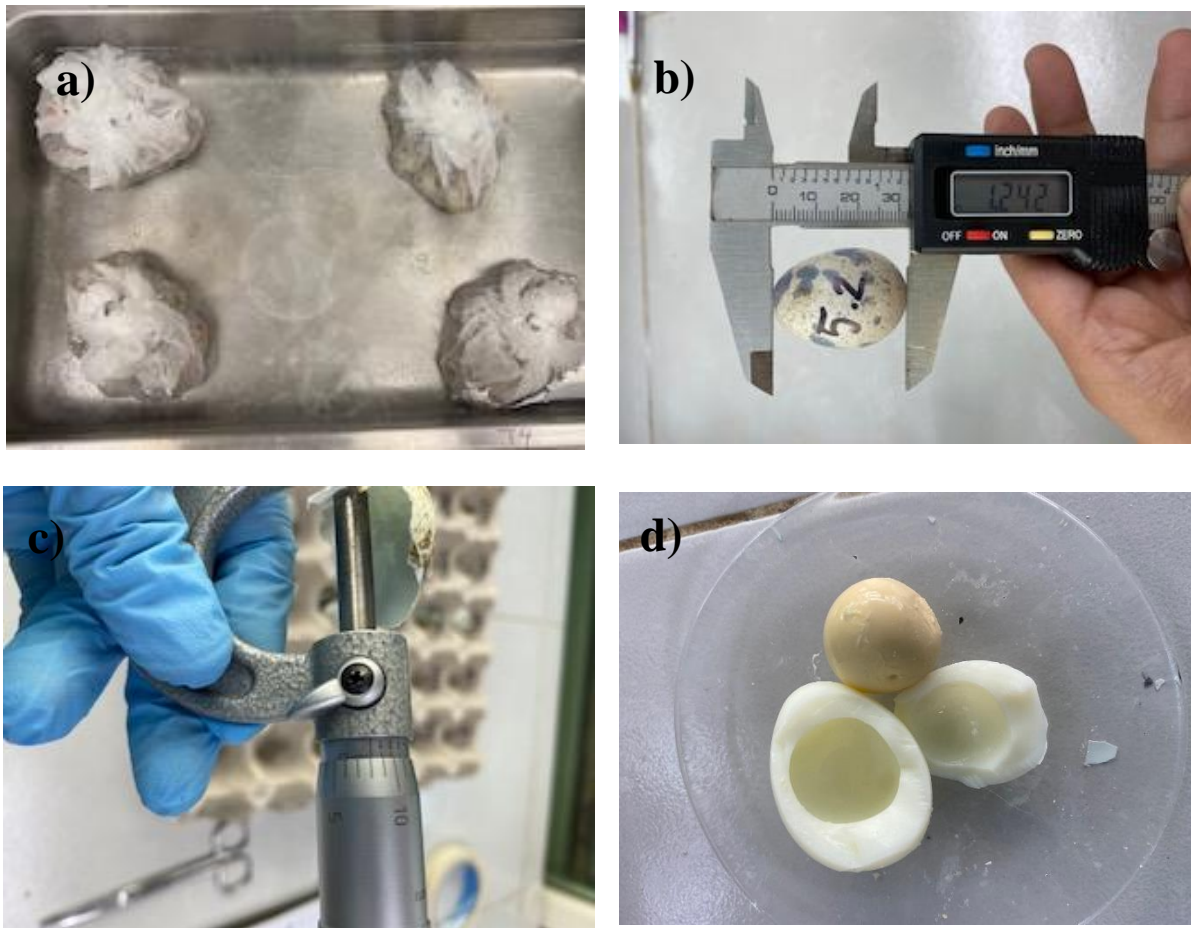


Figura 14 a) Preparación de muestras de huevo. **b)** Medición de huevo (largo y ancho), **c)** Medición de grosor de cascarón de huevo. **d)** Determinación de clara/ yema.

La determinación de color de yema fue registrada en valores de L^* (Luminosidad), a^* (colores rojo-verde), b^* (color amarillo-azul), c^* (saturación de color) y h^* (tono de color) (Spasevski et al., 2018) mediante la utilización de un cromámetro digital (TCD100®, China).

5.7.3. Contenido Materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC) y grasa en muestras de las dietas y huevo

Los análisis para la determinación química de las dietas y muestras de huevo se realizaron en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de Alimentos de la Facultad de Agronomía de la UANL.

El contenido de materia seca (MS) se determinó en las dietas y el huevo utilizando 1g de muestra mediante el método 930.15 descrito por la AOAC (2005), las muestras se secaron a 100°C.

Para la determinación de contenido de proteína cruda (PC) se empleó el método de Kjeldahl por medio del cual se cuantifica el N total de la muestra (Etheridge et al., 1998). El contenido de proteína cruda (PC) se calcula de acuerdo con McDonald (2002) como lo menciona la ecuación 3.

$$\text{Proteína cruda} \left(\frac{g}{kg} \right) = \frac{g \text{ N}}{Kg} \times 6.25 \quad [3]$$

Para la extracción de grasa se utilizó como solvente éter de petróleo y el equipo ANKOMXT10 (AOCS Am5-04).

5.8. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza ANOVA para cada una de las variables, mediante un diseño completamente al azar. En caso de existir alguna diferencia significativa entre los tratamientos, se realizó una comparación de medias por el método de Tukey. Se consideró diferencia significativa si $P < 0.05$. Se utilizó un intervalo de confianza del 95% para cada una de las pruebas, los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico SPSS®, versión 24.

6. RESULTADOS

VALORIZACIÓN DEL SUERO DE LECHE COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *A. maxima*

6.1. Caracterización de suero de leche

La composición del suero en este caso la fabricación de queso Ricota (Cuadro 14) puede presentar variaciones dependiendo de algunos factores, principalmente la calidad de la leche obtenida desde la ordeña y durante su proceso de fabricación hasta el producto final, para la recuperación de algunos nutrientes.

Cuadro 14 Caracterización del suero de queso ricota.

Componente	Unidades	Concentración
Sólidos totales	mg/L	62850 ± 1276.71
Sólidos totales volátiles	mg/L	56250 ± 1226.10
Sólidos totales fijos	mg/L	6600 ± 141.42
Sólidos disueltos	mg/L	58723.33 ± 888.61
Sólidos disueltos volátiles	mg/L	52756.66 ± 915.23
Sólidos disueltos fijos	mg/L	5966.66 ± 57.73
Nitratos	mg/L	336.42 ± 2.75
Nitritos	mg/L	713.63 ± 87.03
Ortofosfatos	mg/L	357.73 ± 3.11
Amonio	mg/L	639.02 ± 22.70
Conductividad Eléctrica	s/m	5.39 ± 0.11

pH		6.38 ± 0.02
Sulfatos	mg/L	1050.28 ± 9.78
DQO total	mg/L	14077.77 ± 1677.74
Turbiedad	NTU	193.2 ± 89.56
Alcalinidad		5100 ± 100
Dureza	mg/L CaCO ₃	1520 ± 92.38
Cloruros	Cl ⁻ mg/L	1.64 ± 0.12

Los resultados reportados por los análisis de laboratorio muestran una concentración alta con respecto a la DQO que se tiene como límite máximo permisible 300- 600 mg/L, presentando 14077.77 mg/L. Los valores de pH se encuentran dentro del límite máximo permisible 6.9.

6.2. Sustitución de medio de cultivo

Utilizando la cepa *S. acutus* se probaron los tratamientos control, 5 y 15% de suero de leche adicionado al medio de cultivo (Figura 14) registrando el crecimiento de biomasa. Como se observa en la Figura 15, se comprobó que la inhibición del crecimiento celular es producida a concentraciones altas de suero en este caso a partir del 15%.



Figura 15 Producción de biomasa de las cepas *S. acutus*.

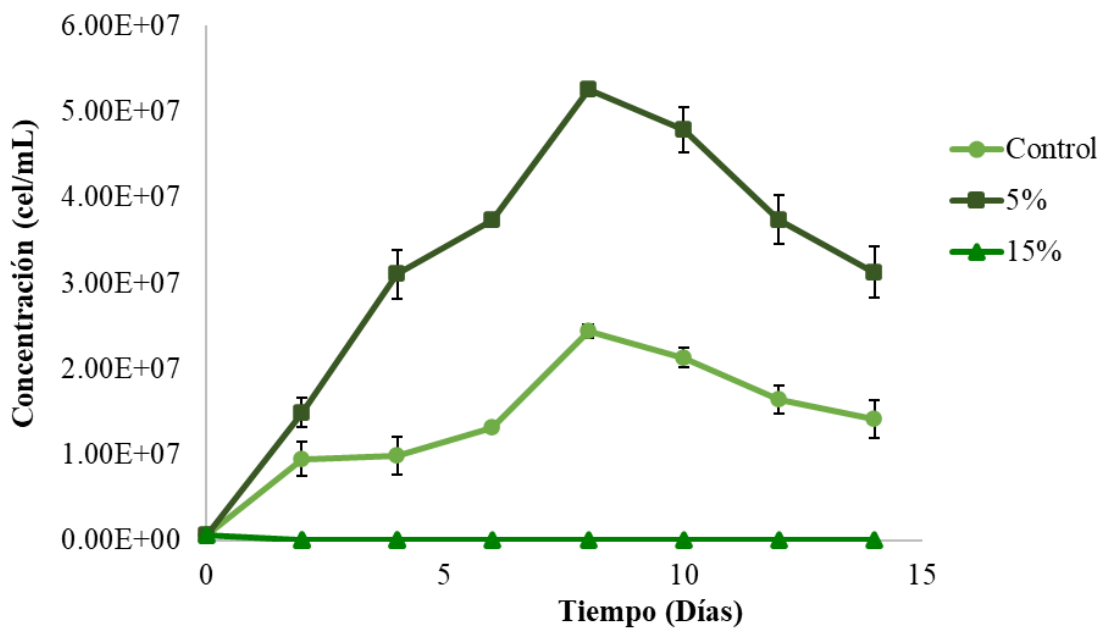


Figura 16 Crecimiento celular de la cepa *S. acutus*.

Como se observa en la Figura 16, el crecimiento celular de la cepa *S. acutus* se vio afectado a partir de la sustitución con el 15% de suero de leche modificando sus valores de pH de 9 a 5.0

cambiando la coloración de verde a blanco y una baja concentración celular decidiendo concluir con la experimentación de esta cepa (Figura 17).

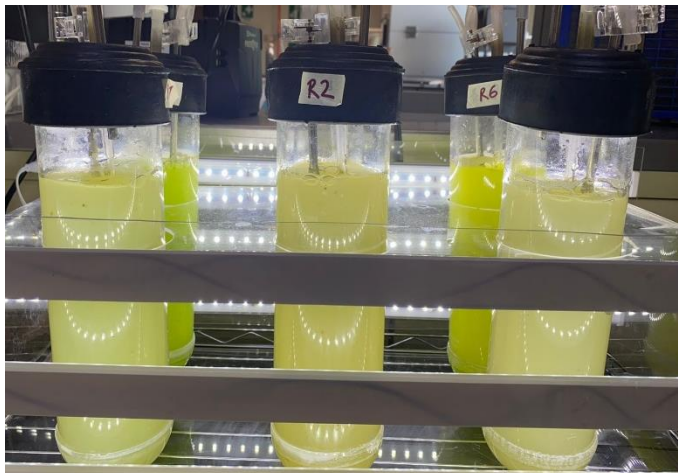


Figura 17 *S. acutus* con una sustitución del 15% de medio Zarrouk con suero de leche.

Al presentarse problemas con la cepa *S. acutus* se decidió trabajar con la cianobacteria *A. maxima* (Figura 17) e iniciar las pruebas de crecimiento celular con las concentraciones preliminares con esta nueva cepa (Figura 18).



Figura 18 Producción celular de *A. maxima* con suero de leche.

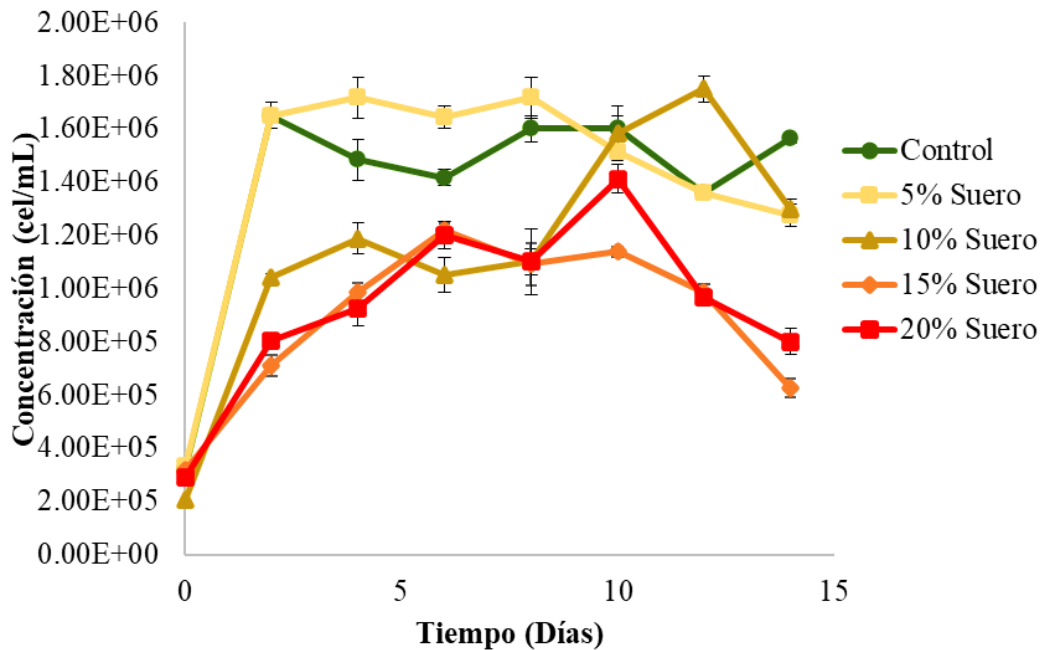


Figura 19 Comparación del efecto de la sustitución de suero de leche sobre la concentración celular de *A. maxima*.

En la Figura 19 se puede observar que durante la etapa de producción celular los porcentajes de 5 y 10% de sustitución de suero de leche al medio comercial (Zarrouk) como los tratamientos más promisorios para la producción de biomasa, los valores obtenidos fueron comparados con los obtenidos con el medio comercial (Control) como la mejor fuente de nutrientes para la cepa de *A. maxima*.

Con el medio de cultivo comercial se alcanzó una concentración celular de 1.56×10^6 células/mL. Se registraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos, obteniendo que

la sustitución con el 5% de suero de leche es la óptima para la producción de biomasa, habiendo registrado un total de 1.40×10^6 células/mL.

Se observó que mediante aumentaba la sustitución del medio comercial con suero de leche, se obtiene menor producción celular que con los tratamientos control, 5 y 10%. A pesar de presentar variaciones en sus valores de pH y concentración celular se mostraba una mejoría con el uso de esta cepa comparada con los resultados obtenidos de la cepa *S. acutus*.

El aumento de sustitución de medio comercial (Zarrouk) por suero de leche derivó una variación de los valores finales de pH. Como se observa en el Cuadro 15 el tratamiento control tuvo un valor final de pH de 9.3 mientras que el tratamiento con adición de 20% de suero de leche el valor final fue de 5.9.

Cuadro 15 Monitoreo de pH de los distintos tratamientos con sustitución de suero de leche.

Tratamiento	Inicial	Final
Control	9.5	9.3
5%	9.5	9.1
10%	9.2	9.0
15%	9.0	8.3
20%	8.9	5.9

6.3. Monitoreo de nutrientes

6.3.1. Monitoreo de Nitrógeno (N)

6.3.1.1. Nitratos (NO₃-)

Para el monitoreo de Nitrógeno se encontraron variaciones en cuestión a los tratamientos que contenían mayor porcentaje de suero de leche.

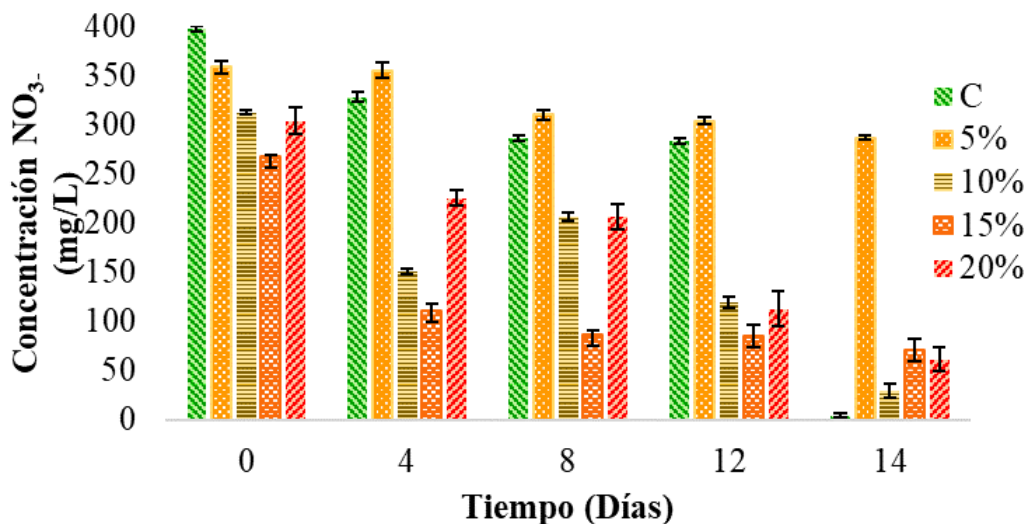


Figura 20 Concentración de NO₃- durante los 14 días de experimentación (P value = 0.001)

En la Figura 20 se observó que la concentración se mantuvo alta durante los 14 días evaluados en el tratamiento con una sustitución del 5% de suero, incluso llegó a mantenerse en concentraciones similares en los días finales del experimento.

En los tratamientos control, 10, 15 y 20% se puede observar que la concentración de Nitratos va disminuyendo conforme pasan los días de experimentación.

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las concentraciones de Nitratos (NO₃⁻) de los tratamientos suplementados con suero de leche y el tratamiento control. El tratamiento

con 5% resultó con mayor producción, también se puede observar que el tratamiento con 15% de sustitución presenta menor concentración de Nitratos.

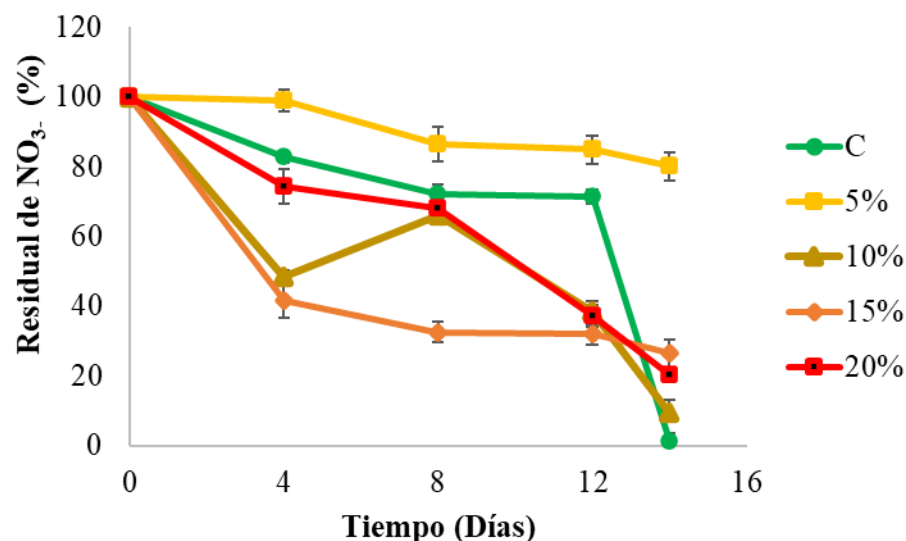


Figura 21 Residual de NO_3^- durante los 14 días de experimento.

En la Figura 21 se observa el porcentaje residual durante los 14 días de experimentación, se observa una disminución considerable a partir del día 8 en la mayoría de los tratamientos. Se demostró que los tratamientos control, 10, 15 y 20% mostraron valores residuales entre un 73 a 99% durante los días finales del experimento.

A excepción del tratamiento con 5% de sustitución de medio comercial con suero de leche se observó mayor consumo de Nitratos obteniendo residuales del 20% lo que nos indica que esta sustitución es la que más aprovecha su concentración para la producción de biomasa, como lo

reporta Sitt et al., (2002) estas concentraciones favorecen la disponibilidad de los aminoácidos necesarios asimilando el contenido de amoniaco en las sepas de *A. maxima*.

6.3.1.2. Nitritos (NO₂-)

Durante la experimentación se observaron aumentos en la concentración de Nitritos, especialmente con los tratamientos del 5, 10 y 15% de adición de suero de leche al medio de cultivo.

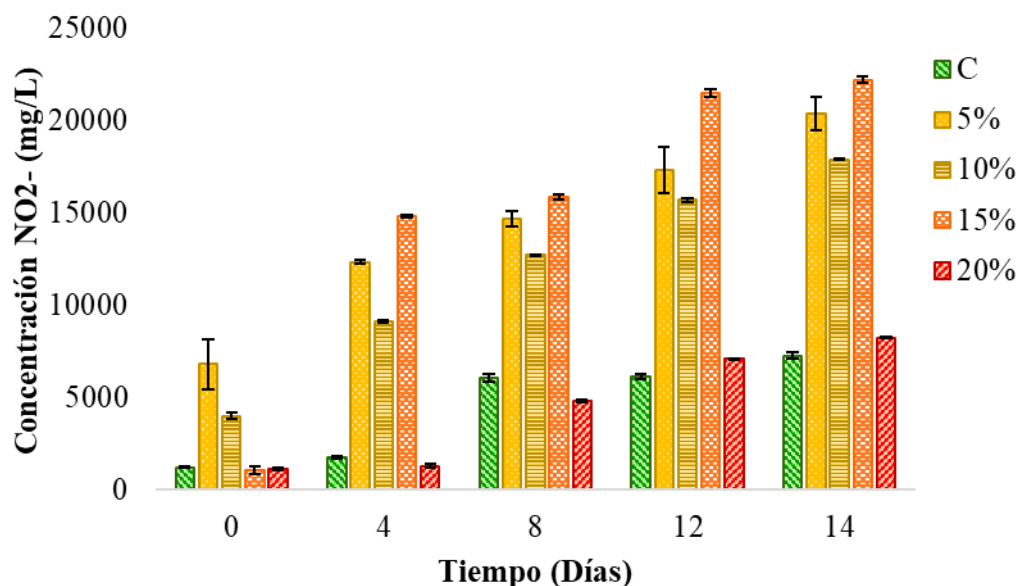


Figura 22 Concentración de NO₂- durante los 14 días de experimentación (P value= 0.000).

En la Figura 22 se observó que la concentración de Nitritos fue aumentando en los tratamientos con 5, 10 y 15% de suero de leche entre la concentración inicial de 5000 mg/L, llegando a

mantenerse en valores similares que van entre 15000 a 20000 mg/L durante los últimos días del experimento.

Los tratamientos control y 20% de suero de leche tienen una concentración inicial baja comparada con los otros tratamientos que va entre 1200 mg/L llegando a mantenerse los últimos días en valores van entre los 7000 a 8000 mg/L.

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos suplementados con suero de leche y el tratamiento control. Los tratamientos de 5, 10 y 15% de suero mostraron ser similares en base a su concentración de Nitritos (mg/L) comparados con los tratamientos Control y 20%.

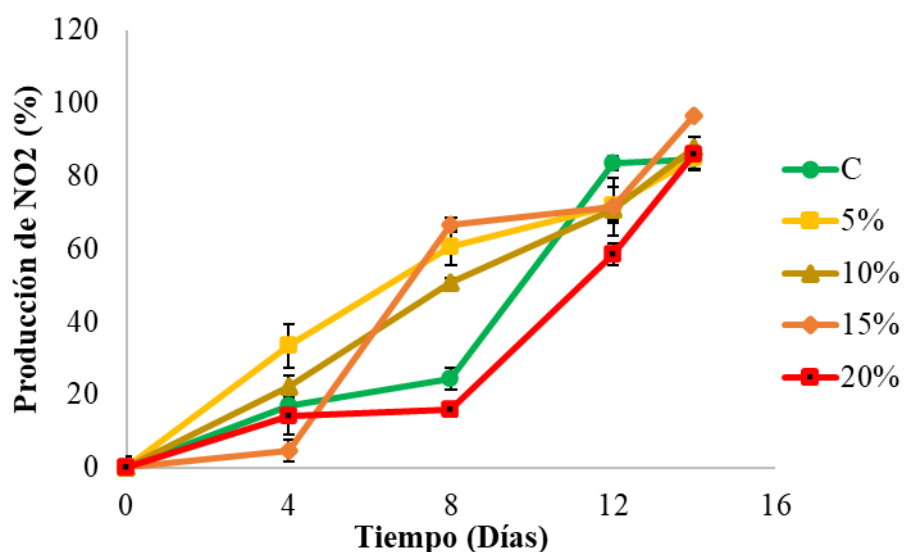


Figura 23 Porcentaje de producción en base a Nitritos durante los 14 días de experimento.

En la Figura 23 se puede observar que se presenta una producción a la alza a partir del día 8 en la mayoría de los experimentos. También se puede observar que los porcentajes de producción en la etapa final presentan valores similares que van del 88 al 90% en los tratamientos control, 5, 10 y 20% presentando una ligera diferencia el tratamiento con el 15% de sustitución de medio comercial con suero de leche llegando a un 96% de producción.

6.3.2. Ortofosfatos (PO_4^{3-})

El comportamiento de la cepa *A. maxima* para la producción de Fósforo se observan en la Figura 24.

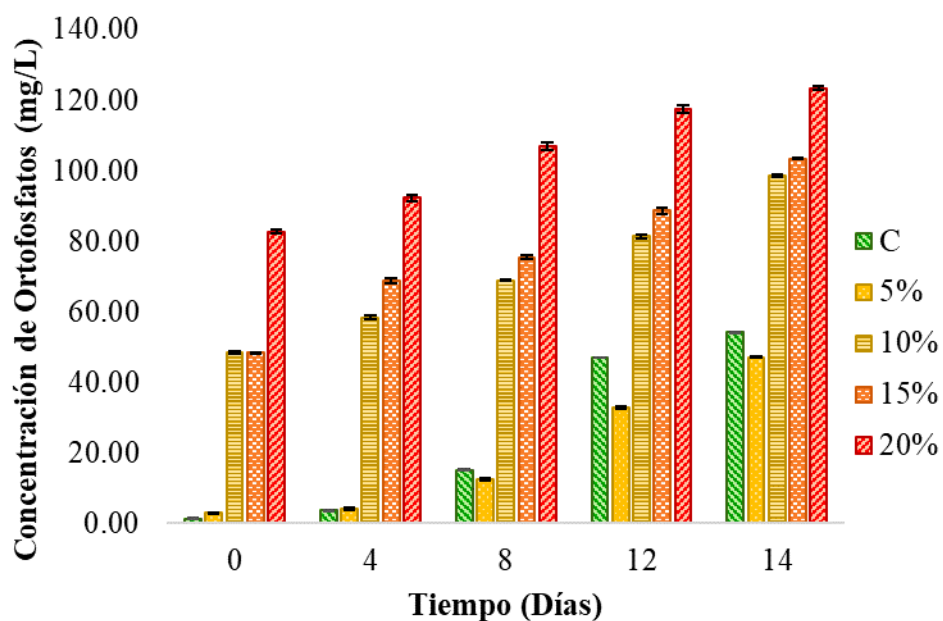


Figura 24 Concentración de Ortofosfatos (PO_4^{3-}) durante los 14 días de experimentación (P value = 0.01).

Como se muestra en la Figura 24 concentraciones de P en los tratamientos control y 5% tienen valores iniciales de 1 a 2 mg/L, mostrando diferencia comparados con los tratamientos del 10% y 15% de sustitución de medio comercial con suero de leche. Estos tratamientos muestran concentraciones iniciales entre los 48 a 80 mg/L manteniendo su concentración similar a partir del día 12 de experimentación, llegando a concentraciones de hasta 100 mg/L.

El tratamiento con mayor concentración conforme pasa los días es el que corresponde al 20% de sustitución teniendo valores elevados desde el día inicial 82 mg/L hasta el día final 123 mg/L.

En cuestión a las concentraciones de Ortofosfatos de cada uno de los tratamientos, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$). En este caso el 20% de sustitución de suero de leche mostró tener una mayor concentración y el tratamiento control presentó la menor concentración.

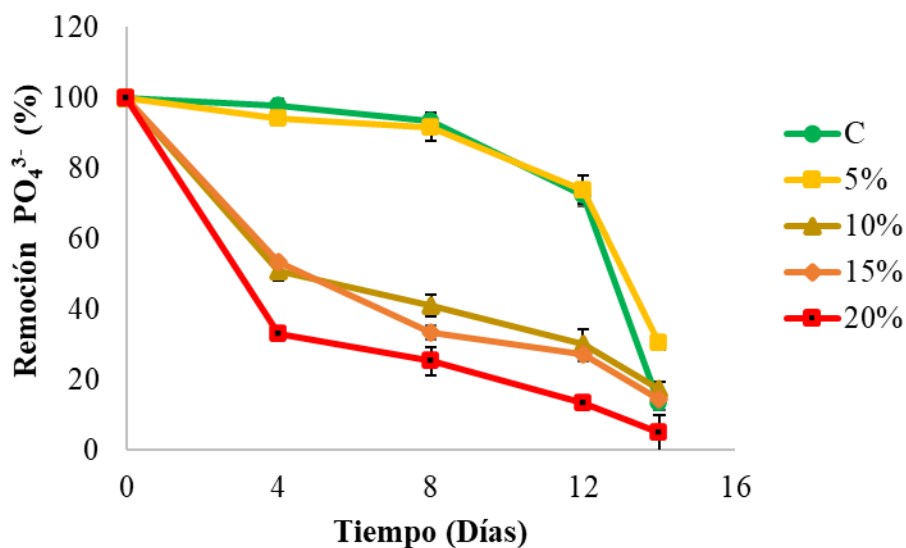


Figura 25 Remoción de Ortofosfatos durante los 14 días de experimentación.

Los valores de remoción de Fósforo en el día 14 presentan porcentajes de reducción de un 70 hasta un 95% quedando el medio de cultivo sin presencia de este nutriente correspondiendo con la fase de muerte celular, como lo menciona Grobbelaar (2012), la ausencia de este nutriente conlleva a limitaciones de crecimiento celular.

6.3.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Una de las variables con mayor impacto en las aguas residuales de la industria alimentaria es la DQO y en base a los valores obtenidos en la caracterización del residuo (14077.77 mg/L) se desea una remoción considerable de este parámetro.

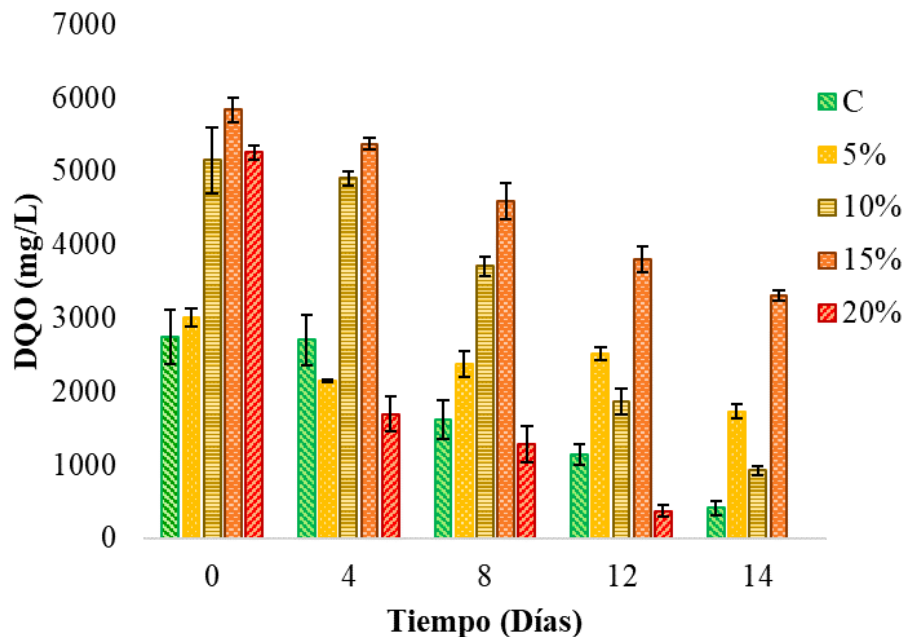


Figura 26 Concentración de DQO durante los 14 días del experimento (P value = 0.00)

En cuestión a la concentración de DQO, en la Figura 26 se observó que a partir de los 8 días fue disminuyendo. Específicamente se puede observar que en entre los días 2-4 se obtuvo una reducción considerable en la mayoría de los tratamientos. Esto se le atribuye al proceso de adaptación de la cepa con el residuo y el tipo de reactor. Este tiempo puede llegar a variar dependiendo del tipo de residuo que se utilice.

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos con sustitución del medio de cultivo con suero de leche, se puede observar que el tratamiento con el 15% presenta mayor concentración de DQO con 5838 mg/L comparado con el tratamiento con el 20% de sustitución con concentraciones de 1282 mg/L.

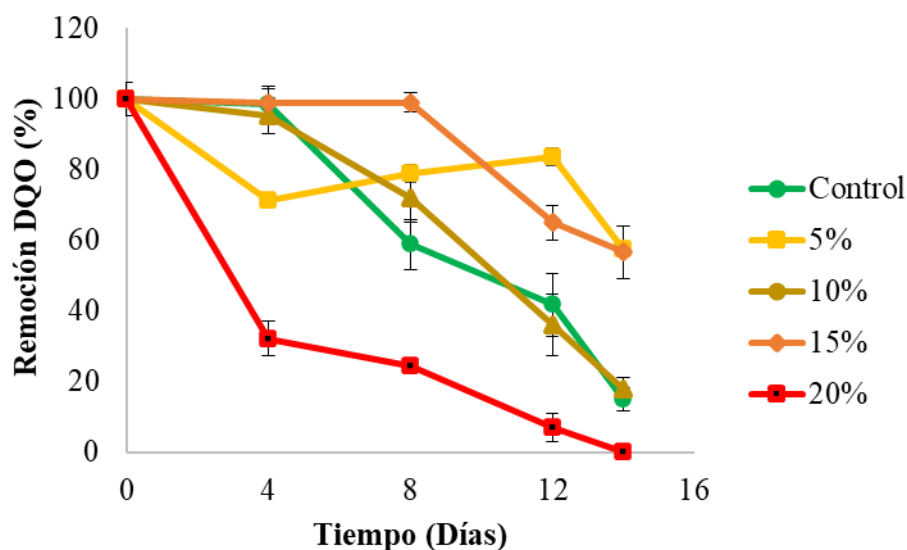


Figura 27 Remoción de DQO del cultivo de *A. maxima* durante los 14 días de experimento.

El porcentaje máximo de remoción de DQO en este experimento corresponde al 84% obtenido por el tratamiento control, también el uso de 10% de suero de leche obtuvo un porcentaje similar 82% siendo representado en la Figura 27.

6.3.4. Amonio (NH_4^+)

En el cultivo se presenta el Nitrógeno en forma de Amonio que beneficia el crecimiento de las microalgas y cianobacterias.

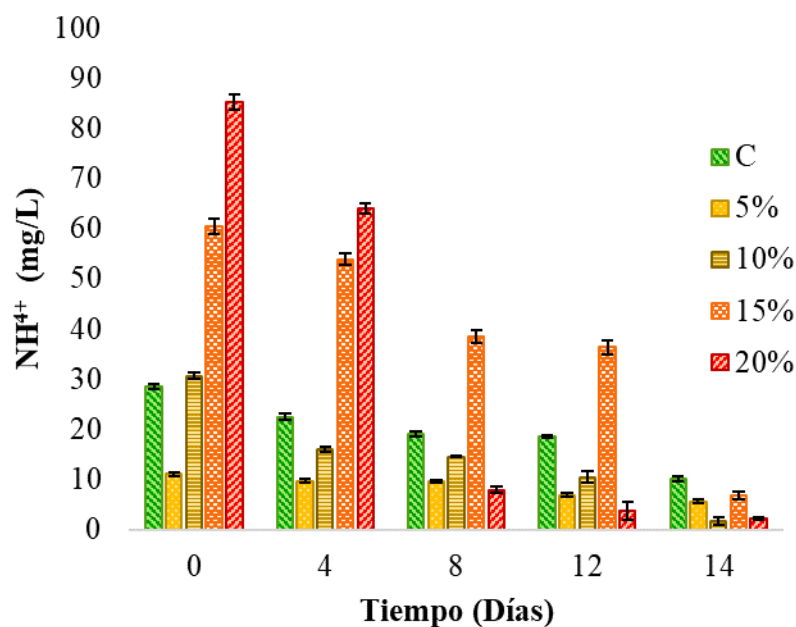


Figura 28 Monitoreo de producción de Amonio durante los 14 días de experimento (P value = 0.004)

En la Figura 28 se puede observar que apartir del día 8 se presentó una disminución considerable en el tratamiento con 20% de sustitucion de medio comercial con suero de leche, con una

concentración de 64 a 8 mg/L. En todos los tratamientos se pueden observar comportamientos similares en los días 12 y 14 del experimento.

Se puede observar que el Amonio fue consumido de manera casi total en los días 12 y 14 de experimentación lo que nos puede causar limitaciones en el crecimiento celular y estimular la acumulación de lípidos en sus células (Park et al., 2011).

Se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos, el 15% de sustitución de medio comercial con suero de leche mostró tener un amayor concentración de amonio (86 mg/L) y el tratamiento con menor concentración corresponde al 5% de suplementación con una concentración de 11 mg/L en sus concentraciones iniciales.

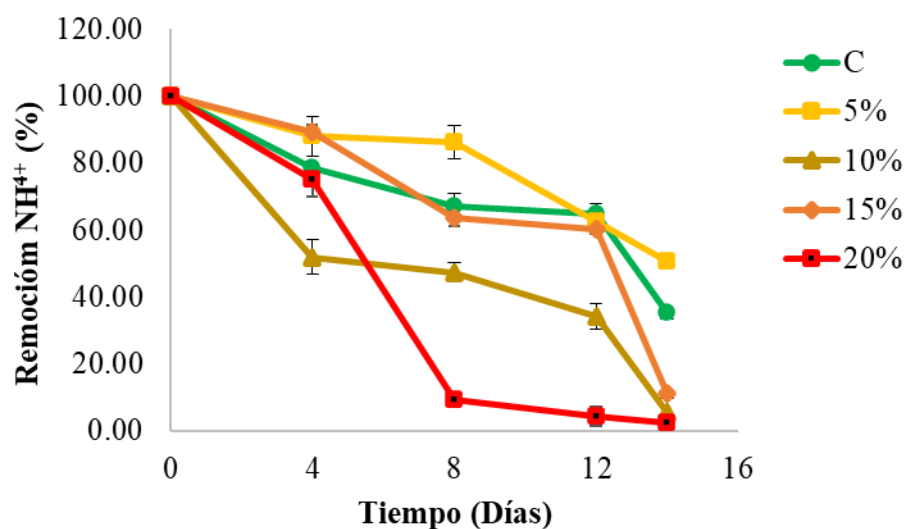


Figura 29 Remoción de amonio durante los 14 días del experimento.

En la Figura 29 se puede observar que la disminución de amonio comienza a partir del día 8, esto es un parámetro importante ya que al tener una alta concentración inicial 50 mg/L se inicie la conversión de NH_4^+ a NH_3 convirtiendo a nuestro medio de cultivo tóxico, afectando su utilización para la nutrición animal siempre y cuando el amonio es utilizado como la única fuente de nitrógeno se presenta incrementos en los valores de pH (Ali et al., 2008).

6.4. Composición Bioquímica

La composición bioquímica al igual que la producción de biomasa *A. maxima* es influenciada por el medio de cultivo, temperatura y volumen.

Cuadro 16 Resultados de análisis de carotenoides de *A. maxima*.

Tratamientos	Clorofila a (mg/g)	Clorofila b (mg/g)	Carotenoides (mg/g)
Control	84.31 ± 0.42 ^a	28.44 ± 0.49 ^{ab}	357.03 ± 5.01 ^a
5%	52.58 ± 0.89 ^c	10.29 ± 0.63 ^b	457.69 ± 10.86 ^a
10%	91.33 ± 1.34 ^{bc}	17.99 ± 1.41 ^{ab}	748.98 ± 3.58 ^a
15%	45.19 ± 0.26 ^{ab}	35.41 ± 1.15 ^a	250.14 ± 2.57 ^a
20%	37.67 ± 2.78 ^b	30.05 ± 0.78 ^a	246.53 ± 3.95 ^a
<i>P value</i>	0.001	0.003	0.084

En el Cuadro 16, se puede observar que no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la producción de carotenoides se presenta como un área de oportunidad ya que los niveles que contiene la biomasa con los tratamientos control, 5 y 10% de suero de leche pueden ser

utilizados para la suplementación de dietas aportando mejor calidad y coloración en la producción de huevo.

En base a la cuantificación de clorofila a y clorofila b se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) y nos indican que conforme se aumenta la cantidad del residuo presenta una disminución atribuyendo a lo que se ha mencionado con anterioridad a la composición bioquímica. La cantidad de mg/g que se producen se encuentra en valores similares a la biomasa utilizada a nivel comercial, esto nos permite obtener materia prima con la misma cantidad de clorofila b con la valorización de un residuo y reducción de costos de producción (Vonshak, 1997).

Cuadro 17 Análisis proximal de la biomasa obtenida.

Tratamientos	Proteína	Lípidos	Azúcares
Control	44.66 ± 0.006 ^d	37.33 ± 6.66 ^a	15.06 ± 0.11 ^e
5%	50.00 ± 0.007 ^c	39.33 ± 7.09 ^a	26.83 ± 0.73 ^d
10%	41.66 ± 0.004 ^e	29.66 ± 1.15 ^a	59.64 ± 1.46 ^c
15%	78.33 ± 0.008 ^a	31.00 ± 8.89 ^a	70.74 ± 0.46 ^a
20%	61.00 ± 0.007 ^b	25.00 ± 6.39 ^a	66.87 ± 1.79 ^b
<i>P value</i>	0.001	0.131	0.000

Como se observa en el Cuadro 17, conforme se realizaba el aumento de suero de leche, se observó una disminución en la síntesis de proteína, mientras que el contenido de azúcares aumentó en los tratamientos de 5 y 10%, a partir del 15% se observa una disminución considerable tomando en cuenta que en estos porcentajes se obtuvo una menor producción de

biomasa hasta muerte del cultivo. No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la cuantificación de lípidos manteniendo concentraciones similares entre los tratamientos.

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en las cuantificaciones de proteína y azúcares, aunque este fenómeno no afecta la calidad de la biomasa final ya que las cepas de *A. maxima* se caracterizan por producir altos niveles de proteína cuando el medio de cultivo utilizado es rico en nitrógeno, justificando la utilización del suero de leche.

6.5. APLICACIÓN EN DIETAS DE CODORNIZ

6.5.1 Parámetros de ganancia de peso

6.5.2. Ganancia de peso

Los resultados obtenidos en base a el ofrecimiento de 90g (semana 1) y 100g (a partir de la semana 2) se puede observar el monitoreo de peso vivo (Cuadro 18) durante las 4 semanas de experimentación.

Cuadro 18 Peso vivo (g/semana) en codornices.

Tratamiento	Semanas			
	1	2	3	4
1	195.34± 22.83 ^a	199.81± 20.49 ^a	206.83 ± 30.73 ^a	199.40 ± 22.68 ^a
2	194.92 ± 25.81 ^a	200.39 ± 24.72 ^a	200.64 ± 24.73 ^a	197.01 ± 23.59 ^a
3	200.15 ± 27.56 ^a	200.55 ± 23.64 ^a	207.02 ± 34.11 ^a	199.95 ± 23.66 ^a
4	204.04 ± 22.68 ^a	203.82 ± 18.29 ^a	208.15 ± 11.48 ^a	209.89 ± 26.43 ^a
<i>P value</i>	0.316	0.953	0.856	0.507

Se observa que no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos y el tiempo no influye en la ganancia de peso en las aves alimentadas con la dieta suplementada o no con suero de leche o biomasa de *A. maxima*.

6.6. Consumo de alimento

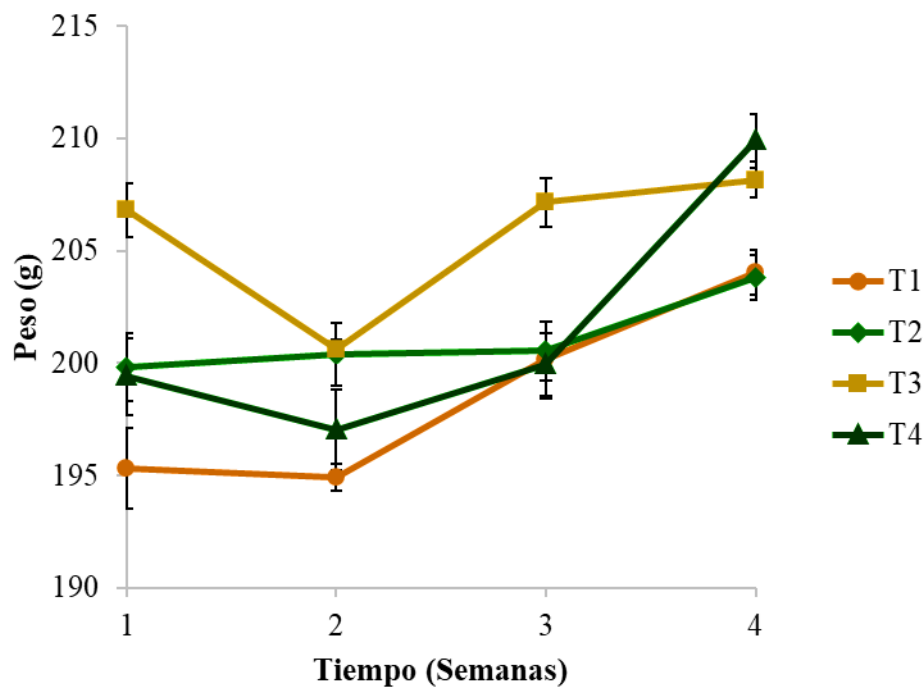


Figura 30 Peso vivo de las aves durante las 4 semanas de experimentación (P value =0.054).

En la figura 30 se puede observar gráficamente el peso vivo (g) de las codornices durante las 4 semanas. Se observa que el T1 y el T4 son lo que tienen mayor similitud en cuestión a la ganancia de peso de las aves.

En las variables de ganancia de peso y consumo de alimento no se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$).

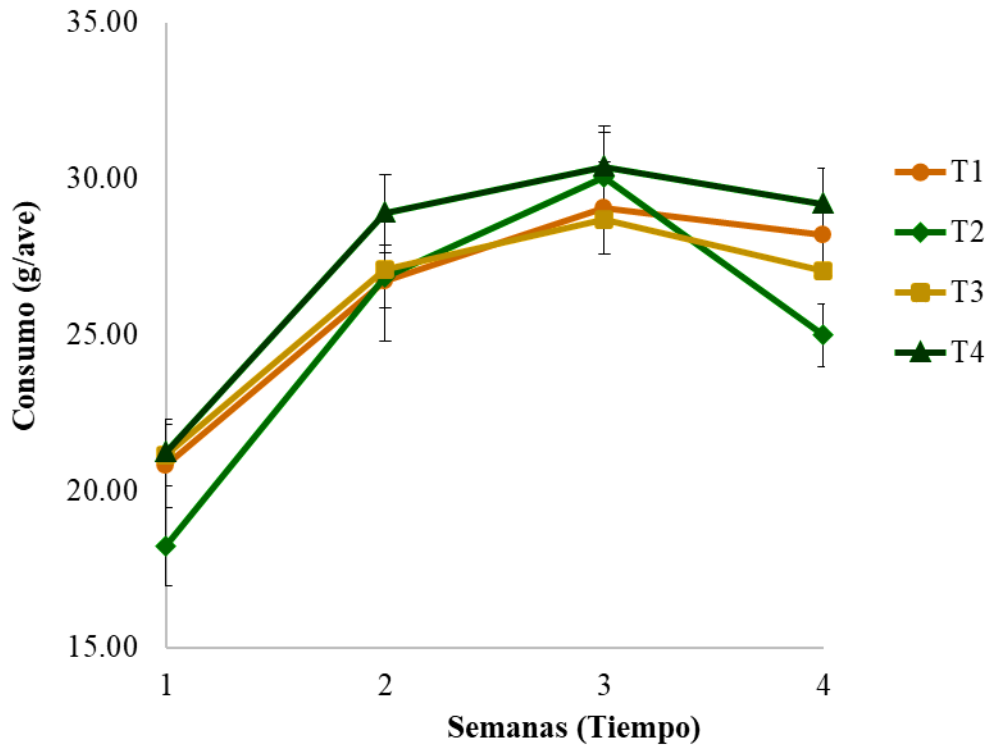


Figura 31 Consumo de alimento de los tratamientos suplementados con *A. maxima* y suero de leche (P value= 0.057).

Se puede observar que la cantidad de alimento ofrecido no afecta en el consumo, esto quiere decir que al ofrecerles 30 a 33 g/ave se obtienen los mismos resultados con o sin suplementación de suero de leche y biomasa de *A. maxima*.

En cuestión a la postura o producción de huevo (Figura 31) tampoco se encontraron diferencias significativas en los tratamientos.

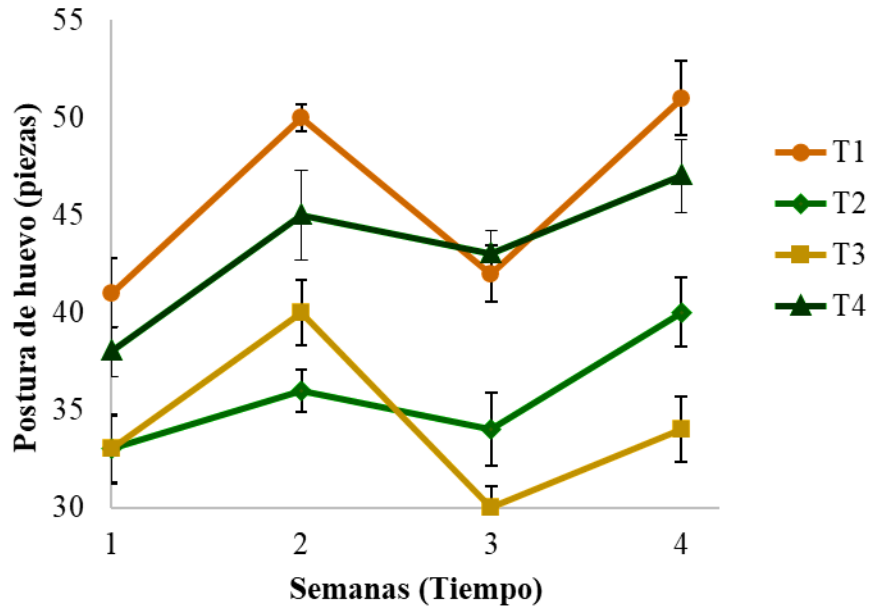


Figura 32 Producción de huevo durante las 4 semanas de experimentación (P value = 0.01).

En la Figura 32 en base a la postura de huevo no se mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) ya que los días de postura iniciales y finales se compensaron con la cantidad de huevo que fueron producidos durante el experimento entre los tratamientos.

6.7. Datos productivos de huevo

El peso del huevo mostró diferencia significativa ($P < 0.05$) ya que se puede observar que el huevo producido con el tratamiento 4 (3% suero de leche + 3% biomasa de *A. maxima*) mostró un mayor peso comparado con los producidos con el tratamiento control.

Cuadro 19 Datos productivos de los huevos obtenidos mediante la suplementación de *A. maxima* y suero de leche.

Tratamientos	Peso (g)	Ancho (cm.)	Largo (cm)	Índice de forma (%)
1	11.44 ± 1.80 ^b	0.980 ± 0.106 ^a	1.291 ± 0.061 ^a	76.01 ± 6.09 ^a
2	12.34 ± 1.37 ^a	1.747 ± 0.941 ^a	1.318 ± 0.069 ^a	75.98 ± 7.43 ^a
3	11.35 ± 1.19 ^b	1.039 ± 0.041 ^a	1.277 ± 0.665 ^a	75.95 ± 7.02 ^a
4	12.35 ± 1.35 ^a	1.007 ± 0.444 ^a	1.397 ± 0.070 ^a	75.69 ± 6.36 ^a
P value	0.000	0.337	0.114	0.356

Diferente letra en la misma columna, indican diferencia significativa.

Como se observa en el Cuadro 19 en las características del huevo (largo, ancho e índice de forma) no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) mediante la suplementación de suero de leche o biomasa de *A. maxima*.

6.8. Colorimetría de la yema de huevo

En el cuadro 20 se muestran los valores del sistema CIELAB (L^* , a^* y b^*), además de los valores de c y h, encontrados en las muestras de yema de huevo de codorniz suplementadas con los tratamientos.

Cuadro 20 Valores de colorimetría de yema de huevo.

Colorimetría					
Tratamientos	a*	b*	L*	C	h
1	3.03 ± 0.96 ^a	30.76 ± 10.09 ^{ab}	52.39 ± 7.58 ^a	35.14 ± 18.82 ^{ab}	82.08 ± 12.83 ^a
2	9.45 ± 0.45 ^a	31.35 ± 11.39 ^{ab}	46.80 ± 3.26 ^a	40.40 ± 16.59 ^a	80.76 ± 5.31 ^a
3	1.44 ± 0.61 ^a	17.14 ± 9.09 ^b	51.12 ± 3.73 ^a	19.72 ± 4.63 ^b	92.96 ± 15.28 ^a
4	5.93 ± 0.40 ^a	36.34 ± 8.66 ^a	49.78 ± 7.90 ^a	36.87 ± 9.29 ^{ab}	81.66 ± 7.28 ^a

Diferente letra en la misma columna, indican diferencia significativa.

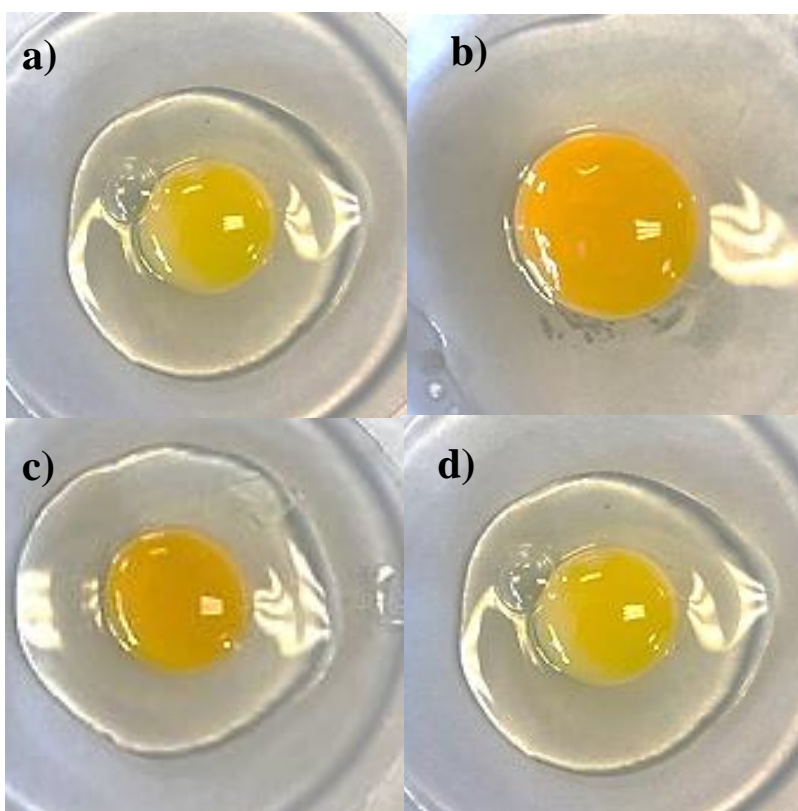


Figura 33 Determinación de color de yema de huevo. A) T1, b) T2, c) T3, d) T4.

Los valores de a^* con indicación a color verde (negativos) a rojo (positivos) no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$).

Los valores de b^* que nos indican coloración de azul a amarillo, fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) dándonos al T4 con mayor concentración a los colores amarillos y el menor fue el T3 con la suplementación de suero de leche. Los valores de L^* nos indican la luminosidad no se observó diferencia significativa entre los tratamientos.

Los valores de C que nos indican la saturación de color, se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) dándonos mayor saturación en la yema de huevo en los tratamientos T2 suplementados con *A. maxima* siguiendo del T4 y T1. En los valores de h no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Como se muestra en la Figura 33 se puede observar en las muestras de huevo que al tener una sustitución con biomasa de *A. maxima* se puede apreciar a simple vista una mayor pigmentación que comparado con el tratamiento control y con sustitución de suero de leche muestra una tendencia a colores amarillos. Además de presentar coloración verde azulada en su cáscara (Figura 34).



Figura 34 Pigmentación de cáscara de huevo de codorniz de los tratamientos suplementados con biomasa de *A. maxima*.

6.9. Contenido de materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC) y grasa.

6.9.1. Muestras de alimento

Las dietas suministradas a las aves fueron caracterizadas químicamente para determinar su contenido de: materia seca, cenizas, proteína y grasa.

En cuestión a materia seca y contenido de cenizas no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$; Cuadro 21).

Cuadro 21 Contenido de materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC) y grasa del alimento.

Tratamientos	Muestras de alimento			
	MS (%)	Cenizas (%)	P.C. (%)	Grasa (%)
1	90.49 ± 0.25 ^a	14.57 ± 0.90 ^a	16.16 ± 0.72 ^b	5.200 ± 0.98 ^a
2	90.41 ± 0.35 ^a	14.57 ± 1.16 ^a	15.85 ± 0.36 ^b	6.066 ± 0.69 ^a
3	90.85 ± 0.39 ^a	15.57 ± 0.28 ^a	18.72 ± 1.02 ^a	5.205 ± 0.49 ^a
4	90.65 ± 0.36 ^a	15.01 ± 0.33 ^a	19.08 ± 0.36 ^a	5.949 ± 0.54 ^a
<i>P value</i>	0.622	0.394	0.02	0.339

Diferente letra en la misma columna, indican diferencia significativa

En el Cuadro 21 se puede observar el contenido de proteína base materia seca se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los tratamientos que contienen suero de leche (T3 y T4). El contenido de grasa en base a materia seca de las dietas no presentó diferencia significativa ($P > 0.05$).

6.9.2. Muestras de huevo

Los huevos fueron colectados, identificados y cocinados a 100°C para medir la proporción de yema y clara. Posteriormente las muestras se homogenizaron para determinar su contenido de: materia seca, cenizas, proteína y grasa.

Cuadro 22 Contenido de materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC) y grasa del huevo.

Tratamientos	Muestras de huevo			
	MS (%)	Cenizas (%)	P.C. (%)	Grasa (%)
1	29.38 ± 3.18 ^a	1.053 ± 0.59 ^a	38.02 ± 4.64 ^b	50.17 ± 3.49 ^a
2	29.67 ± 2.33 ^a	1.155 ± 0.84 ^a	46.55 ± 4.29 ^a	47.20 ± 6.00 ^{ab}
3	28.98 ± 2.41 ^a	1.117 ± 0.54 ^a	48.53 ± 4.30 ^a	44.19 ± 5.27 ^{ab}
4	29.68 ± 2.19 ^a	1.236 ± 0.21 ^a	47.89 ± 3.37 ^a	41.33 ± 4.85 ^b
<i>P value</i>	0.960	0.950	0.011	0.034

Diferente letra en la misma columna, indican diferencia significativa

En el Cuadro 22 se observa que en el contenido de materia seca y cenizas no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$).

En el contenido de proteína se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los tratamientos que contienen suero de leche y biomasa de *A. maxima* (T2, T3 y T4) cuyos valores considerablemente superiores a los del tratamiento control. En cuestión al contenido de grasa de los huevos se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) observando que el tratamiento control fue mayor al del tratamiento 4.

7. DISCUSIÓN

El uso de una microalga (*Scenedesmus obliquus*) y una cianobacteria (*Arthrospira maxima*) mostraron capacidad de crecer en medio suplementado con suero de leche, aunque con la cepa de *S. obliquus* a altas concentraciones de suero en el medio de cultivo se presentan disminuciones en los valores de pH y afecta su concentración celular disminuyendo de 5×10^6 cel/mL hasta 3×10^7 contrastando los resultados reportados por Girard et al., (2014).

La cepa *A. maxima* mostró ser un candidato potencial para la sustitución de suero de leche al medio comercial obteniendo porcentajes similares a los valores establecidos por Lucakova et al., (2022).

Kumari et al., (2014) reporta que el uso de reactor de columna de burbuja para la producción de biomasa de *A. maxima* reporta valores de 1.58×10^6 cel/ mL y una producción 4.84 g/L de biomasa en peso seco que se asemejan a los resultados obtenidos en este trabajo de investigación: 1.30×10^6 cel/mL produciendo 5.24 g/L de biomasa en peso seco.

En cuestión a los valores de reducción de PO_4^+ y NH_4^+ obtuvieron porcentajes de reducción mayores a los reportados por Hernández García et al., (2019). *A. maxima* es capaz de obtener reducciones de DQO, NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} y NH_4^+ con la sustitución de medio de cultivo con suero de leche hasta un 83, 90, 80 y 94%, respectivamente.

Los valores de pH de cada uno de los experimentos forman parte importante para la producción de biomasa siempre y cuando se encuentren entre valores de 9.0 a 11.0 como lo reporta Belkin & Boussiba (1991), ya que al presentar disminución en sus valores puede afectar la biodisponibilidad de nutrientes ocasionando la muerte del cultivo.

Todas las características mencionadas nos permiten continuar la necesidad de evaluar nuevos procesos biotecnológicos sostenibles y además económicos mediante la utilización de este residuo, llegando a producir grandes cantidades de materia prima que pueden ser utilizadas en la suplementación de dietas en animales. Como lo ha reportado Abouelezz (2017) las suplementaciones con biomasa de *A. maxima* pueden ir desde el 1 a un 5%.

En el presente estudio las dietas con suplementación de biomasa de *A. maxima* no mostraron diferencia significativa en base a la ganancia de peso y consumo como lo reporta Ekýzolu (2020) lo que indica que esta formulación es una alternativa para la valoración de un residuo de la industria alimentaria (suero de leche) ayudando a la reducción de gastos en la materia prima para las dietas.

Al igual que los resultados de Swiatkiewicz et al., (2015), los tratamientos con suplementación de biomasa de *A. maxima* influye en la producción de huevo y se llegaron a obtener valores que similares al tratamiento control. Los huevos obtenidos con los tratamientos T2 y T4, suplementados con *A. maxima*, tuvieron mayor peso comparado con el T1 y T3.

La colorimetría en las muestras de huevo mostró diferencia en los valores de saturación y coloración azul- amarillo en los T1, T2 y T4. Boiago et al. (2019) reportan una mejor coloración en yema de huevo de codorniz debido al aporte de carotenoides y clorofila de la biomasa de *A. maxima*.

El contenido de proteína en las dietas suplementadas con *A. maxima* y suero de leche influyó significativamente en la cantidad de proteína del huevo, con un incremento entre el 12 y 25% esto debido a el aporte de proteína proveniente del suero de leche Lucas et al., (1998) mencionan que este puede tener porcentajes desde un 0.9 hasta un 9% dependiendo del proceso de

elaboración siendo una opción viable para el aporte de aminoácidos esenciales, hierro y vitamina D siendo un producto atractivo para el consumo humano.

8. CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación se evaluó la producción de biomasa de una microalga (*Scenedesmus acuttus*) y una cianobacteria (*Arthrospira maxima*) mediante la sustitución de suero de leche en el medio de cultivo comercial (Zarrouk y Bold respectivamente), además de su aplicación en dietas de codorniz de postura. Se concluye que:

La cepa de la microalga *S. acutus* no resiste las alteraciones de pH causadas por mayor concentración de suero de leche en su medio de cultivo causando la muerte celular de la cepa.

La cepa *A. maxima* mostró tener mejor potencial de asimilación del suero de leche en su medio de cultivo, llegando a producir concentraciones celulares similares al tratamiento Control (100% medio Zarrouk). Los porcentajes óptimos para la producción de biomasa con sustitución del medio con suero de leche son el 5 y 10% generando 4.49 y 4.46 mg/L.

El uso de un reactor de columna de burbuja es un sistema que muestra resultados favorables para la producción de biomasa de la cianobacteria *A. maxima* llegando a obtener producciones celulares similares a lo que se reporta en la literatura.

En cuestión a la remoción y producción de nutrientes como nitratos, nitritos, amonio y ortofosfatos se mostró que el cultivo se mantiene en valores similares mostrando reducciones y aprovechamientos de estos hasta los días finales del experimento.

La suplementación de dietas con biomasa de *A. maxima* y suero de leche en tres combinaciones (3% biomasa *A. maxima*, 3% suero de leche y 3% biomasa *A. maxima* + 3% suero de leche) no afectan el consumo de alimento, la ganancia de peso ni la postura de huevo. Tampoco se observó diferencia en el tamaño de huevo (clara – yema). Con dicha sustitución los tratamientos que

contenían biomasa de *A. maxima* y suero de leche mostraron una mayor concentración de proteína en comparación con la dieta convencional de codorniz de postura.

Al comparar el huevo producido con la dieta convencional de postura de codorniz en cuestión al porcentaje de proteína se encontró que las dieta suplementada con suero de leche y biomasa de *A. maxima* aportaban mayor porcentaje 47% comparado con el huevo producido con el tratamiento control 38%.

El uso de un residuo de la industria alimentaria como lo es el suero de leche puede llegar a ser una fuente de nutrientes para el crecimiento de la cianobacteria *A. maxima* y ser aprovechado para la producción de biomasa. Además, su uso como suplemento en dietas de manera independiente puede llegar a tener efectos positivos en la colorimetría, conforme se adiciona la biomas de la cianobacteria en la dieta permitiendo una coloración de yema más amarilla que el huevo de codorniz.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acquah, C., Tibbetts, S. M., Pan, S., & Udenigwe, C. (2020). Nutritional quality and bioactive properties of proteins and peptides from microalgae. In *Handbook of Microalgae-Based Processes and Products*. Elsevier Inc.
- Abouelezz F M K. 2017. Evaluation of spirulina algae (*Spirulina platensis*) as a feed supplement for Japanese quail: Nutritional effects on growth performance, egg production, egg quality, blood metabolites, sperm-egg penetration and fertility. *Egypt Poultry Science* 37(3): 707–19.
- Ali, A., Jha, P., Sandhu, K. S., & Raghuram, N. (2008). Spirulina nitrate-assimilating enzymes (NR, NiR, GS) have higher specific activities and are more stable than those of rice. *Physiology and molecular biology of plants*, 14(3), 179-182.
- Altomonte, I., Salari, F., Licitra, R., & Martini, M. (2018). Use of microalgae in ruminant nutrition and implications on milk quality – A review. *Livestock Science*, 214(January), 25–35.
- Amorim, M. L., Soares, J., Coimbra, J. S. dos R., Leite, M. de O., Albino, L. F. T., & Martins, M. A. (2021). Microalgae proteins: production, separation, isolation, quantification, and application in food and feed. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(12), 1976–2002.
- Ansari, F. A., Guldhe, A., Gupta, S. K., Rawat, I., & Bux, F. (2021). Improving the feasibility of aquaculture feed by using microalgae. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32), 43234–43257.
- Armesto, D., Alberto Gallo García, L., Acevedo Correa, D., & Alejandro Mouthon Bello, J. (2016). *Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea*. 11(1), 1–171.
- Balcorta, C. C., & Arenas, G. (2017). *Eutrofización*. 22–25.

- Barsanti, L., & Gualtieri, P. (2006). *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*.
- Bazarnova, J., Kuznetsova, Aronova, & Toumi, A. (2019). Use of lipids of chlorella microalgae in poultry meat marinades and sauces recipes. *Agronomy Research*, 17, 1287–1298.
- Benemann, J. (2013). Microalgae for biofuels and animal feeds. *Energies*, 6(11), 5869–5886.
- Bentahar, J., Doyen, A., Beaulieu, L., & Deschênes, J. S. (2019). Acid whey permeate: An alternative growth medium for microalgae *Tetrademus obliquus* and production of β -galactosidase. *Algal Research*, 41(April), 101559.
- Bertechini, A. 2012. The quail production CD Paper in Proceedings of the XXIV World's Poultry Congress, Salvador, Brazil. *Worlds Poultry Science Journal*. 68(1): 4.
- Belkin, S., & Boussiba, S. (1991). Resistance of *Spirulina platensis* to ammonia at high pH values. *Plant and cell physiology*, 32(7), 953-958.
- Boeckaert, C., Vlaeminck, B., Dijkstra, J., Issa-Zacharia, A., Van Nespén, T., Van Straalen, W., & Fievez, V. (2008). Effect of dietary starch or micro algae supplementation on rumen fermentation and milk fatty acid composition of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91(12), 4714–4727.
- Boiago, M. M., Dilkin, J. D., Kolm, M. A., Barreta, M., Souza, C. F., Baldissera, M. D., dos Santos, I. D., Wagner, R., Tavernari, F. de C., da Silva, M. L. B., Zampar, A., Stivanin, T. E., & Da Silva, A. S. (2019). *Spirulina platensis* in Japanese quail feeding alters fatty acid profiles and improves egg quality: Benefits to consumers. *Journal of Food Biochemistry*, 43(7), 1–9.
- Borowitzka, M. A. (2013). *Dunaliella: Biology, Production, and Markets*. In *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology: Second Edition*.

- Carota, E., Crognale, S., D'Annibale, A., Gallo, A. M., Stazi, S. R., & Petruccioli, M. (2017). A sustainable use of Ricotta Cheese Whey for microbial biodiesel production. *Science of the Total Environment*, 584–585, 554–560.
- Chaves, A. A. M., Martins, C. F., Carvalho, D. F. P., Ribeiro, D. M., Lordelo, M., Freire, J. P. B., & de Almeida, A. M. (2021). A viewpoint on the use of microalgae as an alternative feedstuff in the context of pig and poultry feeding—a special emphasis on tropical regions. *Tropical Animal Health and Production*, 53(3).
- Cheng, K., Bennett, D., y Mills, A. 2010. The Japanese quail. In: Hubrecht, R.C., Kirkwood, J. (Eds.), *The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory and Other Research Animals*. eighth ed. *Wiley-Blackwell, Oxford, United Kingdom*. 655–673.
- Cheng, K., y Kimura, M. 1990. Mutations and major variants in Japanese quail. In: Crawford, R.D. (Ed.), *Poultry Breeding and Genetics*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 333–362.
- Christaki, E., Florou-Paneri, P., & Bonos, E. (2011). Microalgae: A novel ingredient in nutrition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(8), 794–799.
- Cid, A., Abalde, J., & Herrero, C. (1992). Growth and biochemical composition of the marine microalga *Tetraselmis suecica* in mixotrophic cultures with different sugars and amino acids. *Cahiers de Biologie*, 33, 169–178.
- Costa, D. F. A., Quigley, S. P., Isherwood, P., McLennan, S. R., & Poppi, D. P. (2016). Supplementation of cattle fed tropical grasses with microalgae increases microbial protein production and average daily gain. *Journal of Animal Science*, 94(5), 2047–2058.
- Daufin G, René F, Aimar P. Les separations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire. Paris, France: *Collection Sciences et Techniques Agroalimentaires*; 1998.

- De Carvalho, J. C., Magalhães, A. I., de Melo Pereira, G. V., Medeiros, A. B. P., Sydney, E. B., Rodrigues, C., Aulestia, D. T. M., de Souza Vandenberghe, L. P., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2020). Microalgal biomass pretreatment for integrated processing into biofuels, food, and feed. *Bioresource Technology*, *300*(October 2019), 122719.
- Dineshbabu, G., Goswami, G., Kumar, R., Sinha, A., & Das, D. (2019). Microalgae–nutritious, sustainable aqua- and animal feed source. *Journal of Functional Foods*, *62* (June 2019), 103545.
- Ekýzolu, H., Ülger, Ý., Kalýber, M., & Ayaan, T. (2020). Effects of Spirulina (Algae) supplementation to Japanese Quail (*Coturnix coturnix Japonica*) diets on growth performance and carcass traits. *Indian Journal of Animal Sciences*, *90*(6), 923–927.
- FAOSTAT. (2018). El sector lechero mundial: Datos. *Faostat*, 1.
- FAOSTAT. (2020). Situación de la industria láctea : producción , precios y comercio exterior. *FAO*.
- Farizoglu, B., & Uzuner, S. (2011). The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system. *Biochemical Engineering Journal*, *57*, 46–54.
- Feil, A. A., Schreiber, D., Haetinger, C., Haberkamp, Â. M., Kist, J. I., Rempel, C., Maehler, A. E., Gomes, M. C., & da Silva, G. R. (2020). Sustainability in the dairy industry: a systematic literature review. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(27), 33527–33542.
- Fernández Honores, A. M., Alvétez Izquierdo, E., & Rodríguez Rodríguez, E. F. (2019). Taxonomía e importancia de" spirulina" *Arthrospira jenneri* (Cyanophyceae: Oscillatoriaceae). *Arnaldoa*, *26*(3), 1091-1104.
- Furbeyre, H., Van Milgen, J., Mener, T., Gloaguen, M., & Labussière, E. (2017). Effects of dietary

supplementation with freshwater microalgae on growth performance, nutrient digestibility and gut health in weaned piglets. *Animal*, 11(2), 183–192.

Gallardo, F. J., Kelly, A. L., & Delahunty, C. M. (2005). Sensory characteristics and related volatile flavor compound profiles of different types of whey. *Journal of Dairy Science*, 88(8), 2689–2699.

Garrido, J. A., Manzano, F., Acien, F. G., & Molina, E. (2018). Microalgae research worldwide. *Algal Research*, 35(May), 50–60.

Geadá, P., Vasconcelos, V., Vicente, A., & Fernandes, B. (2017). Microalgal Biomass Cultivation. *Algal Green Chemistry: Recent Progress in Biotechnology*, 257–284.

Girard, J. M., Roy, M. L., Hafsa, M. Ben, Gagnon, J., Faucheux, N., Heitz, M., Tremblay, R., & Deschênes, J. S. (2014). Mixotrophic cultivation of green microalgae *Scenedesmus obliquus* on cheese whey permeate for biodiesel production. *Algal Research*, 5(1), 241–248.

Gogoi, M., Biswas, T., Biswal, P., Saha, T., Modak, A., Mohan, L., Nath, R., Mukherjee, I., Ranjan, A., Sudarshan, M., & Ray, S. (2021). A novel strategy for microbial conversion of dairy wastewater into biofertilizer. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126051.

González Céspedes, A. M. (2016). Cultivos De Microalgas: Sistemas De Producción. *ADNAgro*, 14.

González-Fosadosa, L. B., González-Chávez, B. K., Garrido-Hernández, A., Carrillo-Sancen, G., Cerón-Montes, G. I., & Martínez-Valdez, F. J. (2021). Caracterización de ficocianina por espectrofotometría de masas. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 9(Especial2), 149-156.

Grobbelaar, J. U. (2012). Microalgae mass culture: the constraints of scaling-up. *Journal of Applied*

Phycology, 24(3), 315-318.

Hannibal B. et al . (2015). Aprovechamiento del suero de leche como bebida energizante para minimizar el impacto ambiental. *European Scientific Journal*, 11(26), 257–268.

Hernández-García, A., Velásquez-Orta, S. B., Novelo, E., Yáñez-Noguez, I., Monje-Ramírez, I., & Orta Ledesma, M. T. (2019). Wastewater-leachate treatment by microalgae: Biomass, carbohydrate and lipid production. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174(August 2018), 435–444.

Hernández, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 157–173.

Hsieh-Lo, M., Castillo, G., Ochoa-Becerra, M. A., & Mojica, L. (2019). Phycocyanin and phycoerythrin: Strategies to improve production yield and chemical stability. *Algal Research*, 42, 101600.

Jerney, J., & Spilling, K. (2020). Large Scale Cultivation of Microalgae: Open and Closed Systems. *Methods in Molecular Biology*, 1980, 1–8.

Kaur, N. (2021). Different treatment techniques of dairy wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*, 14(June), 100640.

Kim, S. K. (2015). Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advances. In *Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advances*.

Kumari, A., Sharma, V., Pathak, A. K., & Guria, C. (2014). Cultivation of *Spirulina platensis* using NPK-10: 26: 26 complex fertilizer and simulated flue gas in sintered disk chromatographic glass bubble column. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1859-1869.

- Leite, L. de S., Hoffmann, M. T., & Daniel, L. A. (2019). Microalgae cultivation for municipal and piggy wastewater treatment in Brazil. *Journal of Water Process Engineering*, 31(December 2018), 1–7.
- Liebe, D. L., Hall, M. B., & White, R. R. (2020). Contributions of dairy products to environmental impacts and nutritional supplies from United States agriculture. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 10867–10881.
- Loera, J., & Banda, J. (2017). Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 19(1), 419–426.
- Lucakova, S., Branyikova, I., Branyik, T., Matoulkova, D., & Krausova, G. (2022). Wastewater from the demineralization of cheese whey for cost-efficient cultivation of spirulina. *Journal of Bioresource Technology* 351.
- Lucas, D., Rabiller-Baudry, M., Millesime, L., Chaufer, B., & Daufin, G. (1998). Extraction of α -lactalbumin from whey protein concentrate with modified inorganic membranes. *Journal of Membrane Science*, 148(1), 1-12. *Applied Phycology*, 34(1), 89-99.
- Manzano, M. A. M., Montejó, H. R., Elena, M., Sánchez, L., & Aarón, F. (2019). Characterization of whey and whey cheese requesón from the production of asadero cheese (cooked cheese) Sonoran region. *11(2)*, 220–233.
- Markou, G., Vandamme, D., & Muylaert, K. (2014). Microalgal and cyanobacterial cultivation: The supply of nutrients. *Water Research*, 65, 186–202.
- Matos, Â. P. (2019). Microalgae as a Potential Source of Proteins. In *Proteins: Sustainable Source, Processing and Applications*.

- Ortiz, M. L., Cortés, C. E., Sánchez, J., Otero, A. M., & Padilla, J. (2012). Evaluación del crecimiento de la microalga *Chlorella sorokiniana* en diferentes medios de cultivo en condiciones autotroficas y mixotroficas. *Orinoquia*, 16(1), 11.
- Osorio González, S. C., Sandoval-Salas, F., Hernández-Rosas, F., Hidalgo-Contreras, J. V., Gómez-Merino, F. C., & Ávalos-de la Cruz, D. A. (2018). Potencial De Aprovechamiento Del Suero De Queso En México. *Agroproductividad*, 11(7), 101–106.
- Pires, A. F., Marnotes, N. G., Rubio, O. D., Garcia, A. C., & Pereira, C. D. (2021). Second Cheese Whey. *Foods*, 10,(1067), 1–24.
- Quitral R., V., Morales G., C., Sepúlveda L., M., & Schwartz M., M. (2012). Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Revista Chilena de Nutricion*, 39(4), 196–202.
- Rizwan, M., Mujtaba, G., Memon, S. A., Lee, K., & Rashid, N. (2018). Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92(April), 394–404.
- Robledo Padilla, R. (2018). Teoría, impactos externos y políticas públicas para el desarrollo regional. *Producción de Leche En México y Su Comercio de Lácteos Con Países Del APEC*, 282–303.
- Sezer, M. 2007. Heritability of exterior egg quality traits in Japanese quail. *Journal of Applied Biological Sciences*. 1(2): 37–40. algado et al. (2019). Microalgas y Cianobacterias. *Micro Ciencia*, 8.
- SIAP. (2021). *Escenario mensual de productos agroalimentarios*. 1–2.
- Stitt, M., Muller, C., Matt, P., Gibon, Y., Carillo, P., Morcuende, R., Scheible, W.R. and Krapp, A.

- (2002). Steps towards an integrated view of N metabolism. *J. Exp. Bot.* 53: 959–970.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(2), 87–96.
- Swiatkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A., & Józefiak, D. (2015). Application of microalgae biomass in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 71(4), 663–672.
- Torres, Y., Fields, F. J., & Mayfield, S. P. (2020). Microalgae as a future food source. *Biotechnology Advances*, 41(February).
- Valencia Denicia, E., & Ramírez Castillo, M. L. (2009). La industria de la leche contaminación del agua. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 16, 27–31.
- Vonshak, A. (1997). *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology, and Biotechnology*. Taylor and Francis, London.
- Zhu, L. D., & Hiltunen, E. (2016). Application of livestock waste compost to cultivate microalgae for bioproducts production: A feasible framework. *Renewable and Sustainable Energy Review*.