



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

CAMPUS VERACRUZ

POSGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**APROVECHAMIENTO DE PROTEÍNA UNICELULAR,
UTILIZANDO A LA LEVADURA *Candida utilis* COMO
ORGANISMO BENÉFICO**

JOSUE PASCUAL GONZALEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS**

MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ 2018

La presente tesis, titulada: **Aprovechamiento de proteína unicelular, utilizando a la levadura *Candida utilis* como organismo benéfico.**, realizada por el alumno: **Josué Pascual González**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

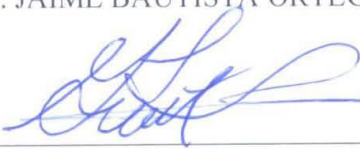
CONSEJERO:  _____

DR. ALBERTO ASIAIN HOYOS

ASESORA:  _____
DRA. MÓNICA DE LA CRUZ VARGAS MENDOZA

ASESOR:  _____
DR. JUAN LORENZO RETA MENDIOLA

ASESOR:  _____
DR. JAIME BAUTISTA ORTEGA

ASESOR:  _____
DR. GUSTAVO LÓPEZ ROMERO

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 15 de octubre de 2018

APROVECHAMIENTO DE PROTEÍNA UNICELULAR, UTILIZANDO A LA LEVADURA *Candida utilis* COMO ORGANISMO BENÉFICO

RESUMEN

A nivel mundial, la acuicultura se ha consolidado como la rama del sector primario con mayor tasa de crecimiento anual. No obstante, el desarrollo de esta industria depende aún en gran medida de fuentes de proteína convencionales para la elaboración de dietas, en particular la harina de pescado. Con los ritmos de crecimiento proyectados, se espera una demanda creciente de fuentes de proteína alterna, donde la proteína unicelular representa una oportunidad poco explorada. El trabajo de investigación tuvo como objetivo explorar el potencial de torula (*Candida utilis*) como fuente parcial de proteína en dietas para animales, en particular para tilapia (*Oreochromis niloticus*) y basa (*Pangasius hypophthalmus*), dos de las especies acuícolas más importantes a nivel mundial y nacional. Se discute la importancia de abordar la investigación científica desde un enfoque de agroecosistemas y contextualizar la investigación en la teoría de la intensificación sustentable y la teoría del forraje óptimo. Se realizó una revisión de literatura sobre el aprovechamiento de proteína unicelular utilizando a *Candida utilis* como organismo benéfico. Asimismo, se realizaron experimentos en granjas comerciales de mediana y baja tecnificación, empleando diferentes porcentajes de inclusión de torula en dietas. Los resultados sugieren que torula puede sustituir parcialmente las fuentes de proteína convencionalmente utilizadas en las dietas comerciales de tilapia y basa, lo que representa una oportunidad para diversificar la producción de alimentos balanceados de una manera más sustentable.

UNICELLULAR PROTEIN USAGE, WITH *Candida utilis* AS USEFUL ORGANISM

ABSTRACT

Aquaculture is nowadays the primary sector activity with the highest growth rate. However, its sustainable intensification will depend greatly on non-conventional protein sources, rather than fish oil and meal. Considering present trends, the use of unicellular protein sources is expected to increase. The aim this work was to achieve a better understanding of the benefits and potential of torula (*Candida utilis*) as partial protein replacement in basa (*Pangasius hypophthalmus*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture, two of the major fish species farmed worldwide. In this research, both the agroecosystems approach and the sustainable intensification theory were used and in-depth analysed. A review of torula in the feeds industry was also conducted, as well as experiments in commercial fish farms in order to evaluate the productive response of tilapia and basa fed with diets using torula as an alternative source of protein. Results suggest that these species can be produced under production systems of limited resources farmers, with limited water replacements and no aeration devices. Also, these results show that torula can partially replace the conventional protein sources in aquaculture diet for these species.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de ser parte del Programa de Doctorado en Agroecosistemas Tropicales y por el apoyo ofrecido para realizar el trabajo de investigación de tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada a través del programa de posgrado.

A la empresa Safmex por el financiamiento para realizar el trabajo de investigación

A mi Consejo Particular, por guiarme durante todos estos años; por las observaciones, comentarios y sugerencias para el desarrollo del trabajo de investigación de tesis así como en mi formación académica.

Al Dr. Alberto Asiain Hoyos, por su amistad, la paciencia y por la orientación brindada durante mi formación académica y por todo el apoyo fuera de lo académico.

A mis profesores el Dr. Felipe Gallardo López por su amistad y sus consejos en tiempos difíciles, al Dr. Juan Pablo Martínez Dávila por sus enseñanzas.

A los profesores del COLPOS, de quienes aprendí mucho y contribuyeron en mi formación doctoral.

Al Biólogo Benigno Fernández por todo su apoyo.

A mis amigos del COLPOS Campus Veracruz, en especial cesar, Mario, Ary, Aurora, Vinicio, María, Gloria, Oliverio, Othón, Salome, Alin, Beatriz, Rosario, Gustavo, Moisés, Alberto, Carlos, Alfredo, Nancy, Eduardo, Carlitos, Cecilio, Clemente, Rafael Z., Xico, Rafita, Jeremías, Emanuel, Alex O., Araceli, con los cuales compartí gran parte de mi vida.

Adlay, Fabiola y Marine, gracias por todo.

Al personal del Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas y por el apoyo en los trámites durante mi estancia en el COLPOS-VER.

DEDICATORIA

A mis padres JUAN y HORTENCIA por todo su amor y su apoyo; por enseñarme el camino de lo correcto con el ejemplo del amor al trabajo.

A mis hermanos Ana, Noemí, David, Berenice, Claudia, Juan, Gamaliel, Kalep y Luis. Siempre regresamos a los orígenes (La familia).

A mi abuelo José Pascual †. Nunca nos imaginamos estar aquí, pero ya que llegamos hay que trabajar que es lo único que nos recomienda.

A mi abuela Ernestina... Abuelita, nunca aprendiste a leer, el mundo que nos enseñaste fue el que percibiste a través de tus sentidos, tus relatos siempre nos mantenían atentos. Ustedes son parte importante de lo que hoy somos, nunca olvidare el amor y cuidado que nos dieron a mis hermanos y a mí.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPITULO I	3
MARCO TEÓRICO	3
Planteamiento epistémico estructurado sobre agroecosistemas.....	4
La construcción de conocimiento en esta disciplina científica.....	6
Desarrollo metodológico para el estudio de realidades complejas.....	7
Acuacultura y agroecosistemas.....	8
Vinculación teórica con los objetivos del trabajo.....	10
Literatura citada.....	14
CAPITULO II.....	18
MARCO DE REFERENCIA.....	18
La acuacultura, concepto dominio material, dominio epistémico, sus proyecciones a futuro y los escasos de proteína.....	18
Levaduras de interés alimentario.....	22
La membrana celular de <i>Candida utilis</i> como fuente de proteína.....	23
Ruta metabólica de <i>Candida utilis</i> para obtención de proteína unicelular	23
Proteínas.....	27
Constitución de las proteínas a partir de una colección de 20 aminoácidos	30
Literatura citada.....	31
CAPITULO III.....	36
OBJETIVO GENERAL	36
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	36
HIPOTESIS.....	36
CAPITULO IV	37
ESTADO DEL ARTE DEL APROVECHAMIENTO DE PROTEÍNA UNICELULAR (PUC) UTILIZANDO A <i>Candida utilis</i> COMO ORGANISMO BENÉFICO	37
Resumen.....	37
THE STATE OF THE ART OF THE USE OF <i>Candida utilis</i> AS UNICELLULAR PROTEIN SOURCE	37
Abstract.....	37

Introducción.....	38
Breve historia de la proteína unicelular en la alimentación humana.....	38
Composición y usos de la proteína unicelular de <i>candida utilis</i>	39
Literatura citada.....	44
CAPITULO V.	49
Resumen.....	49
Abstract	49
Introducción.....	50
Materiales y Métodos	51
Resultados y discusión.....	53
Conclusiones y recomendaciones	61
Literatura citada.....	62
CAPITULO VI.....	64
PARTIAL REPLACEMENT OF CONVENTIONAL PROTEIN WITH TORULA <i>CANDIDA UTILIS</i> IN PANGA <i>PANGASIUS HYPOPHthalmus</i> CULTURE IN MEXICO	64
Literature citada.....	68
CAPITULO VII.....	81
CONCLUSIONES GENERALES.....	81

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Ruta crítica para realizar una investigación científica según los métodos propuestos.	8
Cuadro 2. Practicas de los diferentes enfoques de intensificacion sustentable	12
Cuadro 3. Aminoácidos requeridos por tilapia y contenido de aminoácidos de torula. .	54
Cuadro 4. Perfil de aminoácidos diferentes fuentes de proteínas.....	55
Cuadro 5. Pesos promedio expresados por biometrías durante el proceso de evaluación de dietas con inclusión de torula.....	58
Cuadro 6. Principales parámetros productivos en el cultivo de <i>Oreochromis niloticus</i> .	60
Cuadro 7. Productive parameters of panga fed with three diets.	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Metabolismo: relación entre anabolismo y catabolismo en una célula	24
Figura 2. Vía de asimilación de nitrato.....	26
Figura 3. Estructura general de los aminoácidos comunes	28
Figura 4. Estructura globular de algunas clases de proteínas	29
Figura 5. Los isómeros L y D son imágenes especulares entre si. R se refiere a la cadena lateral	31
Figura 6: Comparación del oxígeno disuelto en agua observado durante el experimento	56
Figura 7: Comparación de la temperatura del agua observada durante el experimento.	57
Figura 8. Curva de crecimiento de tilapias con diferentes porcentajes de inclusión de proteína.....	60
Figura 9. Growth curves of panga fed with three diets, showing average weight \pm standard error of the mean.	66

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

FAO	Food and Agriculture Organization
ONU	Organización de las Naciones Unidas
COLPOS	Colegio de Postgraduados
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
CONAPESCA	Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca
INAPESCA	Instituto Nacional de Pesca
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
IUPAC	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
PUC	Proteína Unicelular
SPC	Single Cell Protein
FCR	Factor de Conversión alimenticia
Indexmundi	Indicadores mundiales de estadísticas

INTRODUCCIÓN GENERAL

El aumento de la población en el planeta durante las últimas décadas es directamente proporcional al aumento de la demanda de recursos que satisfagan necesidades alimentarias; los mecanismos de producción de alimentos han representado en el pasado y representan hoy en día implicaciones estructurales y funcionales sobre la modificación de los ecosistemas. La producción de carne de animales de granjas y la producción acuícola dependen directamente de las fuentes externas de insumos y materias primas para la fabricación de piensos para su alimentación. Dentro de los ingredientes más importantes en la formulación de dietas para la alimentación pecuaria se encuentran las proteínas.

Convencionalmente la proteína utilizada para estos fines es obtenida de animales, vegetales y principalmente de la pesca extractiva, actividad que ejerce una presión sobre los ecosistemas acuáticos, poniendo en dilema la sustentabilidad y la sostenibilidad de la producción de carne y de la producción de pescados por la acuicultura como principal consumidor de estos recursos.

La competencia por las proteínas por diferentes ganaderías y por el mercado de mascotas hace que los métodos convencionales para abastecerlas sean ineficientes e insuficientes para cubrir la demanda global además de tener altos costos económicos y ambientales.

Los paradigmas identificados en este trabajo de investigación se centran en la búsqueda de alternativas para aumentar la producción de alimentos, potenciar su calidad con la posibilidad de mejorar su precio.

Posibles alternativas se encuentran en el uso fuentes alternativas de proteínas de orígenes microbianos utilizando microorganismos que puedan adaptarse a diversas fuentes de carbono y que en su ruta metabólica ofrezcan como resultado un grupo de aminoácidos esenciales.

El presente trabajo de tesis presenta los resultados obtenidos de la evaluación de *Candida utilis*, una levadura utilizada para la obtención proteína unicelular y el aporte de

aminoácidos en la producción de *Oreochromis niloticus* y *Pangasianodon hypophthalmus*.

El escrito está estructurado en 7 capítulos cuatro de los cuales son parte de la estructura de tesis y tres que presentan diferentes resultados. En el capítulo uno se presenta el marco teórico, el cual es la parte fundamental de la investigación. El marco teórico define el Agroecosistema y puntualiza la importancia de abordar la investigación científica desde esta óptica y define los dominios agroecosistemicos de la acuicultura para finalmente contextualizar la investigación en la teoría de la intensificación sustentable y la teoría del forraje óptimo. En el capítulo dos se presentan un marco de referencia donde presenta algunas investigaciones en relación a los estudios e investigaciones realizados en el tema, además de elucidar la situación problemática. En el capítulo tres se plantean los objetivos de evaluar la proteína obtenida de la levadura *Candida utilis* y plantea las prognosis de la hipótesis. El capítulo cuatro presenta Estado del arte del aprovechamiento de proteína unicelular (PUC) utilizando a *Candida Utilis* como organismo benéfico. El capítulo cinco presenta los resultados obtenidos de la evaluación del uso de proteína unicelular (PUC) obtenida de *Candida utilis* como promotor de crecimiento en el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en una granja comercial con condiciones de tecnificación intermedia. El capítulo seis presenta el uso de proteína unicelular (PUC) obtenida de *Candida utilis* como promotor de crecimiento en el cultivo de *Pangasius hypophthalmus* en una granja comercial no tecnificada. Finalmente el capítulo siete presenta una serie de conclusiones generales

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

En la construcción origen y evolución del concepto de agroecosistemas es inherente hablar de agricultura. Su génesis se remonta a unos 10000 años, donde nuestros antepasados obtenían medios para satisfacer sus necesidades, como alimentarse y producir otros satisfactores, además era en ese espacio donde se establecía las relaciones sociales (Candelaria Martínez *et al.*, 2011)

La agricultura como actividad económica y social tiene una historia longeva, los preceptos, términos, conceptos y actividades que la definen fueron presentados por primera vez por (Harper, 1974). En la búsqueda de los medios para satisfacer las necesidades alimentarias y económicas dentro del concepto convencional de agricultura la agricultura debe mantener un equilibrio entre la producción de alimentos, crecimiento económico, bienestar social y protección al medio ambiente, estos preceptos de sustentabilidad constituyen uno de los retos más importantes a los que se enfrentan las sociedades contemporáneas (Altieri, 2013).

En la búsqueda del desarrollo de una agricultura sostenible, disciplinas como la agroecología emergieron con la intención de proveer principios ecológicos básicos que permitiría estudiar, diseñar y manejar al agroecosistema, refiriéndose a este último como un modelo conceptual de la agricultura, sin embargo las evidencias históricas muestran que a la agroecología le fue imposible cumplir con la demanda social para la cual fue creada, pues dentro de su definición lleva la limitante al decir que solo es estudio holístico de los agroecosistemas (Altieri, 2013; Altieri *et al.*, 2007) que a más de dos décadas después nadie se ha atrevido a decir otra cosa diferente.

La definición clásica de agroecosistemas alude a un modelo conceptual para el estudio de la actividad agrícola (Martínez *et al.*, 2011; Ruiz-Rosado, 2006), acompañada por una parte antropocéntrica (Candelaria Martínez *et al.*, 2011; Hart, 1985; Marten, 1988; Martínez *et al.*, 2011) a la cual (Martínez *et al.*, 2011) llama cibernética. Agroecosistemas se define regularmente como procesos que se dan a través de cadenas de producción-consumo, con intervención de políticas públicas, cultura e instituciones públicas y

privadas. El agroecosistema es constantemente interpretado como un sistema contingente que se construye de la modificación social de un sistema ecológico natural, para la producción de alimentos, materias primas y servicios ambientales que la sociedad demanda, al bienestar de la población rural y a su sostenibilidad ecológica con una dimensión espacial. Los objetivos del agroecosistema dependen del tipo de administrador que lo regula, de los recursos disponibles y de la interrelación con el entorno multifuncional y complejo (Martínez *et al.*, 2011).

Planteamiento epistémico estructurado sobre agroecosistemas.

TGS es una meta teoría que genera o adopta conceptos, leyes generales para su interpretación y comprensión científica de los sistemas concretos que forman la realidad generalmente compleja y única, en lugar de sistemas abstractos como los que estudiaba la física (von Bertalanffy, 1981). El estudio de los organismos y las sociedades con la óptica de TGS significó la comprensión de los sistemas complejos, permitiendo superar en el terreno de la biología y la sociología las disputas clásicas de la filosofía (Mardones & Ursua, 1992), en torno a la realidad y en torno al conocimiento. Basado y desarrollado en el contexto de la Teoría General de Sistemas (von Bertalanffy, 1981) agroecosistemas ofrece un enfoque diferente a la ciencia atomista (Conway, 1987; Gliessman *et al.*, 1998; Harper, 1974; Hart, 1985; Hernández, 1977; Janzen, 1973; Marten, 1988; Montaldo, 1985; Odum, 1984; Pérez-Vázquez, 1996; Ruiz-Rosado, 2006; Toledo, 1980), que emergió como un cambio en la investigación de la agricultura tradicional, para analizar los conceptos, redefinirlos y aplicarlos al desarrollo rural en todos sus contextos más allá de solo la producción de alimentos y satisfactores. Sin embargo los trabajos y conceptos abordados hasta ahora siempre van acompañado por su acción e interpretación en el campo de la agricultura (Conway, 1987; Gliessman *et al.*, 1998; Harper, 1974; Hart, 1985; Hernández, 1977; Janzen, 1973; Marten, 1988; Martínez *et al.*, 2011; Montaldo, 1985; Odum, 1984; Pérez-Vázquez, 1996; Ruiz-Rosado, 2006; Toledo, 1980), hasta hora los argumentos no han sido suficientes para sacarla de ese parcelamiento, los teóricos del tema lo han reducido a un modelo conceptual y la aberración teórica es que otros se atreven a reducir al agroecosistema a la parte física de la agricultura anteponiendo la palabreja agroecosistema + el cultivo en cuestión.

Para superar las limitantes conceptuales y metodológicas observadas del agroecosistema se requieren de nuevos planteamientos y definiciones que lleven a redefinir el concepto y permita abrirse a una nueva revolución científica.

(Herrscher & Ackoff, 2003) dice que mientras el enfoque del lenguaje analítico ha permanecido esencialmente intacto durante casi cuatrocientos años, el pensamiento sistémico ya pasó por 3 distintas generaciones de cambio. La primera acepta sistemas mecanicistas y modelos matemáticos, la segunda tiene su génesis en la necesidad de analizar los sistemas biológicos y la tercera denominada sistemas complejos, ayudan en el estudio que arrojan los todos sistemas incluyendo a los sistemas sociales con injerencias antropocéntricas (García, 2006). En ese sentido (García, 2006b) engloba a la agricultura, sociedad y ordenamiento territorial dentro de los sistemas complejos, (Martínez *et al.*, 2011) menciona que la dimensión espacial y objetivos del agroecosistema dependen del tipo de controlador que lo regula, de los recursos que éste maneja y de su interrelación con el entorno multifuncional y complejo; ambos autores concuerdan con la complejidad de los espacios y entornos estructurales. En sí, un sistema es “una representación de un recorte de la realidad compleja” conceptualizado como una totalidad organizada, en la cual los elementos no son “separables” y por lo tanto no pueden ser estudiados “aisladamente”. Es decir, los elementos de un agroecosistema son “interdefinibles” y están constituidos por elementos heterogéneos en interacción y de allí su denominación de complejos, lo cual significa que sus subsistemas pertenecen a los dominios de muy diversas disciplinas (García, 2006), y que para entender la injerencia del término “transdisciplinario” en agroecosistemas, se puede recurrir a sus cuatro grandes dominios de los sistemas complejos(García, 2006b):

a) Dominio material: el conjunto de objetos y componentes físicos que tiene el agroecosistema.

b) Dominio conceptual: el conjunto de teorías, conocimientos y definiciones conceptuales sistematizadas del agroecosistema con respecto a su dominio material.

c) Dominio epistemológico interno: corresponde al análisis de los fundamentos de agroecosistema, es decir a la crítica de las teorías de su dominio conceptual.

d) Dominio epistemológico derivado: analiza las relaciones entre el sujeto y el objeto de conocimiento, el marco más general, comparando los resultados de agroecosistemas con los de otras ciencias similares.

Es así que el concepto de agroecosistemas debe de exhibir un puente entre el positivismo y la hermenéutica, que sea capaz de abrirse a aceptar conceptos de otras disciplinas y la existencia y pertinencia de la multifuncionalidad de los territorio donde existe una diversidad compleja en interrelación entre los sistemas productivos y los sistemas sociales, los cambios estructurales de la ruralidad moderna y que sea capaz de sanear los huecos metodológicos y conceptuales que han dejado de lado la agroecología y la agronomía, quienes a su vez han omitido los enfoques holísticos y complejos que anteponen la presencia antropocéntrica.

Para comprender la agricultura desde la óptica de agroecosistemas es necesaria que el concepto tome en cuenta a los diversos autores mencionados anteriormente y de por entendido que agroecosistemas debe abordarse como un sistema complejo, aceptando sus cuatro dominios ubicados en la tercera generación de sistemas y ser elevado a la categoría de disciplina para quedar un concepto de tal manera que diga que un “Agroecosistemas es una disciplina que utiliza el enfoque sistémico para el estudio de las ciencias los sistemas complejos”.

La construcción de conocimiento en esta disciplina científica

Todas las disciplinas bajo la óptica de agroecosistemas según las ideas (Kuhn, 2006) sobre las revoluciones científicas, han pasado por diferentes etapas históricas de desarrollo y enfrentarse a diferentes paradigmas de la ciencia y revoluciones científicas dentro de una sociedad científica especializadas. Cualquiera que intente aprender sobre agroecosistemas se encontrará con una amplia variedad ciencias involucrada.

En este sentido basta recordar a (Kuhn, 2006) y la universalidad temporal de los valores (Olivé, 1995), donde de manera explícita sostiene: Los criterios de elección de una teoría como TSG debe de funcionar no como regla que determinen las decisiones a tomar, sino como valores que influyen en estas (Kuhn, 2006). Los ejemplos de Kuhn ayudan para comprender que agroecosistemas es valioso en la medida en que satisfaga valores como

de precisión, coherencia, alcance, simplicidad, fecundidad, pero nunca podemos decir que es una postura precisa o simple, en términos de lo absoluto. Es así que diversos paradigmas científicos actuales se anidan en la agricultura como ciencia que al ser analizada con la óptica de agroecosistemas permite entender a profundidad su carácter sistémico, holístico y la totalidad de sus componentes como anti tesis del reduccionismo. El pensamiento sistémico (Herrscher & Ackoff, 2003) en agroecosistemas (Conway, 1987; Gliessman *et al.*, 1998; Harper, 1974; Hart, 1985; Hernández, 1977; Janzen, 1973; Marten, 1988; Martínez *et al.*, 2011; Montaldo, 1985; Odum, 1984; Pérez-Vázquez, 1996; Ruiz-Rosado, 2006; Toledo, 1980) permite construir un mapa conceptual de la agricultura, entendiendo los paradigmas científicos contemporáneos pero no la reduce a un modelo conceptual como la mayoría de las posiciones descritas anteriormente, sino más bien contribuye a ubicarla en los cuatro dominios de los sistemas complejos donde existe una parte física, una parte conceptual, una parte epistémica interna y una parte epistémica derivada satisfaciendo los valores inherentes a los que hace referencia (Kuhn, 2006) como la precisión, coherencia, alcance, simplicidad y fecundidad y de esta manera ubicarlos en los niveles jerárquicos de los agroecosistemas que hace referencia (Ruiz-Rosado, 2006) para dar paso a la identificación de la demanda social del trabajo del científico como actor y establecer la o las teorías científicas que expliquen el fenómeno que se tenga intención de estudiar.

Desarrollo metodológico para el estudio de realidades complejas

El indagar las condiciones económicas, sociales, estructurales del entorno y de la dinámica de las actividades productivas, son útiles como base para referirse al origen de la racionalidad y la génesis de las ideas que motivan a proponer la investigación agrícola utilizando el pensamiento sistémico del concepto de Agroecosistemas. Esta dinámica se debe de dar mediante procesos estructurados, para obtener un marco teórico que justifique y cree el puente entre la agricultura y las teorías científicas aplicables a agroecosistemas. En el primero paso se deben crear ideas con un modelo mental como el propuesto por Craik (1967) citado por (Figuroa, 2011), para posteriormente pasar a un modelo conceptual como el propuesto por (Gemino & Wand, 2004) que esclarezcan las razones y objetivos por las cuales se realizara la investigación. Este modelo conceptual también debe servir para ubicar los cuatro dominós agroecositemiscos y

definir las demandas internas para organizar los recursos disponibles, entendiendo que estos últimos serían los que darían la viabilidad económica y estructural para la investigación, para finalmente hacer un esquema de operaciones de la investigación (cuadro 1).

Es importante recalcar que es necesario hacer uso de las definiciones propias y conceptos adecuados para el tipo de cultivo a estudiar con la óptica de agroecosistemas que esclarezcan el camino e interés científico del investigador.

Cuadro 1. Ruta crítica para realizar una investigación científica según los métodos propuestos.

Modelo mental (Craik, 1967)	Modelo conceptual (Gemino and Wand, 2004)	Esquema de operaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Razón u objetivo • Organización de los recursos 		

Fuente. Elaboración propia.

Acuacultura y agroecosistemas.

La acuacultura se originó de manera empírica a partir de observar animales acuáticos, estableciendo posiblemente las primeras formas efectivas de cultivo (Rabanal, 1988). Juveniles de peces y crustáceos llegaban a lagunas y marismas, donde engordaban y posteriormente eran capturados con la ayuda de cercas o encañizadas cerrando los lugares de paso (Rabanal, 1988; Vela Wallejo & Ojeda González-Posada, 2007). Esta técnica ha evolucionado progresivamente hacia una verdadera cría y dando paso a lo que se conoce hoy como acuacultura.

Acuacultura puede ser entendida como el cultivo de organismos acuáticos, peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, en posesión de una persona física o jurídica e intervenida en operaciones como la siembra, la alimentación y la protección de depredadores (FAO, 2016). Es de destacar en esta definición de acuacultura la intervención del hombre en el proceso de cultivo de las especies acuáticas.

Reconociendo esta idea, la acuicultura es, en su concepción y por objetivo una actividad productiva más, semejante a la agricultura (Parker, 2011) y la ganadería, por su afinidad con el abastecimiento de alimento o como materia prima (Vela Wallejo & Ojeda González-Posada, 2007). Es decir, y como se ha planteado antes, la acuicultura tiene las características y los dominios de los que habla (García, 2006), que la ubican en una posición de ser analizada desde la óptica de agroecosistemas.

Los dominios materiales de la acuicultura se encuentran en el diseño de los componentes físicos donde se ha construido una estructura para la gestión y el manejo del agua, la oxigenación forzada y el hábitat de una especie acuática seleccionada.

El dominio conceptual de la acuicultura se centra en los conceptos propios como disciplina y como agroecosistema, estos pueden ser muy amplios o muy reducidos dependiendo del nivel jerárquico a los que hace mención (Conway, 1985), según el recorte de la realidad compleja que se quiere analizar (García, 2006).

El dominio epistemológico interno de la acuicultura corresponde al análisis de los fundamentos de este agroecosistema, es decir a la crítica de las teorías de su dominio conceptual ya sea como actividad productiva o como disciplina científica de los cuales no se profundiza aquí.

Y finalmente el dominio epistemológico derivado, que está en función del análisis de las disciplinas y las relaciones de la acuicultura como sujeto y la acuicultura como objeto de conocimiento, comparando sus resultados y avances de su estudio con el apoyo de otras ciencias. Es decir, es aquí donde nace la transdisciplina.

Del análisis del estatus como actividad productiva o como disciplina, la acuicultura da evidencias que se encuentra en una posición privilegiada por sus avances tecnológicos. Sin embargo, la acuicultura como todas las disciplinas según las ideas de (Kuhn, 2006) tuvo que haber pasado por diferentes etapas históricas de desarrollo y enfrentarse a diferentes paradigmas de la ciencia y revoluciones científicas dentro de una sociedad científica especializada para generar nuevas revoluciones del conocimiento. Cualquiera que intente aprender sobre acuicultura se encontrará con

muchas ciencias involucrada (Parker, 2011). Los paradigmas científicos (Kuhn, 2006) de la acuicultura han pasado de ser domesticación, reproducción y construcción de hábitad en la antigüedad hasta llegar a los dominios de diversas ciencias en la actualidad, dentro los que destacan, ciclos de vida y biología de la especie , genética y reproducción, nutrición y dietas, requisitos ambientales, control de efluentes (desperdicios), disponibilidad de agua, control de enfermedades y parásitos, depredación y competencia, cosecha, procesamiento y distribución, transporte, introducción de especies no nativas, registro de drogas y químicos, producción de reservas de semillas raras, pesca sostenible y acuicultura, manejo seguro de pescados y mariscos, lucha contra las especies acuáticas molestas, educación al público y formación de recursos humanos y búsqueda de nuevas drogas y medicamentos (Parker, 2011).

En este sentido sirve de mucho recordar a (Kuhn, 2006) la universalidad de los criterios de elección de una teoría. Diversos son los paradigmas científicos actuales anidados en la acuicultura como ciencia, observarla con la óptica de agroecosistemas permite entender a profundidad su carácter sistémico, holístico y la totalidad de sus componentes como anti tesis del reduccionismo. El pensamiento sistémico (García, 2006; Herrscher & Ackoff, 2003) permite construir un mapa conceptual de la acuicultura entendiendo los paradigmas científicos contemporáneos, satisfaciendo los valores inherentes a los que hace referencia (Kuhn, 2006) como la precisión, coherencia, alcance, simplicidad y fecundidad y de esta manera ubicarlos en los niveles jerárquicos para dar paso a la identificación de la demanda social del trabajo del científico como actor social. Es así que en este recorrido teórico y específicamente para este trabajo sobre el aprovechamiento de proteína unicelular, utilizando a la levadura *Candida utilis* como organismo benéfico, la pertinencia se ha identifica en los paradigmas de la pesca y acuicultura sostenible que se tratara de explicar con la teoría de la intensificación sustentable y los paradigmas de la nutrición a través de la teoría del forraje óptimo.

Vinculación teórica con los objetivos del trabajo.

La naturaleza y el alcance de las consecuencias ambientales de la acuicultura dependen en gran medida de la ubicación y el tipo de granjas, así como de las tecnologías empleadas (Holmer *et al.*, 2007). El uso del concepto de sustentabilidad es un factor que

ha influido en el progreso de ciertas formas de acuicultura en los últimos años (Pillay, 2008). La Cumbre de Río en 1992 (ONU, 1992) resolvió que todas las formas de desarrollo, y en particular para aquellos que utilizan recursos naturales, deberían basarse en el principio de sostenibilidad. Este evento histórico sucedió en el momento en que muchos de los recursos pesqueros del mundo mostraban evidencias de sobrepesca con rendimientos decrecientes (FAO, 2016).

De esta manera la acuicultura se ha convertido en el único sector de crecimiento en la oferta de pescados y mariscos (FAO, 2016). Proyecciones optimistas para la acuicultura indican que dentro de los próximos dos décadas esta deberá ser capaz de cumplir más de la mitad de la demanda mundial de pescado y mariscos (Msangi *et al.*, 2013). Esto ha sido apoyado por el aumento porcentual anual en la producción acuícola en la mayoría de los países (FAO, 2016).

Sin embargo, mientras la producción de los ingredientes ofertados por la pesca extractiva para elaborar piensos permanecen estáticos con tendencia a la baja, sectores pecuarios como la producción de aves, cerdos, animales de compañía entre otros compiten por los mismos insumos proteicos (Tacon & Metian, 2015) utilizados para el desarrollo de la acuicultura. Es importante recordar que muchos sistemas de producción acuícola demandan importantes cantidades de la harina de pescado producida en el planeta (Hasan & Halwart, 2009a), lo que significa que hasta un 70% de la producción acuícola mundial depende directamente de suministros de la pesca extractiva. La demanda anual de harina de pescado para fabricación de alimento para acuicultura incremento un promedio de 10.3% desde el año 2000 hasta el año 2015. La comercialización de proteína obtenida de la pesca extractiva mantiene preocupaciones económicas por su disposición en el futuro y ecológicas debido a la sobrepesca de los peces pelágicos de la que se obtiene (Gamboa-Delgado *et al.*, 2016).

Conceptos y prácticas como los implícitos dentro de la teoría de la intensificación sustentable (Baulcombe *et al.*, 2009; Campbell *et al.*, 2014; Cook *et al.*, 2015; Dobermann *et al.*, 2013; Garnett & Godfray, 2012; Kenmore, 2004; Parker, 2011)

ofrecen una alternativa para la acuicultura aspirando a cumplir con lo proyectado para su desarrollo a futuro.

La intensificación sustentable ha sido definida por el Institución científica británica Royal Society como un proceso mediante el cual "los rendimientos se incrementan sin efectos negativos, pocos impactos ambientales y sin el uso de más tierra (Baulcombe et al., 2009). Se refiere al aumento simultáneo en la producción por área, eficiencia en el uso de recursos naturales, el flujo de servicios ambientales, y reducciones en impactos ambientales negativos, como la emisiones de gases del efecto invernadero (Cook et al., 2015), es decir la intensificación sustentable apuesta a un cambio tecnológico.

Cuadro 2. Practicas de los diferentes enfoques de intensificacion sustentable

Enfoque socio económico	Enfoque tecnológico	
Intensificación socio económica	Intensificación ecológica	Intensificación genética
Creación de ambientes habitables	Administración integrado de plagas	Altos rendimientos
Mercados	Agricultura de conservación	Nutrición mejorada
Construir capital social	Agricultura orgánica	Resiliencia a plagas y enfermedades
Construir capital humano		Resiliencia al cambio climático
Creando formas de vida sustentables		Crear medios de vida sustentables

Adaptado de (FAO, 2013).

Los preceptos de la intensificación sustentable (Baulcombe et al., 2009; Campbell et al., 2014; Cook et al., 2015; Dobermann et al., 2013; FAO, 2013; Garnett & Godfray, 2012;

Kenmore, 2004; Parker, 2011) en primer lugar sugieren que la acuicultura debe ser tratada como un marco para la producción de alimentos a nivel mundial. En segundo lugar, reconocen que la concepción de intensificación sustentable debe poner el mismo énfasis tanto a la intensificación como a la sustentabilidad. En tercer lugar, se hace hincapié en la flexibilidad y la necesidad de adaptar los enfoques a los contextos locales, en lugar de prescribir un conjunto fijo de prácticas de producción. Y finalmente, que permita mejorar los modos de vida de los productores.

Como se había planteado anteriormente, la intensificación sustentable es un producto de la aplicación de tecnología. Para ello, (FAO, 2013) menciona que existen dos diferentes enfoques para el contexto del desarrollo (Cuadro 2). El enfoque tecnológico que a su vez se divide, primero en la aplicación de procesos ecológicos agrícolas (intensificación ecológica) y segundo en el utilizar plantas y ganadería (intensificación genética). El enfoque intensificación socioeconómica proporciona un entorno propicio para apoyar la adopción de tecnología y desarrollar mercados para los productos de la intensificación sustentable.

Los informes de (Baulcombe *et al.*, 2009; FAO, 2016) tienen una visión optimista con respecto a los últimos avances de la ciencia biológica y otros campos biotecnológicos que pueden ofrecer alternativas al crecimiento de la población del mundo.

Dentro de las prioridades específicas para la acción de la expansión sustentable se reconoce la necesidad de volver a focalizar las inversiones en la investigación agrícola a escala mundial (Nutrición, 2016). Esta postura de la teoría de la expansión sustentable con respecto al enfoque tecnológico y la intensificación genética (FAO, 2016) ofrece una oportunidad para el desarrollo de la acuicultura y las proyecciones productivas a futuro con base a la nutrición mejorada podrían alcanzarse centrándose en cuestiones teóricas, como el forrajeo óptimo.

El interés ecológico en explicar cómo los organismos explotan el medio ambiente donde se desarrollan conlleva a utilizar modelos como la “teoría del forrajeo óptimo” que básicamente afirma que los organismos se alimentarán preferentemente de los recursos

alimentarios que proporcionan el mayor rendimiento neto de nutrientes a largo plazo para la menor inversión de energía o riesgo por parte del consumidor (Bone & Moore, 2008).

En esencia esta teoría es vista como un problema de costo y ganancia. Los costos son representados usualmente en términos de tiempo y las ganancias son medidas en términos de consumo calórico. Así, un animal que forrajea, debería minimizar el tiempo de forrajeo y maximizar la cantidad de calorías consumidas. El tiempo de forrajeo ha sido dividido en dos partes: tiempo de búsqueda (Solano *et al.* 2013) y tiempo de manipulación (t_m) que incluye captura, manejo, e ingestión de la comida. En conclusión, de acuerdo con la teoría del forrajeo óptimo, un forrajeador debería maximizar $E / t_b + t_m$. La teoría del forraje óptimo se ha centrado en la solución de tres preguntas fundamentales: ¿Qué comer?, ¿dónde encontrar comida?, y ¿qué patrón de búsqueda se debe adoptar para forrajear eficientemente? (Gutiérrez, 1998). En este sentido, de acuerdo a (Bone & Moore, 2008), las especies acuáticas que requieren alimentos de origen marino para su crecimiento, no pueden fácilmente depender de dietas basadas en nutrientes de origen agrícola, ya que la composición de amino ácidos y ácidos grasos esenciales es diferente (Holmer *et al.*, 2007). Este hecho representa una gran restricción, debido a que la proteína es un ingrediente finito en términos de disponibilidad. Es de hecho el componente más caro en la formulación de dietas para peces (Pongpet *et al.*, 2016).

Una de las formas posibles de proporcionar nuevos recursos ricos en aminoácidos y ácidos grasos para la alimentación de los peces es la producción de "biomasa celular", utilizando microorganismos (Holmer *et al.*, 2007). Escenarios futuros predicen que los microorganismos serán modificados genéticamente debido a una fuerte presión creada por las demandas del mercado. Así, todo parece indicar que la biomasa celular que será inicialmente utilizada como un suplemento en la alimentación de animales marinos y agrícolas, se volverá gradualmente la fuente de proteína más barata y dominante (Holmer *et al.*, 2007).

Literatura citada.

Altieri M. A. (2013) Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas. Agroecología y

- resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático (Nicholls CI, Ríos LA, Altieri MA, eds). Proyecto REDAGRES. Medellín, Colombia, 94-104.
- Altieri M. Á., Altieri M. A. & Nicholls C. I. (2007) Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas, Icaria Editorial.
- Baulcombe D., Crute I., Davies B., Dunwell J., Gale M., Jones J., Pretty J., Sutherland W. & Toulmin C. (2009) Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture, The Royal Society.
- Bone Q. & Moore R. (2008) Biology of fishes, Taylor & Francis.
- Campbell B. M., Thornton P., Zougmore R., Van Asten P. & Lipper L. (2014) Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **8**, 39-43.
- Candelaria Martínez B., Ruiz Rosado O., Gallardo López F., Pérez Hernández P., Martínez Becerra Á. & Vargas Villamil L. (2011) Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Tropical and subtropical agroecosystems*, **14**, 999-1010.
- Conway G. R. (1985) Agroecosystem analysis. *Agricultural administration*, **20**, 31-55.
- Conway G. R. (1987) The properties of agroecosystems. *Agricultural systems*, **24**, 95-117.
- Cook S., Silici L., Adolph B. & Walker S. (2015) Sustainable intensification revisited. IIED Issue Paper.
- Dobermann A., Nelson R., Beever D., Bergvinson D., Crowley E., Denning G., Giller K., d'Arros Hughes J., Jahn M. & Lynam J. (2013) Solutions for sustainable agriculture and food systems. Sustainable Development Solutions Network, New York, NY, USA.
- FAO (2013) Sustainable intensification: a new paradigm for african agriculture. Panel Montpellier. London: Agriculture for Impact.
- FAO (2016) El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma.
- Figuroa A. R. (2011) Inferencia abductiva basada en modelos. Una relación entre lógica y cognición. *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 3-29.
- Gamboa-Delgado J., Fernández-Díaz B., Nieto-López M. & Cruz-Suárez L. E. (2016) Nutritional contribution of torula yeast and fish meal to the growth of shrimp *Litopenaeus vannamei* as indicated by natural nitrogen stable isotopes. *Aquaculture*, **453**, 116-121.
- García R. (2006) Sistemas complejos. Gedisa.
- Garnett T. & Godfray C. (2012) Sustainable intensification in agriculture. Navigating a course through competing food system priorities. Food climate research network and the Oxford Martin programme on the future of food, University of Oxford, UK, 51.

- Gemino A. & Wand Y. (2004) A framework for empirical evaluation of conceptual modeling techniques. *Requirements Engineering*, **9**, 248-260. 10.1007/s00766-004-0204-6
- Gliessman S. R., Engles E. & Krieger R. (1998) *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*, CRC Press.
- Gutiérrez G. (1998) Estrategias de forrajeo. *Manual de Análisis Experimental del Comportamiento*. Págs, 359-381.
- Harper J. (1974) Agricultural ecosystems. *Agro-ecosystems*, **1**, 1-6.
- Hart E. (1985) Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba-Costa Rica, 2-49.
- Hasan M. R. & Halwart M. (2009) Fish and feed inputs for aquaculture. Practices, sustainability and implications., FAO Fisheries and aquaculture technical paper.
- Hernández X. (1977) Agroecosistemas de México: Contribución a la enseñanza, la investigación y la divulgación agrícola.
- Herrscher E. G. & Ackoff R. L. (2003) *Pensamiento sistémico: caminar el cambio o cambiar el camino*, Ediciones Granica SA.
- Holmer M., Black K., Duarte C. M., Marbà N. & Karakassis I. (2007) *Aquaculture in the Ecosystem*, Springer Science & Business Media.
- Janzen D. H. (1973) Tropical agroecosystems. *Science*, **182**, 1212-1219.
- Kenmore P. (2004) La etica de la intensificacion sostenible de la agricultura.
- Kuhn T. S. (2006) *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de cultura económica.
- Mardones N. & Ursua J. M. (1992) *Filosofía de las Ciencias humanas y sociales*. Fontamara.
- Marten G. G. (1988) Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural systems*, **26**, 291-316.
- Martínez D., Gallardo L., Bustillo G. & Pérez V. (2011) El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*, **1**, 453-462.
- Montaldo P. (1985) *Agroecología del trópico americano*, lica.
- Msangi S., Kobayashi M., Batka M., Vannuccini S., Dey M. & Anderson J. (2013) Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture. *World Bank Report*, 102.
- Nutrición P. M. s. A. y. S. A. p. I. (2016) *Sistemas alimentarios y dietas: Enfrentar los desafíos del siglo XXI*. Londres, Reino Unido.
- Odum E. P. (1984) Properties of agroecosystems. *Agricultural ecosystems*, 5-11.
- Olivé L. (1995) *Racionalidad epistémica*, Editorial CSIC-CSIC Press.
- ONU (1992) *Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo*.

- Parker R. (2011) *Aquaculture science*, Cengage Learning.
- Pérez-Vázquez A. (1996) El Concepto de Agroecosistema: definiciones y enfoques. Notas para el Curso Teórico-Práctico de Introducción al Estudio de Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Manlio Fabio, Altamirano, Veracruz, México, 2-19.
- Pillay T. V. R. (2008) *Aquaculture and the Environment*, John Wiley & Sons.
- Pongpet J., Ponchunchoovong S. & Payooha K. (2016) Partial replacement of fishmeal by brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in the diets of Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus* × *Pangasius bocourti*). *Aquaculture Nutrition*, **22**, 575-585.
- Rabanal H. R. (1988) *History of aquaculture*.
- Ruiz-Rosado O. (2006) Enfoque de sistemas y agroecosistemas. Agroecología y agricultura orgánica en el trópico. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Universidad Autónoma de Chiapas. Tunja, Boyacá, Colombia, 27-35.
- Solano G., Rodríguez - Jova Z. y Martínez - Aguilar Y. (2013) Torula yeast cream (*Candida utilis*) from vinasse inoculated with acid lactic bacteria for feeding pigs. *Revista Granma Ciencia*, **17**.
- Tacon A. G. & Metian M. (2015) Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, **23**, 1-10.
- Toledo V. M. (1980) La ecología del modo campesino de producción. *Antropología y marxismo*, **3**, 35-55.
- Vela Wallejo S. & Ojeda González-Posada J. (2007) *Acuicultura: La revolución azul*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid (España). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid (España).
- von Bertalanffy L. (1981) *Tendencias en la teoría general de sistemas*.

CAPITULO II

MARCO DE REFERENCIA

La acuicultura, concepto dominio material, dominio epistémico, sus proyecciones a futuro y los escasos de proteína

Fue la observación empírica de animales acuáticos en su habidad lo que originó las primeras formas efectivas de cultivo de peces (Rabanal, 1988), peces y crustáceos juveniles alojados en lagunas y marismas de manera natural se engordaban y posteriormente eran capturados con la ayuda de cercas o encañizadas (Rabanal, 1988; Vela Wallejo & Ojeda González-Posada, 2007). Esta técnica evoluciono progresivamente primero hacia una actividad productiva luego hacia una disciplina que con el tiempo ha conseguido constituirse como una ciencia conocida como acuicultura.

Los conceptos actuales para acuicultura se entienden como el cultivo de organismos acuáticos, que clasifican a peces, moluscos, crustáceos y plantas que en propiedad de una persona física o moral, quien decide las actividades de siembra, alimentación y la protección de depredadores (FAO, 2016), esta definición desde una óptica agroecositemica (Martínez *et al.*, 2011) otorga a la acuicultura una semejanza con la agricultura y la ganadería, por su componente antropocéntrico y por su finalidad en producir alimentos y materias primas (Altieri, 2013; Parker, 2011; Vela Wallejo & Ojeda González-Posada, 2007). Otro aspecto importante de la acuicultura son los dominios materiales (García, 2006) que se sitúan en el diseño de los componentes físicos, donde se ha construido una estructura para el hábitat de una especie acuática seleccionada, la gestión y el manejo del agua y la tecnificación del sistema. Hablar de la actividad ha dejado de ser solo de domesticación, reproducción y construcción de habidad en el pasado hasta llegar a los dominios epistémicos que derivan de diversas ciencias en la actualidad (García, 2006). De igual manera la acuicultura, además de ser una disciplina importante, es la única actividad del sector de oferta de pescados y mariscos en crecimiento (FAO, 2016), proyecciones optimistas indican que en las próximas dos décadas el cultivo de peces como actividad deberá ser capaz de proveer más de la mitad de los productos demandados por el sector de pescado y mariscos (FAO, 2016; Msangi *et al.*, 2013) Sin embargo existen externalidades que pudieran limitar el desarrollo de la industria. Problemas como la alta dependencia a la proteína ofertada por la pesca

extractiva (Gamboa-Delgado *et al.*, 2016; Hasan & Halwart, 2009), competencia por recursos nutricios entre ganaderías (Tacon & Metian, 2015) y el mercado de mascotas, pesca extractiva estática con stock de recursos marinos a la baja y limitada disposición de materia prima en el mercado (Bone & Moore, 2008; Halver & Hardy, 2002; Parker, 2011; Tacon & Metian, 2015). Aunado a estas externalidades, el cultivo de especies acuáticas no pueden depender de dietas basadas en nutrientes de origen agrícola, ya que la composición de amino ácidos y ácidos grasos esenciales es diferente (Holmer *et al.*, 2007). Estos hechos representan grandes restricciones en la cría y engorda de peces, debido a que la proteína es el ingrediente más importante en formulación de dietas, es un recurso finito en términos de disponibilidad y es el ingrediente más caro (Montoya-Camacho *et al.*, 2018; Pongpet *et al.*, 2016; Rawles *et al.*, 2010; Yilmaz *et al.*, 2015). Una postura positiva con respecto al enfoque científicos del cambio tecnológico y la intensificación genética (FAO, 2016), ofrece la posibilidad para el desarrollo proyectado para la acuicultura, para las estimaciones productivas a futuro, todo ello con base a la nutrición mejorada. Una de las formas posibles de proporcionar nuevos recursos ricos en aminoácidos y ácidos grasos para la alimentación de los peces es la producción de "biomasa celular", utilizando microorganismos (Holmer *et al.*, 2007; Montoya-Camacho *et al.*, 2018; Pongpet *et al.*, 2016; Rawles *et al.*, 2010; Yilmaz *et al.*, 2015) Convencionalmente la proteína utilizada en formulación de piensos para acuicultura y otras ganaderías es obtenida de animales, derivados lácteos, subproductos de mataderos, procesamiento de pescado y fuentes vegetales como la soya (Holmer *et al.*, 2007; Montoya-Camacho *et al.*, 2018; Pongpet *et al.*, 2016; Rathinavelu & Graziosi, 2005; Scholz *et al.*, 1999; Tacon & Metian, 2015a; Yilmaz *et al.*, 2015)

Existen otras proteínas no convencionales que se pueden obtener de una gran variedad de microorganismos con elevada concentración de aminoácidos en su estructura, que además son capaces de reproducirse en diversos medios, comúnmente desechos de la agroindustria (Gutiérrez Ramírez & Gómez Rave, 2008; Holmer *et al.*, 2007; Montoya-Camacho *et al.*, 2018; Pongpet *et al.*, 2016; Rathinavelu & Graziosi, 2005; Scholz *et al.*, 1999; Tacon & Metian, 2015a; Yilmaz *et al.*, 2015) y carbono fósil. A esta biomasa microbiana obtenida de levaduras, bacterias, algas y hongos filamentosos, se le denomina proteína unicelular o bioproteína (Chacon, 2004) y se utilizan sin

procesamiento alguno para alimentar animales de granja o bien para formular dietas balanceadas, también son utilizadas en el desarrollar de productos derivados de su purificación para obtener proteínas, carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y vitaminas (Caballero *et al.*, 1993; Carrillo-Inungaray *et al.*, 2010; González-Salas *et al.*, 2014; Palmerin-carreño *et al.*; Tizol, 1994)

Durante décadas las levaduras de usos industriales han sido utilizadas como un excelente anfitrión para la producción de proteínas, algunos géneros como *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis* han sido clasificada como seguras por las autoridades reguladoras (Buerth *et al.*, 2011; Pinheiro *et al.*, 2014), surgen como una excelente fuente y presenta ventajas para su purificación (Buerth *et al.*, 2011; Horgan & Murphy, 2011; Nduka, 2007; Pinheiro *et al.*, 2014; Schlegel & Zaborosch, 1997)

Levaduras

En el año 1666 el científico de origen inglés Robert Hooke observó por primera vez las estructuras que en la actualidad conocemos como células, en 1839 el fisiólogo de Bohemia Purkinje acuño el termino protoplasma para referirse a el contenido celular, y en 1838 el zoólogo Teodoro Schwann y el botánico Matthias Schleiden ambos de origen alemán hicieron la generalización que llegaron a constituir la Teoría Celular. El corolario de este postulado fue señalado ya como teoría celular por August Weismann alrededor de 1880 (Villem *et al.*, 1996).

Los cuatro postulados de la Teoría celular (Prestes, 1997) indican:

Todos los seres vivos en absoluto están formados por células, que es la unidad estructural, ya sean constituidos por una sola célula (unicelulares) o por varias de ellas (pluricelulares).

Las células no surgen de manera espontánea, sino que proceden de otras células anteriores.

Todas las funciones vitales giran en torno a las células. La célula es la unidad fisiológica de la vida. Cada célula es un sistema abierto, que intercambia materia y energía con su medio.

Las células contienen el material hereditario y son una unidad genética. Esto permite la transmisión de características genotípicas y fenotípicas de una generación a otra generación.

Los conceptos de la Teoría celular son útiles en la comprensión de la función de las levaduras. Cuando los postulados (Prestes, 1997) se refiere a unidad estructural de la célula, no se refiere únicamente a esta barrera como soporte de las levaduras, sino también a los arreglos de un sistema formado por una pared celular y múltiples organelos desempeñando funciones complejas (Lehninger, 1988).

Las levaduras son organismos que pertenecen al reino fungí, están agrupadas en unas 600 especies agrupadas en 60 géneros (Oliva *et al.*, 2008), son células eucariotas constituidas en su mayor parte por células individuales que se reproducen por gemación nunca formando micelios, suelen ser esféricas, ovoideas, elipsoides o alargadas. Las células de levaduras típicas son incoloras de paredes gruesas (Nelson *et al.*, 2008) de contorno blando y liso. Son organismos aerobios y aunque muchas especies son fermentadoras, otras no lo son, como los géneros *Cryptococcus* y *Rhodotorula*, suelen fermentar unos pocos glúcidos, principalmente hexosas y disacáridos. El género *Saccharomyces* y unos pocos más, son fermentadores enérgicos de los azúcares bajo condiciones anaeróbicas. *Dekkera*, su anamorfo *Brettanomyces* y algunas otras, fermentan glucosa más rápido en condiciones aerobias (Carrillo *et al.*, 2007).

Existen dos tipos de levaduras según papel que desempeñen en la vida del ser humano. El primer grupo lo forman las levaduras inocuas que concentran aquellas ampliamente utilizadas en la industria alimentaria que sirven en la elaboración del pan, fermentaciones alcohólicas, fermentaciones lácticas y obtención de aminoácidos, las más importantes son *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces ellipsoideus*, *Kloeckera apiculata* y *Hanseniaspora uvarum*, *Candida utilis*, entre otras (Schlegel & Zaborosch, 1997). El segundo grupo incluye una sub clasificación de levaduras patógenas. Patógenas para el

ser humano como *Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans*, *Histoplasma capsulatum*, *Coccidioides immitis*, *Blastomyces dermatitidis*, *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium marneffeii* (Mendoza, 2005) y las levaduras patógenas que afectan a los alimentos durante el manejo postcosecha y alimentos procesados; entre las levaduras que afectan alimentos procesados podemos encontrar a *Z. bailli*, *Saccharomyces exiguus*, *Saccharomyces dairensis*, *P. membranensis*, *Deb. hansenii*, *Yarrowia lipolytica* y *Geotrichum candidum*, levaduras patógenas para vegetales *Nematospora coryli*, *Bullera crocea* y *B. armeniaca*, *Rhodotorula ingeniosa*, *Cryptococcus laurentii*, *Sporobolomyces roseus*, *Sporodibolus salmonicolor* y *Rho. Mucilaginosus*, *Rho. Glutinis* y *Cry. Albidus* y aquellas levaduras que afectan a granos y semillas donde predominan los generos *Candida*, *Cryptococcus*, *Pichia*, *Hanseniaspora*, *Rhodotorula* y *Sporobolomyces* (Orberá Ratón, 2004).

Levaduras de interés alimentario

Las principales levaduras de interés alimentario son *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces carlbergiensis*, *Saccharomyces fragilis*, *Candida utilis* y *Candida tropicalis*. En este grupo de levaduras, *Candida utilis* es la más versátil que cualquier otra, es capaz de utilizar una amplia gama de fuentes de carbono y nitrógeno. El sustrato generalmente utilizado para la producción de levadura alimentaria es la melaza. Cuando los sustratos son caros se puede utilizar otras fuentes de carbono siempre y cuando sean inocuos. El etanol puede usarse como sustrato para la producción de levadura alimenticia; sin embargo solo puede ser asimilado por *Saccharomyces fragilis* y *Candida utilis* (Nduka, 2007).

Las levaduras tienen importancia alimenticia por proporcionar proteínas; por conferir sabor y suministrar vitaminas, especialmente las vitaminas del grupo B relacionadas con el metabolismo celular. La IUPAC exige que cualquier organismo que se use como levadura alimentaria pertenezca a la familia *Cryptococcaceae*, debe tener un contenido de grasa de no más del 20%, no debe contener rellenos inertes no autóctonos de las levaduras y debe ser libre de *Salmonella*. También ha establecido límites superiores para conteos bacterianos y fúngicos, plomo, arsénico y límites más bajos para proteínas, tiamina, riboflavina y niacina (Nduka, 2007).

La membrana celular de *Candida utilis* como fuente de proteína

La estructura de las levaduras es la de una típica célula eucariota, al microscopio pueden observarse la pared celular, el citoplasma con vacuolas, glóbulos de grasa y gránulos metacromáticos, algunas pueden presentar un material viscoso, compuesto de polisacáridos, que rodean la celular semejante a la capsula bacteriana (García Cortes, 2004).

Dentro la estructura de la célula los diferentes sistemas de membrana llegan a constituir hasta el 80% de la masa seca total, la mayoría de estas contienen un 40% de lípidos y un 60% de proteínas. Las proteínas de las membranas pueden clasificarse en dos. Las proteínas periféricas, débilmente unidas a la membrana y de separación suave y las proteínas integrales, unidas fuertemente a la porción lipídica, insolubles en medio acuoso, pero pueden extraerse con el uso de detergentes o métodos de purificación específicos. Las membranas mitocondriales internas de las más complejas tienen más de 100 cadenas polipepticas (Nelson *et al.*, 2008). Las membranas suele tener una formación con dos capas lipídicas hidrofóbicas y una capa de aminoácidos asociados a la capa lipídica (Schlegel & Zaborosch, 1997). Los valores promedios de proteínas, expresados en porcentajes de materia seca, para la levadura *Candida utilis* es de 49% reportado por (Gutiérrez Ramírez & Gómez Rave, 2008) y 48% por (Ferrer *et al.*, 2004), *Candida lipolytica*, *Candida rugosa*, *Schawaniomyces cerevisiae* y *Kluyveromyces marxianus* varía entre 33 y 45 % reortado por (Ferrer *et al.*, 2004)

Ruta metabólica de *Candida utilis* para obtención de proteína unicelular

El uso elevado de levaduras en la industria como fuente de proteína o biomasa para alimento remonta ya a más de 30 años, La primera producción industrial de microorganismos con fines nutricionales tuvo lugar en Alemania cuando se produjo la levadura *Candida utilis* y se incorporó a sopas y salchichas (Horgan & Murphy, 2011) en la crisis de los años 70's se produjeron proteínas de levaduras para el consumo humano desarrollándose así varios procesos industriales para la producción masiva de biomasa unicelular (Schlegel & Zaborosch, 1997).

La levadura *Candida utilis* es un excelente anfitrión para la producción de proteínas a niveles industriales y presenta ventajas para su purificación (Buerth *et al.*, 2011; Pinheiro *et al.*, 2014) su producción ha sido analizada con desechos agroindustriales de piña (Rosma & Cheong, 2007) la paja de arroz (Rajoka *et al.*, 2006; Zamora, 1996) almidón de papa en aguas residuales y aceite de aguas residuales, pulido arroz (Ebrahim *et al.*, 2006), bagazo de caña (Gutiérrez & Gómez, 2008), melaza (Caballero *et al.*, 1993; Carrillo-Inungaray *et al.*, 2010), vinaza de destilería (Rodríguez *et al.*, 2011).

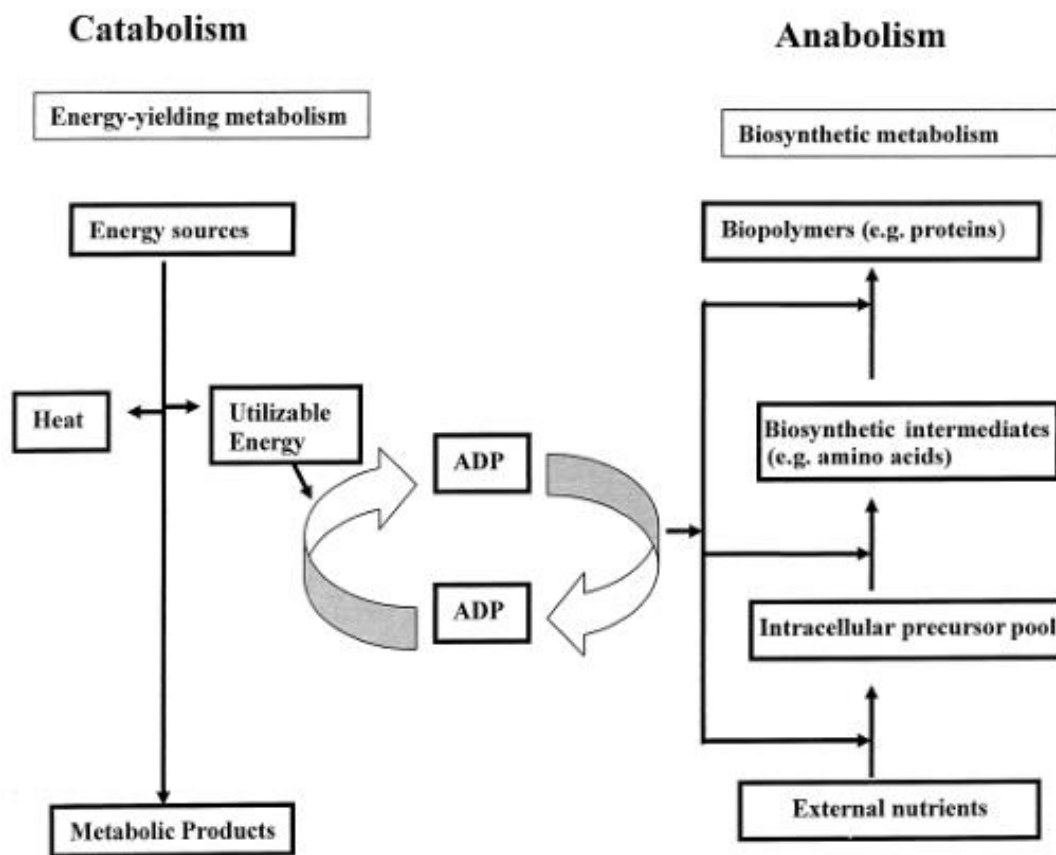


Figura 1: Metabolismo: relación entre anabolismo y catabolismo en una célula

Fuente: (Nduka, 2007).

La serie de reacciones bioquímicas involucradas en la conversión de un sustrato proporcionado a *Candida utilis* en una proteína se conoce como ruta metabólica. Cuando la serie de reacciones involucradas permiten que la ruta metabólica forme una sustancia

más compleja se conoce como anabolismo. Cuando la serie de reacciones bioquímicas involucradas permiten que la ruta metabólica forme compuestos menos complejos se conoce como catabolismo (Figura 1) (Nduka, 2007).

En la producción de biomasa celular *Candida utilis* requiere de macroelementos como nitrógeno, carbono, oxígeno e hidrógeno que son fundamentales para sintetizar proteínas, ácidos nucleicos y otras moléculas esenciales para la vida y funciones celulares. En su ciclo biogeoquímico *Candida utilis* es capaz de incorporar el nitrógeno a partir del nitrato, mediante un mecanismo de reducción de este compuesto (Afonso, 2011).

La fijación biológica del N_2 consiste en la reducción del gas dinitrógeno hasta amonio, en el proceso el amonio es rápidamente convertido en aminoácidos, proteínas y luego en todas las moléculas nitrogenadas requeridas por la célula (Frioni, 2011).

Básicamente esta ruta metabólica consta de tres pasos secuenciales que van desde la entrada de nitrato al interior celular en contra de un gradiente electroquímico hasta la reducción de este nitrato a amonio mediante la transferencia de 8 electrones en dos reacciones consecutivas (Afonso, 2011) Las características fisicoquímicas de este anión hacen que sólo pueda atravesar la membrana plasmática a través de proteínas transportadoras (Schlegel & Zaborosch, 1997).

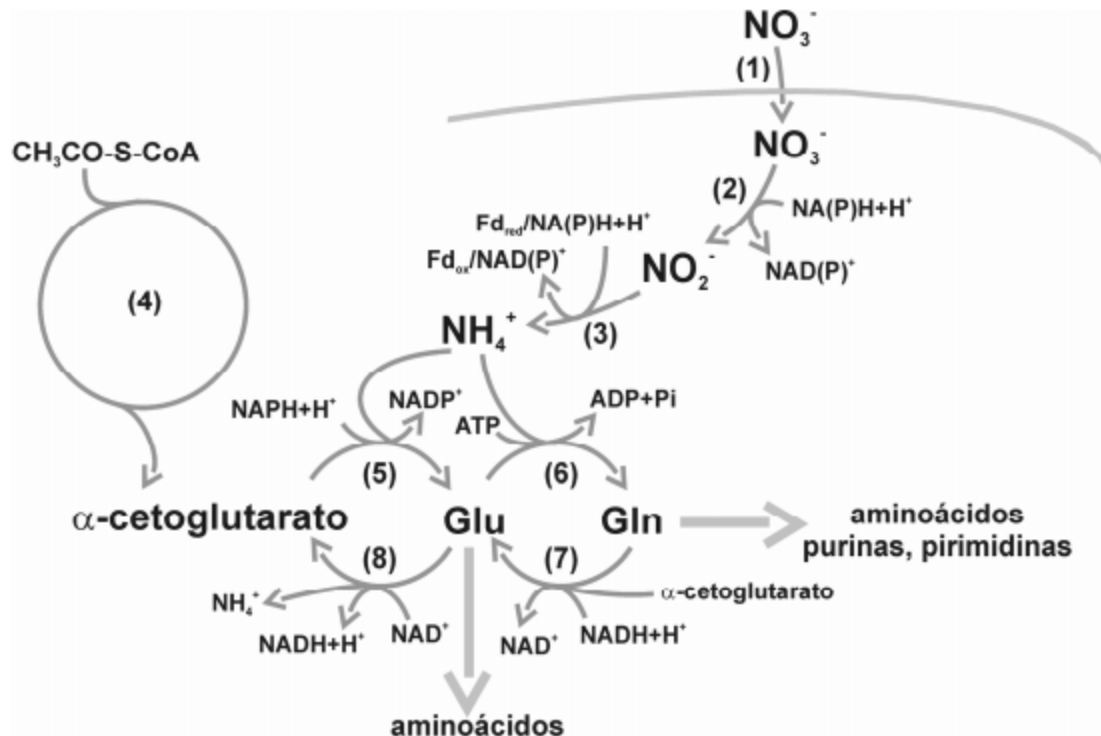


Figura 2. Vía de asimilación del nitrato.

Fuente: (Afonso, 2011)

El proceso anabólico de aminoácidos en el interior de la levadura ocurre en un sistema enzimático con dos enzimas involucradas la *nitrogenada* y la *nitrito reductasa*, ambas están asociadas y son ampliamente sensibles al oxígeno. Esto justifica el hecho de que el proceso anabólico para producir proteínas usando *Candida utilis* debe ser en condiciones aerobia (Frioni, 2011; Schlegel & Zaborosch, 1997). Básicamente consta de tres pasos secuenciales que van desde la entrada de nitrato al interior celular en contra de un gradiente electroquímico hasta la reducción del nitrato a amonio mediante la transferencia de 8 electrones en dos reacciones consecutivas (Figura 2) Para poder ser asimilado, el nitrato debe atravesar la membrana plasmática mediante proteínas transportadoras (1). Una vez en el interior, el nitrato es reducido a nitrito por la nitrato reductasa (2) y éste a amonio por la nitrito reductasa (3). El amonio es incorporado a esqueletos de carbono procedentes del ciclo de Krebs (4), mediante la acción de la glutamato deshidrogenasa dependiente de NAD(P)H (5) y glutamina sintetasa (6). Glutamina (Gln) y α -cetoglutarato pueden producir glutamato (Glu) mediante la

glutamato sintasa (7). El glutamato es desaminado por la glutamato deshidrogenasa dependiente de NAD⁺ (8). A partir del glutamato y de la glutamina se pueden producir el resto de aminoácidos y compuestos orgánicos nitrogenados de la célula (Afonso, 2011)

En la ruta metabólica para formar aminoácidos la célula de *Candida utilis* se dividirá y producirá CO₂ en condiciones aeróbicas si se le ofrece una fuente de carbono y sales de amonio (Julián-Ricardo & Ramos-Sánchez, 2015; Nduka, 2007) La levadura en presencia una fuente de carbono producirá varias proteínas como las descritas en estudios de (Carrillo-Inungaray *et al.*, 2010; Ebrahim & Abou-Seif, 2008b; Palmerin-carreño *et al.*; Pinheiro *et al.*, 2014; Rosma & Cheong, 2007; Tizol Correa, 1994), estas proteínas servirán de base para la síntesis de enzimas necesarias para catalizar las diversas reacciones relacionadas con la fabricación de aminoácidos más complejos (Nduka, 2007), también formaran carbohidratos, lípidos y otros componentes necesarios como las vitaminas que sirven en la síntesis de coenzimas. La amplia gama de coenzimas cumplen la función de catalizador para que la glucosa y el amonio inicialmente suministrados se convierten de un compuesto a otro (Nduka, 2007).

Las reacciones catabólicas se han estudiado principalmente con glucosa. Se reconocen cuatro vías de degradación de la glucosa al ácido pirúvico (o glucólisis). Las reacciones catabólicas a menudo proporcionan energía en forma de ATP y otros compuestos de alta energía, que se utilizan para reacciones biosintéticas. Una segunda función de las reacciones catabólicas es proporcionar el esqueleto de carbono para la biosíntesis. Las reacciones anabólicas conducen a la formación de moléculas más grandes, algunas de las cuales forman la estructura de la levadura (Nduka, 2007).

Proteínas

Las proteínas son un grupo diverso y complejo de macromoléculas que realizan las miles de tareas que sustentan la vida, cerca de un 50% del peso seco de las células es proteína, tiene varias funciones en los seres vivos superiores, pues sirven como materiales estructurales, participan en funciones de regulación hormonal, como tejido conectivo, y catálisis de los procesos de sinapsis (Cheftel *et al.*, 1993; Devlin, 2004; McKee & McKee, 2003; Stryer, 2007; Stryer *et al.*, 2003)

Las proteínas pueden tener interacciones entre sí y con otras macromoléculas biológicas para formar asociaciones complejas, estas asociaciones pueden actuar sinérgicamente de tal manera que individualmente nunca lo lograrían (Stryer *et al.*, 2003).

Algunas proteínas son rígidas y otras presentan una flexibilidad limitada, las unidades rígidas pueden funcionar como citoesqueleto en el andamiaje interno de las células en tejido conjuntivo. Las proteínas flexibles pueden funcionar como bisagras, muelles y palancas cruciales para la función de las mismas proteínas o para la transmisión de información intercelular e intracelular (Stryer *et al.*, 2003).

La diversidad funcional que exhibe esta clase de biomolécula está relacionada de forma directa con las posibilidades de combinación de las unidades monoméricas de los aminoácidos que las componen (Stryer, 2007) (Cheftel *et al.*, 1993) (Stryer *et al.*, 2003) (McKee & McKee, 2003) (Devlin, 2004).

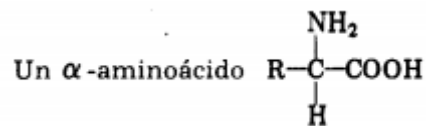


Figura 3. Estructura general de los aminoácidos comunes

Fuente: Elaboración propia

Es sorprendente apunta (Devlin, 2004) que todos los tipos de proteína se sintetizan a partir de solo 20 aminoácidos. La conformación bioquímica de las proteínas se da por una formación lineal de polímeros constituidos por 20 aminoácidos distintos unidos por enlaces covalentes. En teoría, los aminoácidos pueden unirse para formar moléculas de proteína de cualquier tamaño o secuencia imaginables. De los 20 aminoácidos encontrados en proteínas, casi todos son α – aminoácidos, es decir que el grupo amino $-\text{NH}_2$ está presente en átomo de carbono (Cheftel *et al.*, 1993; Devlin, 2004; McKee & McKee, 2003; Stryer, 2007; Stryer *et al.*, 2003) (Figura 3).

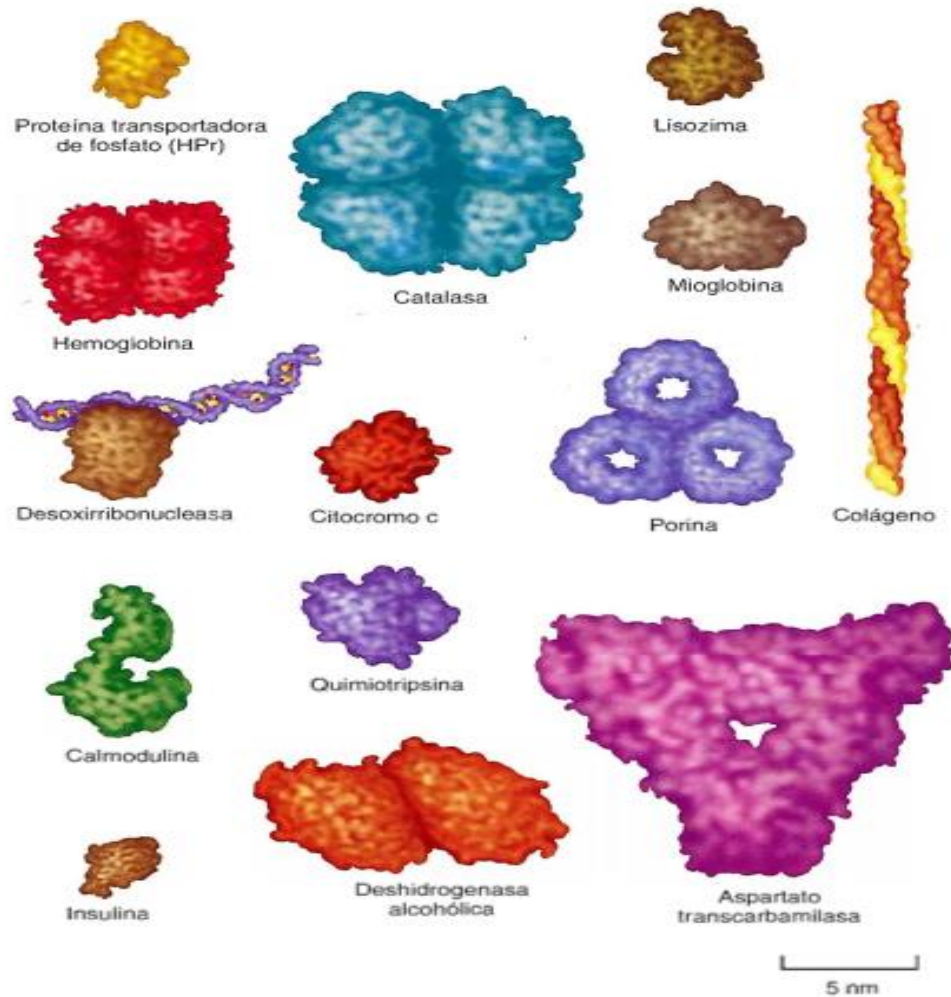


Figura 4. Estructura globular de algunas clases de proteínas

Fuente: (McKee & McKee, 2003)

La combinación del amplio surtido de grupos funcionales como alcoholes, tioles, tioeteres, ácidos carboxílicos, carboxiamidas y una serie de grupos básicos asociados en la configuración de las proteínas son los responsables del amplio espectro de funciones (Cheftel *et al.*, 1993; Devlin, 2004; McKee & McKee, 2003; Stryer, 2007; Stryer *et al.*, 2003).

Las proteínas pueden distinguirse con base en su número de aminoácidos (a veces llamados residuos de aminoácidos), en su composición global de grupos aminoácido, y en la secuencia de éstos. En la Figura 4 se presentan ejemplos selectos de la diversidad de las proteínas (McKee & McKee, 2003).

La polimerización de aminoácidos que da paso a la formación de proteínas se diferencia según sus pesos moleculares o con el número de residuos que contienen. Las moléculas con pesos moleculares que van desde varios miles hasta varios millones de daltones (D) se denominan polipéptidos. Aquellas con pesos moleculares bajos, que constan de menos de 50 aminoácidos, se denominan péptidos. El término proteína describe específicamente las moléculas con un contenido de más de 50 aminoácidos. Cada proteína consta de una o de varias cadenas polipeptídicas (McKee & McKee, 2003).

Constitución de las proteínas a partir de una colección de 20 aminoácidos

Los aminoácidos son los precursores moleculares de las proteínas. Desde el punto de vista químico sería posible la existencia de un gran número de aminoácidos, sin embargo en la naturaleza se encuentran solo una veintena de ellos, solo los conocidos como alfa-aminoácidos son los que conforma las proteínas. Un α -aminoácido consta de un átomo de carbono central, llamado carbono α , unido a un grupo amino, un grupo carboxilo, un átomo de hidrogeno y un grupo R característicos (Cheftel *et al.*, 1993; Devlin, 2004; McKee & McKee, 2003; Stryer, 2007; Stryer *et al.*, 2003). alfa-aminoácidos y se dividen en esenciales y no esenciales.

Solamente los aminoácidos con una configuración *L* constituyen a las proteínas, para casi todas los aminoácidos *L* tienen configuración absoluta *S* (en vez de *R*). Aunque se ha empleado un enorme esfuerzo para entender por qué los aminoácidos en las proteínas tienen esta configuración absoluta todavía no se ha llegado a una explicación satisfactoria, pareciera que la selección de la configuración *L* sobre la *D* fuera arbitraria pero una vez realizada se fijó en la historia evolutiva temprana (Stryer *et al.*, 2003). Casi todos los aminoácidos *L* tienen una configuración *S* (izquierda). La dirección contraria a las manecillas del reloj de los sustituyentes de mayor a menor prioridad indica que el centro quiral es de configuración *S* (Figura 1).

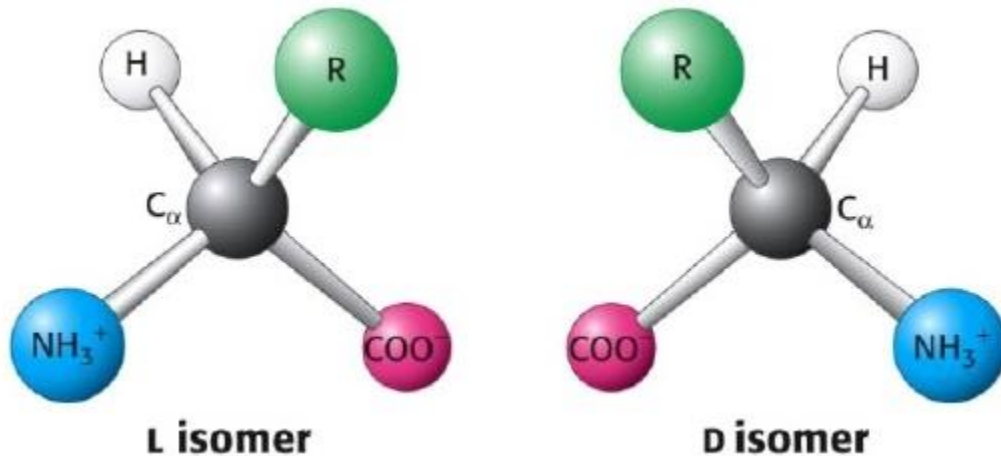


Figura 5. Los isómeros L y D son imágenes especulares entre sí. R se refiere a la cadena lateral

Fuente: (Stryer, 2007)

La forma para diferenciar los aminoácidos unos de otros es por su cadena lateral R. Según los componentes de esta cadena, podemos clasificar los aminoácidos en Aminoácidos alifáticos, Aminoácidos aromáticos, Aminoácidos sulfurados, Aminoácidos, hidrófilos, Aminoácidos ácidos, Aminoácidos básicos, Aminoácidos neutros (Cheftel *et al.*, 1993; Devlin, 2004; McKee & McKee, 2003; Stryer, 2007; Stryer *et al.*, 2003).

En el alfabeto fundamental para la formación de proteínas habitualmente se encuentran 20 tipos de cadenas laterales que varían de tamaño, forma, carga, capacidad de formar puentes de hidrógeno, carácter hidrofóbico y reactividad química. De hecho todas las proteínas de todas las bacterias, arqueobacterias y eucariontes se constituyen con los mismos aminoácidos, la diversidad de funciones realizadas por las proteínas es el resultado de la versatilidad de estos 20 bloques de construcción (Cheftel *et al.*, 1993; Stryer, 2007; Stryer *et al.*, 2003).

Literatura citada

- Afonso E. I. C. (2011) Caracterización de los transportadores de nitrato y de potasio en la levadura *Hansenula polymorpha*. Universidad de La Laguna.
- Altieri M. A. (2013) Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático* (Nicholls CI, Ríos LA, Altieri MA, eds). Proyecto REDAGRES. Medellín, Colombia, 94-104.

- Bone Q. & Moore R. (2008) *Biology of fishes*, Taylor & Francis.
- Buerth C., Heilmann C. J., Klis F. M., de Koster C. G., Ernst J. F. & Tielker D. (2011) Growth-dependent secretome of *Candida utilis*. *Microbiology*, **157**, 2493-2503.
- Caballero E. F., González E. A., Barrera E. M. & Naranjo J. A. (1993) Valor alimenticio de la levadura tórmula (*Candida utilis*) en dietas para aves. *Veterinaria México*, **24**, 145-147.
- Carrillo-Inungaray M., Aguilar-Zarate M., Wong-Paz J. & Muñiz Márquez D. (2010) Biomass production of *Candida utilis* (Henneberg) Lodder y Kreger from molasses. *U. Tecnociencia*, **4**, 32-40. http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia_julio_dic10/tema_3_produccion_de_biomasa.pdf
- Carrillo L., Audisio M. C. & Bejarano N. (2007) Manual de Microbiología de los Alimentos. *Jujuy*, **10**, 102-116.
- Chacon A. (2004) Perspectivas actuales de la proteína unicelular (SCP) en la agricultura y la industria. *Agronomía Mesoamericana*, **15**, 96-106.
- Cheftel J., Cuq J. & Lorient D. (1993) Aminoácidos péptidos y proteínas. "Química de los alimentos". *Fenema. OR Acribia, 2da edición. España. Capítulo*, **5**, 275-414.
- Devlin T. M. (2004) *Bioquímica: libro de texto con aplicaciones clínicas*, Reverté.
- Ebrahim M. S. M. & Abou-Seif R. A. (2008) Fish meal replacement by yeast protein (*Saccharomyces cerevisiae*) supplemented with biogenic L-carintine as a source of methionine plus lysine mixture in feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. pp. 999-1009 *In: Proceedings of the 1008th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, October 1012-1014, 2008. Cairo, Egypt.* <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ISTA8/FinalPapers/11%20Nutrition/22%20Ramadan.doc>
- FAO (2016) El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma.
- Ferrer J., Davalillo Y., Chandler C., Páez G., Mármol Z. & Ramones E. (2004) Producción de proteína microbiana a partir de los desechos del procesamiento de la caña de azúcar (bagacillo)(Microbial protein production from waste of sugar cane processing (bagasse pith)).
- Froni L. (2011) Microbiología: básica, ambiental y agrícola. Orientación Gráfica.
- Gamboa-Delgado J., Fernández-Díaz B., Nieto-López M. & Cruz-Suárez L. E. (2016) Nutritional contribution of torula yeast and fish meal to the growth of shrimp *Litopenaeus vannamei* as indicated by natural nitrogen stable isotopes. *Aquaculture*, **453**, 116-121.
- García Cortes V. (2004) Introducción a la microbiología.
- García R. (2006) Sistemas complejos. *Barcelona: Gedisa*, 202.

- González-Salas R., Romero-Cruz O., Valdivié-Navarro M. & Ponce-Palafox J. (2014) Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales: Una alternativa para la alimentación de la tilapia. *Revista Bio Ciencias*, **2**, 240-251.
- Gutiérrez L. A. & Gómez A. d. J. (2008) Determinación de proteína total de *Candida utilis* y *Sacharomyces cerevisiae* en bagazo de caña *Revista Lasallista de Investigación*, **5**, 61-64.
- Gutiérrez Ramírez L. A. & Gómez Rave A. d. J. (2008) Determinación de proteína total de *Candida utilis* y *Sacharomyces cerevisiae* en bagazo de caña. *Revista Lasallista de Investigación*, **5**.
- Halver J. E. & Hardy R. W. (2002) *Fish nutrition*, Elsevier.
- Hasan M. R. & Halwart M. (2009) Fish and feed inputs for aquaculture. *Practices, sustainability and implications.*, *FAO Fisheries and aquaculture technical paper*.
- Holmer M., Black K., Duarte C. M., Marbà N. & Karakassis I. (2007) *Aquaculture in the Ecosystem*, Springer Science & Business Media.
- Horgan K. A. & Murphy R. A. (2011) Pharmaceutical and Chemical Commodities from Fungi. In: *Fungi*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 147-178.
- Ibrahim M., Hassan Khan Sohail, A. J. M., S. A. M. & S. H. A. (2006) Kinetics of batch single cell protein production from rice polishings with *Candida utilis* in continuously aerated tank reactors. *Bioresource Technology*, **97**.
- Julián-Ricardo M. C. & Ramos-Sánchez L. B. (2015) Análisis del crecimiento de la levadura *Candida utilis* en un biorreactor tambor rotatorio continuo. *Afinidad*, **72**.
- Lehninger A. (1988) *Las bases moleculares de la estructura y función celular*. Barcelona: Ediciones Omega.
- Martínez D., Gallardo L., Bustillo G. & Pérez V. (2011) El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*, **1**, 453-462.
- McKee T. & McKee J. R. (2003) *Bioquímica: la base molecular de la vida*, McGraw-Hill/Interamericana.
- Mendoza M. (2005) Importancia de la identificación de levaduras. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, **25**, 15-23.
- Montoya-Camacho N., Marquez-Ríos E., Castillo-Yáñez F. J., Cárdenas López J. L., López-Elías J. A., Ruíz-Cruz S., Jiménez-Ruíz E. I., Rivas-Vega M. E. & Ocaño-Higuera V. M. (2018) Advances in the use of alternative protein sources for tilapia feeding. *Reviews in Aquaculture*, n/a-n/a. 10.1111/raq.12243
- Msangi S., Kobayashi M., Batka M., Vannuccini S., Dey M. & Anderson J. (2013) Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture. *World Bank Report*, 102.
- Nduka O. (2007) *Modern Industrial Microbiology and Biotechnology*. Science, Enfield, USA, 429-453.

- Nelson D. L., Lehninger A. L. & Cox M. M. (2008) *Lehninger principles of biochemistry*, Macmillan.
- Oliva M. M. R., Quintana M. P. & Salabarría R. B. (2008) COMPONENTES DE LA PARED DE LAS LEVADURAS: ACTIVIDAD PROBIÓTICA.
- Orberá Ratón T. d. I. M. (2004) Acción perjudicial de las levaduras sobre los alimentos. *Revista Cubana de Salud Pública*, **30**, 0-0.
- Palmerin-carreño D. M., Guevara L., Villaseñor F. & Cristina P. Identificación de una levadura para producción de proteína unicelular para consumo humano y determinación de los parámetros cinéticos a nivel de matraces agitados.
- Parker R. (2011) *Aquaculture science*, Cengage Learning.
- Pinheiro R., Lopes Marlene, Belo I. & Manuel M. (2014) *Candida utilis* metabolism and morphology under increased air pressure up to 12 bar. *Process Biochemistry*, **49** 374-379.
- Pongpet J., Ponchunchoovong S. & Payooha K. (2016) Partial replacement of fishmeal by brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in the diets of Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus* × *Pangasius bocourti*). *Aquaculture nutrition*, **22**, 575-585.
- Prestes M. E. B. (1997) *Teoría celular: de Hooke a Schwann*, Ed. Scipione.
- Rabanal H. R. (1988) History of aquaculture.
- Rajoka M. I., Sohail H. K., Jabbar M. A., S. A. M. & S. H. A. (2006) Kinetics of batch single cell protein production from rice polishing with *Candida utilis* in continuously aerated tank reactors. *Bioresource Technology*, **97**, 1934-1941.
- Rathinavelu R. & Graziosi G. (2005) Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. *Organización Internacional del Café, ITA*.
- Rawles S., Thompson K., Brady Y., Metts L., Gannam A., Twibell R. & Webster C. (2010) A comparison of two faecal collection methods for protein and amino acid digestibility coefficients of menhaden fish meal and two grades of poultry by-product meals for market-size sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*). *Aquaculture nutrition*, **16**, 81-90.
- Rodríguez B., Mora L., Oliveira D., Euler A. C., Larav L. & P. L. (2011) Composición química y valor nutritivo de la levadura torula (*Candida utilis*), desarrollada sobre vinaza de destilería, en la alimentación de aves. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **45**, 261-265.
- Rosma A. & Cheong M. (2007) Effects of nitrogen supplementation on yeast (*Candida utilis*) biomass production by using pineapple (*Ananas comosus*) waste extracted medium
Malaysian Journal of Microbiology, **3(1)**, 19-26.
- Schlegel H. G. & Zaborosch C. (1997) *Microbiología general*, Omega.

- Scholz U., Garcia Diaz G., Ricque D., Cruz Suarez L. E., Vargas Albores F. & Latchford J. (1999) Enhancement of vibriosis resistance in juvenile *Penaeus vannamei* by supplementation of diets with different yeast products. *Aquaculture*, **176**, 271-283. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00030-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00030-7)
- Stryer L. (2007) *Bioquímica*, Universidad del Rosario.
- Stryer L., Berg J. M., Tymoczko J. L. & Macarulla J. M. (2003) *Bioquímica*.
- Tacon A. G. & Metian M. (2015) Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, **23**, 1-10.
- Tizol Correa R. (1994) Uso de la levadura torula (*Torulopsis utilis*) en la obtención de biomasa de Artemia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, **23**, 165-171.
- Vela Wallejo S. & Ojeda González-Posada J. (2007) *Acuicultura: La revolucion azul*. Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, Madrid (España). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacion, Madrid (España).
- Villee C. A., Zarza R. E. & y Cano G. C. (1996) *Biología*, McGraw-Hill.
- Yilmaz F. Ö., Engin K. & Hunt A. Ö. (2015) The effects of balanced diets with soy bean extract or meat and bone meal on muscle and liver tissue protein and glycogen levels of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* infected with *Vibrio anguillarum*. *Journal of Applied Biological Sciences*, **9**, 37-42.
- Zamora R. (1996) Producción de proteínas unicelulares de *Candida utilis* a partir de extractos de paja de arroz. *Acta Científica Venezolana :ULA*. Mérida, Venezuela., **47**, 147-153.

CAPITULO III

OBJETIVO GENERAL

Identificar el potencial de la proteína unicelular de torula (*Candida utilis*) para sustituir parcialmente las fuentes de proteína convencional en dietas comerciales para tilapia (*Oreochromis niloticus*) y basa (*Pangasius hypophthalmus*).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el comportamiento productivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y basa (*Pangasius hypophthalmus*) alimentados con dietas con diferentes niveles de inclusión de proteína unicelular de torula (*Candida utilis*), bajo condiciones de cultivo comercial en sistemas de intermedia y baja tecnificación.
- Identificar el valor nutricional de *Candida utilis* en la formulación de dietas para organismos acuáticos.
- Proponer una definición agroecosistémica de la acuicultura a partir de un análisis de las teorías de la intensificación sustentable y el forraje óptimo.

HIPOTESIS

La proteína unicelular de torula (*Candida utilis*) puede reemplazar parcialmente las fuentes de proteína convencional en dietas para tilapia (*Oreochromis niloticus*) y basa (*Pangasius hypophthalmus*).

CAPITULO IV

ESTADO DEL ARTE DEL APROVECHAMIENTO DE PROTEÍNA UNICELULAR (PUC) UTILIZANDO A *Candida utilis* COMO ORGANISMO BENÉFICO

Josué Pascual González¹, Dr. Alberto Asiain Hoyos^{1*}, Dr. Juan Lorenzo Reta Mendiola¹, Dra. Mónica de la Cruz Vargas Mendoza¹, Dr. Jaime Bautista Ortega²

¹ Colegio de Postgraduados - Campus Veracruz

² Colegio de Posgraduados Campus Campeche

Resumen

La demanda mundial de alimentos ricos en proteína en cantidades importantes y con alta calidad nutricional, manejando tecnologías amigables que permitan el aprovechamiento de residuos agroindustriales, forman parte de los paradigmas actuales y del futuro. Teorías como la expansión sustentable y la biotecnología como ciencia prometen dar respuesta positiva mediante la aplicación del uso benéfico de proteína unicelular. *Candida utilis* es un microorganismo capaz de adaptarse a diversas fuentes de carbono, alcanzando contenidos de hasta 45% de proteína y 18 aminoácidos esenciales distintos. Torula, como comúnmente se le denomina, ha sido probado en un sin fin de residuos agroindustriales, así como en tratamiento de aguas residuales. A su proteína se le da el calificativo de biológicamente segura y ha sido evaluada en la alimentación de cerdos, aves, roedores y diferentes peces. Su uso en la alimentación humana requiere de procesos especializados de purificación.

Palabras clave: *Candida utilis*, alimentos, levadura, proteína, torula.

THE STATE OF THE ART OF THE USE OF *Candida utilis* AS UNICELLULAR PROTEIN SOURCE

Abstract

The global demand of high quality foodstuffs rich in protein, using friendly technologies for the sustainable use of agriculture by-products, is one of the present and future paradigms. Sustainable intensification theory and the science of biotechnology seem to offer an answer through the use of unicellular protein. Torula (*Candida utilis*) is a microorganism able to adapt to a number of carbon sources, giving producing up to 45%

protein and 18 essential amino acids. Torula has been produced with many agriculture by-products and residual waters. Its protein is recognized as biologically safe and has been tested in animal nutrition, including poultry, pigs, rodents and a number of fish. Its use as human foodstuff requires special purification processes.

Keywords: *Candida utilis*, feeds, yeast, protein, torula.

Introducción

El crecimiento de la población en el planeta durante las últimas décadas ha estado ligado a la demanda de recursos naturales que satisfagan sus necesidades alimentarias (Carrillo *et al.*, 2010b). La competencia mundial por alimentos con altas cargas proteicas hace que los métodos convencionales para producirlos, no solo sean ineficientes sino también insuficientes para cubrir la demanda (González *et al.*, 2014) y (Flores *et al.*, 1993), aunado a este problema los precios de los alimentos proteicos en el mercado mundial se han elevado considerablemente, (González *et al.*, 2014). Convencionalmente la proteína consumida en el planeta es obtenida de animales y vegetales (Carrillo *et al.*, 2010). Existen fuentes proteicas no convencionales que se pueden obtener de una gran variedad de microorganismos que contienen una elevada concentración de proteínas en su composición, que además son capaces de reproducirse en diversos medios, comúnmente desechos de la agroindustria (Gutiérrez & Gómez, 2008) y (Carrillo *et al.*, 2010) carbono fósil.

Breve historia de la proteína unicelular en la alimentación humana

Se conoce como proteína unicelular o bioproteína (Chacon, 2004), a la biomasa microbiana de algas, bacterias, levaduras y hongos filamentosos, por extensión, también incluye microorganismos muertos y desecados que se emplean directamente en alimentación animal (cerdos, aves, rumiantes) sin que exista proceso alguno de extracción o purificación de la proteína “Proteína de organismos unicelulares” que sería el término más adecuado da el nombre a proteína unicelular. La literatura científica se refiere a la proteína unicelular empleando el término SCP, el cual deriva del término anglosajón “single cell protein” o en español PUC (Anupama & Ravindra, 2000; Carrillo *et al.*, 2010; Chacón, 2004; Ebrahim *et al.*, 2006; González *et al.*, 2014; Guevara-Rodríguez *et al.*, 2012; Israelidis, 2003; Pinheiro *et al.*, 2014; Rajoka *et al.*, 2006)

La biomasa microbiana ha sido utilizada como fuente de alimentación desde tiempos remotos en regiones como México y África especies como *Spirulina* sp. El primer gran auge de la PUC se inicia la ciudad Europea de Berlín, Alemania, durante la primera guerra mundial, dada la escasez de alimento provocada por el conflicto bélico. *S. Cerevisiae*, llegó a remplazar hasta en un 60% la proteína convencional de la alimentación (Israelidis, 2003).

Al inicio segunda guerra mundial, vuelve el interés por la biomasa microbiana como fuente de alimentación. Solo en los Estados Unidos se produjeron 15.000 toneladas anuales de PUC, la cual fue incorporada en la dieta de civiles y militares en forma de sopas y salchichas. Para esta época se ensaya con levaduras *Candida arborea* y *Candida Utilis* (Chacón, 2004; Israelidis, 2003)

En 1950 empresas petroleras mostraron interés en dar soluciones al panorama nutricional generado por el crecimiento poblacional, diseñando la producción de biomasa partiendo de los grupos alcanos de la industria petroquímica, en este proceso destacaron países como Japón, Reino Unido, Estados Unidos y la antigua Unión Soviética (Chacon, 2004).

En el ámbito académico la primera conferencia que se tiene registro sobre proteína unicelular se efectuó en 1967 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, fue durante este evento que nace el término SCP como estándar internacional para la bioproteína (Chacon, 2004).

Desde los años 1980, y dada la competencia de otras fuentes de proteína como la soya, la producción de SCP no se ubica entre las más rentables. Actualmente solo Rusia, debido a la remarcada escasez de carne y otras fuentes de proteína, es un país productor importante de proteína unicelular (Chacon, 2004).

Composición y usos de la proteína unicelular de *candida utilis*

La producción de "biomasa celular" usando microorganismos abre la posibilidad de proporcionar nuevos recursos ricos en aminoácidos y ácidos grasos (Holmer *et al.*, 2007), con elevada concentración de nutrientes en su estructura y que son fácilmente cultivables

en diversos desechos de la agroindustria (Afonso, 2011; Holmer *et al.*, 2007; Pongpet *et al.*, 2016; Rawles *et al.*, 2010; Yilmaz *et al.*, 2015). Esta biomasa microbiana obtenida de levaduras, bacterias, algas y hongos filamentosos, puede ser utilizada con un procesamiento mínimo de secado para alimentar animales de granja o bien para formular dietas balanceadas (Carrillo-Inungaray *et al.*, 2010; Ebrahim & Abou-Seif, 2008; González-Salas *et al.*, 2014; Pinheiro *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2011a; Rosma & Cheong, 2007; Tizol, 1994).

Existe un grupo de levaduras de interés nutritivo y comercial dentro de las cuales destaca *Candida utilis* por su versatilidad y capacidad de utilizar una amplia gama de fuentes de carbono y nitrógeno. Dentro de su estructura celular los diferentes sistemas de membrana llegan a constituir hasta el 80% de la masa seca total, la mayoría de estas contienen un 40% de lípidos y un 60% de proteínas (Nelson *et al.*, 2008; Schlegel & Zaborosch, 1997). Los valores promedios de proteínas, expresados en porcentajes de materia seca, para la levadura *Candida utilis* es de 49% reportado por (Gutiérrez Ramírez & Gómez Rave, 2008) y 48% por (Ferrer *et al.*, 2004), *Candida lipolytica*, *Candida rugosa*. La levadura *Candida utilis* es un excelente anfitrión para la producción de proteínas a niveles industriales y presenta ventajas para su purificación (Buerth *et al.*, 2011; Nelson *et al.*, 2008; Pinheiro *et al.*, 2014; Schlegel & Zaborosch, 1997)

El uso de la proteína unicelular en alimento para animales es el menos tecnificado de todos. Generalmente implica un secado de la biomasa previamente a la ingesta. En el caso del consumo por parte de humanos el proceso es más elaborado, implicando no sólo la remoción de riesgos nutricionales como los ácidos nucleicos, sino también el garantizar la calidad y seguridad del producto (Flores *et al.*, 1993).

Torula es sin duda la levadura más popular para estudios que tengan que ver con el metabolismo de los azúcares en levaduras debido a la capacidad de transformar carbohidratos en proteínas (Pinheiro *et al.*, 2014) , presenta alta respiración metabólica y se adapta a diferentes fuentes de sustrato como fuente de carbono y nitrógeno, incluyendo azúcares de pentosa, ácidos orgánicos, alcoholes, urea, sales de amonio, pirimidina, y diversos aminoácidos. Además, el crecimiento de *C. Utilis* apenas se ve

afectado por los extremos en el pH, no produce etanol en cultivos aireados, lo que la pone por encima de otros microorganismos que limitan el crecimiento en otras especies de levaduras (Carrillo-Inungaray *et al.*, 2010; Ebrahim & Abou-Seif, 2008; González-Salas *et al.*, 2014; Pinheiro *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2011; Rosma & Cheong, 2007; Tizol Correa, 1994).

La levadura *Candida Utilis* ha sido biotecnológicamente probada para obtener bioproteína con diferentes sustratos, principalmente con aquellos que representan un residuo de procesos agroindustriales o de alguna industria, fuentes de carbono que destacan para la producción de proteína unicelular son desechos agroindustriales de piña (Rosma & Cheong, 2007) la paja de arroz (Rajoka *et al.*, 2006; Zamora, 1996) almidón de papa en aguas residuales y aceite de aguas residuales (Zheng, 2005), pulido arroz (Ibrahim *et al.*, 2006), bagazo de caña (Gutiérrez & Gómez, 2008), melaza (Caballero *et al.*, 1993; Carrillo-Inungaray *et al.*, 2010), *Candida Utilis* tiene la facultad de producir de acuerdo a las condiciones de crecimiento del sustrato varios productos químicos, tales como el glutatión (Liang *et al.*, 2008), monelina (Kondo *et al.*, 1997) y el acetato de etilo reporta la presencia de 23 elementos de la tabla periódica en el análisis por activación neutrónica de los cuales predominan el potasio (K), calcio (Ca), cloro (Buerth *et al.*), magnesio (Mg), hierro (Fe) y sodio (Na), demostró el alto contenido de materia mineral (7.15 %) y de fósforo total (1.61%) que presenta esta levaduras. También (Rodríguez *et al.*, 2011a) Reporta la composición mineral de la PUC de vinaza con valores superiores a los informados para la harina de soya y la levadura de cerveza, en Ca, K, Fe, Zn.

Inicialmente los primeros cultivos de *Torula* se realizaron en 1951 donde se utilizó biomasa derivada de sustratos de residuos, incluyendo el licor de azúcar y melaza de sulfito agotado para producir proteína de una sola célula de alta calidad económica, sin embargo no se llegaron a identificar que proteínas se habían obtenido. Por métodos de análisis bromatológicos la composición de las levaduras en base seca se observó que las proteínas constituyen el mayor porcentaje del contenido de éstas, siguiendo en el orden los minerales (Anupama & Ravindra, 2000; Buerth *et al.*, 2011; Cajo *et al.*, 2011; Carrillo *et al.*, 2010; Chacón, 2004; Hong *et al.*, 2006; Israelidis, 2003).

Según (Palmerín *et al.*, 2011) los valores promedios de proteínas expresados en porcentajes de materia seca, para *Candida Utilis*, varía entre 33 y 45% llegando y hasta de 50% para levadura, dato que concuerda con (Pinheiro *et al.*, 2014) mientras que (Gutiérrez & Gómez, 2008) reporta hasta un 43% de proteína en peso seco, (Carrillo *et al.*, 2010b) menciona que el perfil proteico de *Torula* es superior para alimentos como la carne, la leche o el huevo y tiene características nutricionales por arriba de otras fuentes de proteína unicelular de otros microorganismos (González *et al.*, 2014). Los principales aminoácidos observados en cultivos donde *Torula* sirvió como una fuente de diferentes proteínas endógenos son glutatión (Liang *et al.*, 2008), biotina (Hong *et al.*, 2006). El desarrollo de la biología molecular permitió la identificación de vectores de expresión, casetes de resistencia y la identificación eficiente de sub productos de *C. Utilis*, (Buerth *et al.*, 2011a) por su parte logro identificar un total de 37 proteínas en la solución de cultivo, de los cuales 17 estaban exclusivamente presente en la fase estacionaria, mientras que tres proteínas eran específicos para la fase de crecimiento exponencial. Las proteínas identificadas representadas en su mayoría enzimas y carbohidratos activos asociados con la organización de la pared celular, mientras que no se detectaron enzimas proteolíticas y sólo unas pocas proteínas citoplasmáticas.

Estos resultados reportados para *C. utilis*, apuntan que es un anfitrión eficiente para la producción de alto nivel de proteínas recombinantes, y puede convertirse en una alternativa a las levadura ya conocidas como *Pichia pastoris*, *Kluyveromyces lactis* y *Saccharomyces cerevisiae* entre otras.

La formulación de dietas con inclusión de *Torula* como base sustituto de proteína convencional varia de un organismo a otro, los bioensayos incluyen especies como cerdos (Christen *et al.*, 1993; Ly, 2009; Ly *et al.*, 2014; Mora *et al.*, 2012; Piloto *et al.*, 2009; Solano *et al.*, 2013), conejos (Morais, 2013) Tilapias (González *et al.*, 2014) alevines de *Clarias gariepinus* (Llanes *et al.*, 2009) biomasa de artemia (Tizol, 1994).

(Ly *et al.*, 2014) demostró que los cerdos jóvenes alimentados con dietas de levadura, exhiben una mayor digestibilidad rectal de nutrientes, emiten menos material fecal al medio y poseen un menor peso del tracto digestivo y mayor rendimiento en canal cuando

la fuente de carbohidratos es miel rica en vez de maíz. En el porcentaje de inclusión de la proteína en dietas para cerdos (Mora *et al.*, 2012) sugieren que se puede sustituir hasta 66 % de la proteína aportada por la soya en categoría porcina por proteína unicelular, (Piloto *et al.*, 2009) considera que la levadura torula de vinazas puede sustituir hasta un 30% de la proteína bruta de dietas basadas en cereales sin que se afecten los principales rasgos de comportamiento de cerdos en crecimiento-ceba y sin que sea necesario suplementar vitaminas del complejo B con excepción de la B12.

En aves (Rodríguez *et al.*, 2011) concluye que es factible utilizar la vinaza de destilería como sustrato base para la producción de levadura torula, al no encontrar diferencias en la composición química y el valor nutricional de esta fuente proteica, por lo que puede ser utilizada en la alimentación de aves, por su parte (Flores *et al.*, 1993) sugiere una inclusión de levadura de torula de hasta el 10% sin verse afectado el comportamiento de las aves, una dieta con más de 15% de inclusión forma compactación en el pico y disminuye su crecimiento.

Los porcentajes de inclusión en cuyos y conejos indican que puede sustituirse hasta 15% en conejos y 30% en cuyos antes de verse afectado el comportamiento animal (Morais, 2013).

Para peces (González *et al.*, 2014) recomienda una inclusión bioproteína de torula de hasta 70% en dietas para bagre y de hasta 50% en dietas para tilapia, (Olvera *et al.*, 2002) recomienda que sea solo de 30% la sustitución en base seca de la proteína unicelular en dietas para tilapias, para el caso de alevinaje de *C. ariepinus* (Llanes *et al.*, 2009) concluye que la levadura de vinazas puede sustituir un 20% de harina de pescado en el alimento comercial con un ahorro de 20,2% por conceptos de alimentación, mientras que (Tizol, 1994) recomienda la inclusión torula en la alimentación de artemia para biomasa en el cultivo de peces.

A lo largo están trabajando en el aprovechamiento de residuos agroindustriales para producir proteína unicelular de *Candida Utilis* son Cuba (González *et al.*, 2014; Julián & Ramos, 2007; Lazcano, 2005; Ly *et al.*, 2014; Mora *et al.*, 2012; Piloto *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2011) principalmente en vinazas de destilería, bagazo de caña y jugo

de caña y residuos de la industria azucarera en alimentos para cerdos; México (Carrillo *et al.*, 2010; M. *et al.*, 2010; Palmerín *et al.*, 2011) y (Flores *et al.*, 1993) los principales sustratos son residuos de la industria azucarera; Pakistán (Ibrahim *et al.*, 2006) con residuos del de arroz; Japón (Hiroshi *et al.*, 1998) con desechos de aceite para tratamiento de aguas residuales; Colombia (Gutiérrez & Gómez, 2008) en el aprovechamiento de residuos de la industria azucarera; Malasia (Rosma & Cheong, 2007) en desechos de piña; Inglaterra (Buerth *et al.*, 2011) utilizando Xilosa como sustrato; china (Zheng, 2005) en deschos de aceite para el tratamiento aguas residuales; Brasil (Morais, 2013) y Portugal (Pinheiro *et al.*, 2014).

Las condiciones en las que se desarrollan dichas investigaciones igual están marcadas por la vocación de su industria para cada país. Para países latinoamericanos el principal sustrato que son los residuos de la industria azucarera y responde a la necesidad de desarrollar tecnologías amigables que aprovechen los residuos agroindustriales para la obtención de remanentes útiles para el desarrollo del sector primario. Para el caso de los países asiáticos el desarrollo tecnológico está enfocado al tratamiento de aguas residuales lo que pudiera indicar la creación de tecnologías que sirvan para mejorar la calidad del agua, mientras que los europeos están tratando de tipificar dichas proteínas purificarlas y usarlas directamente en la alimentación humana.

Literatura citada

- Afonso E. I. C. (2011) Caracterización de los transportadores de nitrato y de potasio en la levadura *Hansenula polymorpha*. Universidad de La Laguna.
- Anupama & Ravindra P. (2000) Value-added food:: Single cell protein. *Biotechnology Advances*, **18**, 459-479. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00045-8)
- Buerth C., Heilmann C., Frans M., De Koster C., Joachim E. & Tielker D. (2011a) Growth-dependent secretome of *Candida utilis*. *Microbiology*, **57**, 2493–2503
- Buerth C., Heilmann C. J., Klis F. M., de Koster C. G., Ernst J. F. & Tielker D. (2011b) Growth-dependent secretome of *Candida utilis*. *Microbiology*, **157**, 2493-2503.
- Caballero E. F., González E. A., Barrera E. M. & Naranjo J. A. (1993) Valor alimenticio de la levadura tórmula (*Candida utilis*) en dietas para aves. *Veterinaria México*, **24**, 145-147.
- Cajo L., Nizama L. & Carreño C. (2011) Efecto de la concentración del inóculo y la melaza como suplemento de la vinaza de destilería para la producción de biomasa de *Candida utilis* nativa. *Scientia Agropecuaria*, **2**, 65-72.

- Carrillo-Inungaray M., Aguilar-Zarate M., Wong-Paz J. & Muñiz Márquez D. (2010) Biomass production of *Candida utilis* (Henneberg) Lodder y Kreger from molasses. *U. Tecnociencia*, **4**, 32-40. http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia_julio_dic10/tema_3_produccion_de_biomasa.pdf
- Carrillo M., Aguilar Zarate M., Wong-Paz J. & Muñiz-Márquez D. (2010a) *Biomass production of Candida utilis (Heneberg) Loder & Kreger from molases.*
- Carrillo M. L., Aguilar Zarate M., Wong Paz J. E. & Muñiz Márquez D. B. (2010b) BIOMASS PRODUCTION OF *Candida utilis* (HENNEBERG) LODDER & KREGER FROM MOLASSES. *UNACAR TECNOCENCIA*, **4**, 32-40.
- Chacon A. (2004) Perspectivas actuales de la proteína unicelular (SCP) en la agricultura y la industria. *Agronomía Mesoamericana*, **15**, 96-106.
- Chacón A. (2004) Perspectivas actuales de la proteína unicelular (scp) en la agricultura y la industria. *Agronomía Mesoamericana*, **15**, 93-106. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43715114>
- Christen P., Auria R., Vega C., Villegas E. & Revah S. (1993) Growth of *Candida utilis* in solid state fermentation. *Biotechnology Advances*, **11**, 549-557. [https://doi.org/10.1016/0734-9750\(93\)90023-G](https://doi.org/10.1016/0734-9750(93)90023-G)
- Ebrahim M., Hassan K. S., Jabbar M. A., Awan M. S. & S H. A. (2006) Kinetics of batch single cell protein production from rice polishings with *Candida utilis* in continuously aerated tank reactors. *Bioresource Technology*, **97**.
- Ebrahim M. S. M. & Abou-Seif R. A. (2008) Fish meal replacement by yeast protein (*Saccharomyces cerevisiae*) supplemented with biogenic L-carintine as a source of methionine plus lysine mixture in feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. pp. 999-1009 *In: Proceedings of the 1008th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, October 1012-1014, 2008. Cairo, Egypt.* <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ISTA8/FinalPapers/11%20Nutrition/22%20Ramadan.doc>
- Ferrer J., Davalillo Y., Chandler C., Páez G., Mármol Z. & Ramones E. (2004) Producción de proteína microbiana a partir de los desechos del procesamiento de la caña de azúcar (bagacillo)(Microbial protein production from waste of sugar cane processing (bagasse pith)).
- Flores E., Aviala E., Morales E. & Arias J. (1993) Valor alimenticio de la levadura *Torula* (*Candida Utililis*) en dietas para aves. . *Vet. Mex.* , **24(2)**, 145-147.
- González-Salas R., Romero-Cruz O., Valdiviá-Navarro M. & Ponce-Palafox J. (2014) Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales: Una alternativa para la alimentación de la tilapia. *Revista Bio Ciencias*, **2**, 240-251.
- González R., Romero O., Valdiviá M. & Ponce J. T. (2014) Vegetable, livestock and agroindustrial products and by- products: An alternative tilapia feeding. *Revista Biociencia*, **2(4)**, 240-251.

- Guevara-Rodríguez C. A., Rodríguez-Domínguez V., Rodríguez-Medina A. & Rodríguez-Acosta L. (2012) Validación del uso de la levadura (*Candida utilis* NRRL Y-600), en la fabricación de los sustitutos lecheros ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba*, **3**, 45-51.
- Gutiérrez L. A. & Gómez A. d. J. (2008) Determinación de proteína total de *Candida utilis* y *Sacharomyces cerevisiae* en bagazo de caña *Revista Lasallista de Investigación*, **5**, 61-64.
- Gutiérrez Ramírez L. A. & Gómez Rave A. d. J. (2008) Determinación de proteína total de *Candida utilis* y *Sacharomyces cerevisiae* en bagazo de caña. *Revista Lasallista de Investigación*, **5**.
- Hiroshi S., Kondo K., Fraser P. D., miura Y., Toshiko S. & Misawa N. (1998) Increased Carotenoid Production by the Food Yeast *Candida utilis* through Metabolic Engineering of the Isoprenoid Pathway *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, **64**, 2676–2680.
- Holmer M., Black K., Duarte C. M., Marbà N. & Karakassis I. (2007) *Aquaculture in the Ecosystem*, Springer Science & Business Media.
- Hong Y. R., Chen Y. L., Farh L., Yang W. J., Liao C. H. & Shiuan D. (2006) Recombinant *Candida utilis* for the production of biotin *Appl Microbiol Biotechnol* **71**, 211-221.
- Ibrahim M., Hassan Khan Sohail, A. J. M., S. A. M. & S. H. A. (2006) Kinetics of batch single cell protein production from rice polishings with *Candida utilis* in continuously aerated tank reactors. *Bioresource Technology*, **97**.
- Israelidis C. (2003) Nutrition - Single cell protein, twenty years later. . pp. <http://busines.hol.gr/gr/-bio/html/pubs/vol1/isreali.html>
- Julián M. & Ramos L. (2007) Fermentación en estado sólido (I). Producción de alimento animal *Tecnología Química XXVII*.
- Kondo K., Miura Y., Sone H., Kobayashi K. & Iijima H. (1997) High level expression of a sweet protein, monellin, in the food yeast *Candida utilis*. *Nature Biotechnology*, **15**, 453-457.
- Lazcano P. (2005) Desarrollo de una fuente proteica en Cuba. Levadura torula (*Candida utilis*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **39**
- Liang G., Liao X., Du G. & Chen J. (2008) A new strategy to enhance glutathione production by multiple H₂O₂-induced oxidative stresses in *Candida utilis*. *Bioresour. Technology*, **100**, 350-355.
- Ly J., Almaguel R., Lázara A., P. L., María R. A. & E. D. (2014) Digestibilidad rectal y ambiente gastrointestinal de cerdos jóvenes alimentados con dietas de levadura *Torula*. Influencia de la fuente de carbohidratos. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, **21**, 134-139.

- Llanes J. E., Toledo Pérez J. & M. L. d. I. V. V. J. (2009) Evaluación de la levadura de vinazas (torula) en la alimentación de alevines de *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Zootecnia Trop*, **27(1)**, 91-96. 2009.
- M. P. C. D., C. P. P. & a V. O. F. (2010) Determinación de la concentración óptima de etanol como única fuente de carbono para la producción de *Candida Utilis* cultivada en matraces agitados. In: *Determinación de la concentración óptima de etanol como única fuente de carbono para la producción de Candida Utilis cultivada en matraces agitados* (ed guanajuato Ud), uanajuato, Gto. .
- Mora L. M., Lezcano P., Hidalgo K. & Bárbara R. (2012) Levadura torula (*Candida utilis*) en vinaza de destilería en dietas para cerdos en crecimiento. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **46**, 63-65.
- Morais F. (2013) Avaliação nutricional da levedura torula (*Candida utilis*) de vinhaça em dietas para coelhos (*Oryctolagus cuniculus*) e cutias (*Dasyprocta* spp.) In: *Biotechnology Advances*. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Belo Horizonte
- Nelson D. L., Lehninger A. L. & Cox M. M. (2008) *Lehninger principles of biochemistry*, Macmillan.
- Olvera M. A., C.A. M.-P. & L. O.-C. (2002) Utilization of torula yeast (*Candida utilis*) as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters) fry. *Aquaculture Nutrition*, **8** 257-264.
- Palmerín D. M., Guevara Olvera L., Villaseñor Ortega F. & Pérez Pérez C. (2011) Identificación de una levadura para producción de proteína unicelular para consumo humano y caracterización de los parámetros cinéticos a nivel de matraces agitados. *CIENCIA@UAQ.*, **4**, 35-46.
- Piloto J. L., Mederos C. M., E. A. R. & Elizabeth C. (2009) Use of torula yeast ex-vinasses as protein and complex b vitamin source for feeding growing- fattening pigs *Revista Computadorizada de Producción Porcina* **16**, 127-130.
- Pinheiro R., Lopes Marlene, Belo I. & Manuel M. (2014) *Candida utilis* metabolism and morphology under increased air pressure up to 12 bar. *Process Biochemistry*, **49** 374-379.
- Pongpet J., Ponchunchoovong S. & Payooha K. (2016) Partial replacement of fishmeal by brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in the diets of Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus* × *Pangasius bocourti*). *Aquaculture nutrition*, **22**, 575-585.
- Rajoka M. I., Sohail H. K., Jabbar M. A., S. A. M. & S. H. A. (2006) Kinetics of batch single cell protein production from rice polishing with *Candida utilis* in continuously aerated tank reactors. *Bioresource Technology*, **97**, 1934-1941.
- Rawles S., Thompson K., Brady Y., Metts L., Gannam A., Twibell R. & Webster C. (2010) A comparison of two faecal collection methods for protein and amino acid digestibility coefficients of menhaden fish meal and two grades of poultry by-product meals for market-size sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*). *Aquaculture nutrition*, **16**, 81-90.

- Rodríguez B., Mora L., Oliveira D., Euler A. C., Larav L. & Lezcano P. (2011a) Composición química y valor nutritivo de la levadura torula (*Candida utilis*), desarrollada sobre vinaza de destilería, en la alimentación de aves. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **45**.
- Rodríguez B., Mora L., Oliveira D., Euler A. C., Larav L. & P. L. (2011b) Composición química y valor nutritivo de la levadura torula (*Candida utilis*), desarrollada sobre vinaza de destilería, en la alimentación de aves. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **45**, 261-265.
- Rosma A. & Cheong M. (2007) Effects of nitrogen supplementation on yeast (*Candida utilis*) biomass production by using pineapple (*Ananas comosus*) waste extracted medium
Malaysian Journal of Microbiology, **3(1)**, 19-26.
- Schlegel H. G. & Zaborosch C. (1997) *Microbiología general*, Omega.
- Solano G., Rodríguez - Jova Z. & Martínez - Aguilar Y. (2013) Torula yeast cream (*Candida utilis*) from vinasse inoculated with acid lactic bacteria for feeding pigs. *Revista Granma Ciencia*, **17**.
- Tizol Correa R. (1994) Uso de la levadura torula (*Torulopsis utilis*) en la obtención de biomasa de Artemia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, **23**, 165-171.
- Tizol R. (1994) Uso de la levadura torula (*Torulopsis Utilis*) en la optencion de biomasa de artemia. *instituto de investigaciones. Punta Betin*, **23**, 165-171.
- Yilmaz F. Ö., Engin K. & Hunt A. Ö. (2015) The effects of balanced diets with soy bean extract or meat and bone meal on muscle and liver tissue protein and glycogen levels of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* infected with *Vibrio anguillarum*. *Journal of Applied Biological Sciences*, **9**, 37-42.
- Zamora R. (1996) Producción de proteínas unice- lulares de *Candida utilis* a partir de extractos de paja de arroz. *Acta Científica Venezolana*
- Zheng S., M. Yang, Z. Yang, (2005) Biomass production of yeast isolate from salad oil manu- facturing wastewater. *Bioresour Technology*, **96**, 1183-1187.

CAPITULO V.

EVALUACIÓN DEL USO DE PROTEÍNA UNICELULAR (PUC) OBTENIDA DE TORULA (*Candida utilis*) EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE CRÍAS DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) EN UNA GRANJA COMERCIAL CON CONDICIONES DE TECNIFICACIÓN INTERMEDIA.

Josué Pascual González¹, Alberto Asiain Hoyos^{1*}, Juan Reta Mendiola¹, Mónica de la Cruz Vargas Mendoza¹, Jaime Bautista Ortega² y Benigno Fernández Díaz³

¹ Colegio de Postgraduados - Campus Veracruz

² Colegio de Posgraduados - Campus Campeche

³ Tecnología Nutricional del Golfo

Resumen

Se compararon tres dietas isoprotéicas e isocalóricas utilizando diferentes porcentajes de inclusión (0.0, 3.3 y 5.0 %) de torula (*Candida utilis*) como fuente de proteína y una dieta control sin torula en el comportamiento productivo de crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*) bajo condiciones de cultivo comercial en un sistema medianamente tecnificado durante 97 días. Los indicadores de crecimiento (Factor de Conversión Alimenticia, eficiencia proteica y tasas de supervivencias) no fueron afectados ($P>0.05$) por los porcentajes de inclusión de levadura evaluados. Los resultados indican que las dietas evaluadas fueron inocuas para los organismos y que es posible utilizar hasta un 5 % de inclusión de proteína en la dieta crías de tilapia entre 50 y 300 gramos respectivamente.

Palabras clave: *Candida utilis*, alimentación, levadura, proteína, torula.

Abstract

Three isoproteic and isocaloric diets using different inclusion quantities (0.0, 3.3 and 5.0%) of torula (*Candida utilis*) as protein source were evaluated in the productive performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during a 97-day experiment, under commercial conditions with a moderate level of technification. Growth indicators for the three diets were statistically similar ($P>0.05$). Results suggest that the evaluated diets were safe for fish and it is possible to use up to 5% of torula as protein source in juveniles 50 to 300 g.

Keywords: *Candida utilis*, food, yeast, protein, torula.

Introducción

La competencia globalizada por alimentos balanceados de calidad ponen de manifiesto que los métodos actuales para su producción no sólo son ineficientes, sino también insuficientes para cubrir la demanda de diferentes tipos de ganadería y actividades pecuarias (Flores *et al.*, 1993) y (González *et al.*, 2014). Por ello, los ingredientes proteínicos en el mercado mundial han elevado considerablemente su costo como materia prima para la elaboración de alimentos en las dietas humana y de animales de granja (González *et al.*, 2014). Convencionalmente, la proteína consumida en el planeta es obtenida de animales y vegetales (Carrillo *et al.*, 2010), componentes que se han utilizado durante décadas sin que se tengan alternativas a los derivados lácteos, subproductos de mataderos y de procesamiento de pescados (Stanković *et al.*, 2011). Los productos derivados de la pesca, como la harina de pescado, contienen la mayor cantidad de proteínas para la elaboración de insumos utilizados en la alimentación de peces y otros animales de granja (Stanković *et al.*, 2011), de ahí su amplia demanda.

Por otro lado, la acuicultura es la actividad que consume la mayor cantidad global de harina de pescado (Hasan & Halwart, 2009). Cerca del 70 % de la producción total de la acuicultura mundial depende del suministro de insumos alimenticios externos (24.3 millones de toneladas en 2012). Con una tasa de crecimiento anual promedio de 10.3% desde el año 2000 hasta la fecha, el uso de alimentos para la acuicultura fabricados comercialmente fue de 39.6 millones de toneladas en 2012, la demanda para el año 2015 fue de 49.7 millones toneladas, se espera que para el año 2020 sea de 65.4 millones de toneladas, para el 2025 se estima que el sector ocupe 87.1 millones de toneladas de alimentos (Tacon & Metian, 2015). La acuicultura ha sido el mayor consumidor de harina y aceite de pescado durante la última década (Tacon & Metian, 2015). Esta tendencia global ha sido facilitada por la disposición de insumos para la fabricación de alimentos dentro de los principales países productores acuícolas (Tacon & Metian, 2015), haciendo que en algunas regiones del mundo el 90% de los peces capturados en la naturaleza se utilicen para producir harina de pescado como base para proteína, de tal suerte que el aumento de la demanda de peces por la industria de la alimentación animal está

ejerciendo una presión sobre los recursos pesqueros disponibles (Hasan & Halwart, 2009).

Sostener el ritmo de crecimiento actual de la acuicultura, implica que la oferta de insumos para la elaboración de alimentos, entre ellos la proteína, tendrá que crecer a un ritmo similar o superior al crecimiento estimado para la acuicultura, pues mientras que los ingredientes ofertados por la pesca extractiva permanece estáticos con tendencia a la baja, la producción de carne de aves, cerdos, animales de compañía entre otros, compiten por los mismos insumos proteínicos (Tacon & Metian, 2015) utilizados para el desarrollo de la acuicultura. La comercialización de proteínas de origen marino mantiene una creciente preocupación económicas y ecológicas, principalmente debido a la sobrepesca de los pequeños peces pelágicos de los que se obtiene la harina de pescado (Gamboa *et al.*, 2016).

Una alternativa a esta situación pudiera centrarse en la búsqueda de sustitutos a la proteína convencional. Varias fuentes alternativas de proteínas obtenida de plantas y de proteína obtenida de diferentes especies microbianas han llamado la atención y actualmente están siendo usadas para reemplazar la harina de pescado en las dietas acuícolas o siendo probado como ingredientes (Gamboa *et al.*, 2016) en la formulación de alimentos. En este trabajo se evaluaron diferentes porcentajes de inclusión de harina de torula (*Candida utilis*) en dietas para tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) como sustituto de la proteína convencional, y evaluar su desempeño productivo en sistemas de cultivo comercial.

Materiales y Métodos

El proyecto se realizó en una granja comercial de tilapia medianamente tecnificada (recambio de agua limitado y aireación de emergencia localizada en el municipio de Zacatepec, Estado de Morelos, México, en una zona donde domina el clima cálido, de baja humedad y precipitaciones en verano, con temperatura ambiente media anual de 22.0°C.

Se utilizaron 7,200 organismos revertidos sexualmente de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) variedad Stirling de un peso individual promedio de 55 g, los cuales fueron

distribuidos en 6 tinas de geomembrana plásticas de 12 m de diámetro y 1.2 m de profundidad con drenaje central, aireación y toma de agua independiente. Cada tina se sembró con 1,200 organismos. Para la alimentación, se diseñó un alimento isoproteico e isocalórico balanceado con el perfil de Nutripec® Purina 3206 AP (Alta Productividad) con las características extrudizado y flotante, el cual contenía 32% de proteína y 6% de grasa.

El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos y dos repeticiones por tratamiento. Los porcentajes de inclusión de proteína unicelular quedaron de la siguiente manera: DIETA 0%: Nutripec® Purina 3206 AP (control), DIETA 5% = Nutripec® Purina 3206 AP con 5% de harina de torula, y DIETA 3.3% = Nutripec® Purina 3206 AP con 3.3% de harina de torula. Los organismos se alimentaron tres veces al día (10am, 2pm, y 4pm), siguiendo el método de saciedad aparente.

A intervalos catorcenales durante 97 días se realizaron muestreos al azar sin remplazo. El diseño de tratamientos fue mediante observaciones repetidas en el tiempo. Los organismos se obtuvieron aleatoriamente de cada tina a intervalos de catorce días contados en días julianos para realizar biometrías. Para la captura y manipulación se utilizó una red de pesca y cubetas de plástico. Los organismos fueron pesados individualmente con una báscula digital (inonoval Technology®) con precisión de 1gr. Para los parámetros ambientales se tomaron lecturas diarias de oxígeno disuelto en el agua y la temperatura del agua contenida en cada una de las tanques con un termo oxímetro digital YSI Professional Plus).

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar unifactorial, con tres tratamientos y dos réplicas por tratamiento. El modelo matemático del ANOVA fue el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \text{Diet}_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} = es el valor esperado del experimento

μ = es el valor promedio del tratamiento

Diet_{ij} = la inclusión de la dieta

ϵ_{ij} = es el error aleatorio.

La hipótesis nula (H_0) a probar fue la no existencia de diferencia entre tratamiento, reflejados en el peso final de los organismos para cada tratamiento con diferentes porcentajes de inclusión, es decir: $H_0: T_1 = T_2 = T_0$

Los supuestos se corroboraron con la prueba de Shapiro-Wilk, normalidad, homogeneidad e independencia del modelo propuesto.

Los datos obtenidos se analizaron a través de un ANOVA de clasificación simple. Previamente se comprobaron los supuestos de normalidad (gráfica de QQ plot con el programa Infostat) y homogeneidad de varianza (prueba de Levene). Como no se cumplieron los supuestos de normalidad, los datos fueron transformados a su \sqrt{x} . Para el análisis de comparación de medias se utilizó el Test de Tukey.

Los datos obtenidos de los muestreos se capturaron en hojas de cálculo de Excel® para su almacenamiento y construcción de bases de datos. Las bases de datos se procesaron en el software y paquete estadístico RStudio®.

Resultados y discusión

El perfil bromatológico arrojó 16 tipos de aminoácidos distintos, y el porcentaje contenidos por cada 100 g de peso seco (Cuadro 3). Lisina 5.3%, metionina 1.4%, treonina 4%, leucina 5.9%, isoleucina 6.4%, histidina 4.3%, arginina 4.5, ácido aspártico 8.1, serina 3.1%, serina 3.1%, ácido glutámico 24.5%, glicina 4.2%, alanina 5.9%, prolina 3.2%, tirosina + valina 10.2, fenilalanina 4.4.

(Guillamaume *et al.*, 2004) reporta que el requerimiento proteico en dietas para tilapia es de 35% por 100 g en masa seca, este estudio se consideraron dietas con un perfil de 36% de proteína lo que cumple con los requerimientos teóricos. Scrudlan (2000) menciona que las dietas de los peces deben contener 9 aminoácidos en los que se encuentran la arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptófano y valina sin aportar los porcentajes requeridos para formular alimentos para tilapia.

Los requerimientos teóricos para la nutrición de tilapia expresados en porcentajes en masa seca reportados por (Guillamaume *et al.*, 2004) incluyen 10 aminoácidos (Cuadro 3).

Si se establece una diferencia entre los aminoácidos requeridos y aportados la harina de torula tiene una diferencia negativa de 8.9, pero si se comparan éstos con los aportados por *C. utilis* en este experimento, se encontró que torula contiene 7 aminoácidos más en cantidades significativamente superiores a los requeridos para cultivo de tilapia (Cuadro 3)

Cuadro 3. Aminoácidos requeridos por tilapia y contenido de aminoácidos de torula.

Aminoácidos	R* de tilapia	C. utilis	± C. utilis
Lisina	6	5.3	-.7
Metionina		1.4	1.4
Metionina + cisteína	3.2	0	-.3.2
Triptófano	1	0	-1
Treonina		4	4
Leucina	3.4	5.9	2.5
Isoleucina	3.5	6.4	2.9
Valina	5.6	0	-5.6
Histidina	1.7	4.2	2.5
Arginina	4.1	4.5	.4
Ac. Aspartico		8.1	
Serina		3.1	
Ácido glutámico		24.5	
Glicina		4.2	
Alanina		5.9	
Prolina		3.2	
Tyr + valina		10.2	
Fenilalanina	5	4.4	-.6
treosina	3.8	4	.2

Fuente. Elaboración propia.

R*. Requerimiento de aminoácidos en base seca por cada 100 g de alimento formulado

En algunos casos los aminoácidos que presentan una diferencia negativa en torula se encuentra asociados con algún otro aminoácido como el caso de Tyr + valina 10.2% presente en *C. utilis* y valina 5.6 demandados para el cultivo de tilapia. De acuerdo a éstos requerimientos, la harina de *C. utilis* analizada mostró ausencia de valina,

responsable en la formación de volumen muscular, sin embargo contiene una asociación de aminoácidos entre tyr-valina, también presenta ausencia de triptófano aminoácido encargado de la regulación de serotonina que a su vez tiene la función de neurotransmisor (Guillamaume *et al.*, 2004).

Cuadro 4. Perfil de aminoácidos en gramos por cada 100 g de materia prima de diferentes fuentes de proteínas.

Aminoácido	H. Pescado	S. Cerevisiae	H. de soya	C. utilis
Lisina	5.42	5	2.7	5.3
Metionina	2.07	1.6	.59	1.4
Metionina + cisteína	2.71	0	1.27	0
Triptófano	.75	0	.57	0
Treonina	3.10	3.5	1.67	4
Leucina	5.20	8	3.25	5.9
Isoleucina	3.35	3	2.14	6.4
Valina	3.8	4.5	2.18	0
Histidina	1.63	1	1.05	4.2
Arginina	4.06	4.3	3.18	4.5
Fenilalanina + tirosina	5.0	0	3.65	0
Metionina + treonina	0	0	0	0
Cisteína	0	.4	0	0
Ac. Aspartico	0	0	0	8.1
Serina	0	0	0	3.1
Ácido glutámico	0	0	0	24.5
Glicina	0	0	0	4.2
Alanina	0	0	0	5.9
Prolina	0	0	0	3.2
Tyr + valina	0	0	0	10.2
Fenilalanina	0	0	0	4.4

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del perfil bromatológico de *C. utilis* y datos reportados por (Scrudlan, 2000; Guillamaume *et al.*, 2004).

El perfil de aminoácidos obtenido de *C. utilis* presentó otros aminoácidos que no se mencionan como ingredientes principales en la formulación de dietas de los peces. Estos aminoácidos son: ácido aspártico responsables de las funciones de la circulación sanguínea, serina responsable de síntesis de ADN y ARN, ácido glutámico que tiene presencia en los procesos de crecimiento celular, glicina que funciona como un neurotransmisor misma función del triptófano, alanina que es esencial en el ciclo de creps

para formar el piruvato, prolina que está presente en el tejido conectivo, tyr + valina y fenilalanina responsable de formación de algunas hormonas (Guillamaume *et al.*, 2004).

Comparando la presencia y porcentaje de aminoácidos encontrados para *C. Utililis* por cada 100 g de peso seco contra los porcentajes reportados para otras fuentes proteínicas, se encontró que se tiene presentes 8 aminoácidos más y uno menos que las muestras reportadas para la harina de pescado (Cuadro 4) Contrastando los datos reportados para el caso de *S. Cerevisiae*, la harina de *C. Utililis* presenta 8 aminoácidos más que la levadura de cerveza y 10 aminoácidos más que la harina de soya (Guillamaume *et al.*, 2004) (Cuadro 4).

El análisis proximal mostro que el ácido aspártico 8.1%, acido glutámico 24.5% y la tirosina + valina 10.2% son los aminoácidos con mayor presencia en la harina de *C. utililis*. En general el contenido proteínico encontrado en el análisis bromatológico de Harina de *C. utililis* es superior a las harinas de pescado de *S. Cerevisiae* y de harina de soya (Cuadro 4).

El comportamiento del oxígeno disuelto en los tres diferentes sistemas DIETA 50%, DIETA 3.3 % Y DIETA 0% mostró comportamientos similares (Figura 6).

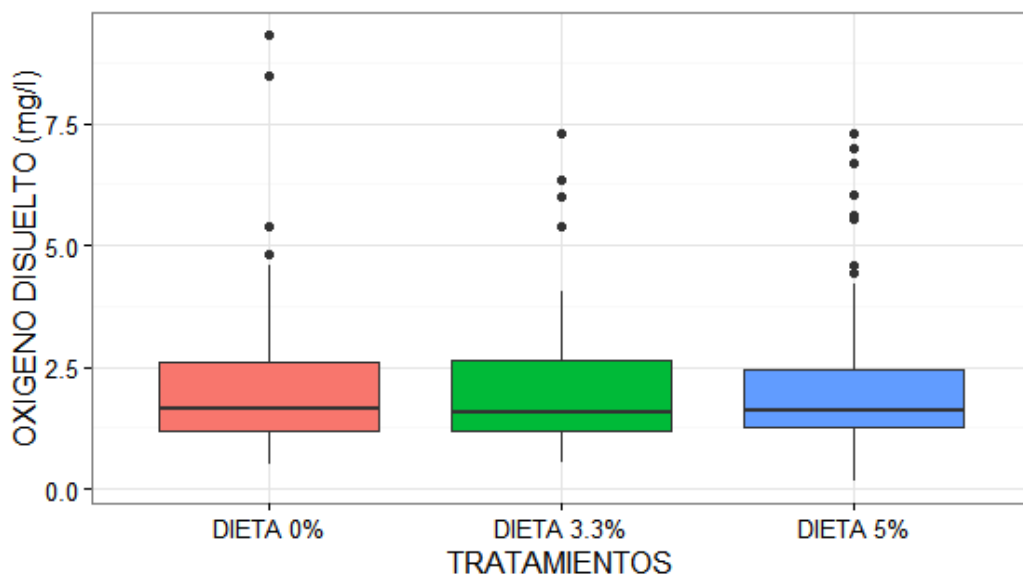


Figura 6: Comparación del oxígeno disuelto en agua observado durante el experimento

Fuente. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el sistema de oxigenación es intermedio y que se enciende sólo durante la noche, se puede inferir que la principal fuente de oxígeno durante el día se debe a la oxigenación primaria por efectos de fotosíntesis y por la noche el equipo aireador permitió compensar la respiración de peces y plancton, ayudando a que el nivel de oxígeno no cayera a niveles por debajo de los críticos.

Si bien las condiciones de oxigenación con bombeo no eran las óptimas para proveer los niveles de oxígeno, en ninguno de los tratamientos estuvo por debajo de los niveles críticos de los que se necesitan para que la especie sobreviva y crezca.

En cuanto a la temperatura, se observaron lecturas similares entre tratamientos y la variación no fue mayor a 1 °C para los tres tratamientos y se mantuvo en un rango aceptable para el crecimiento y engorda de la especie (Figura 7).

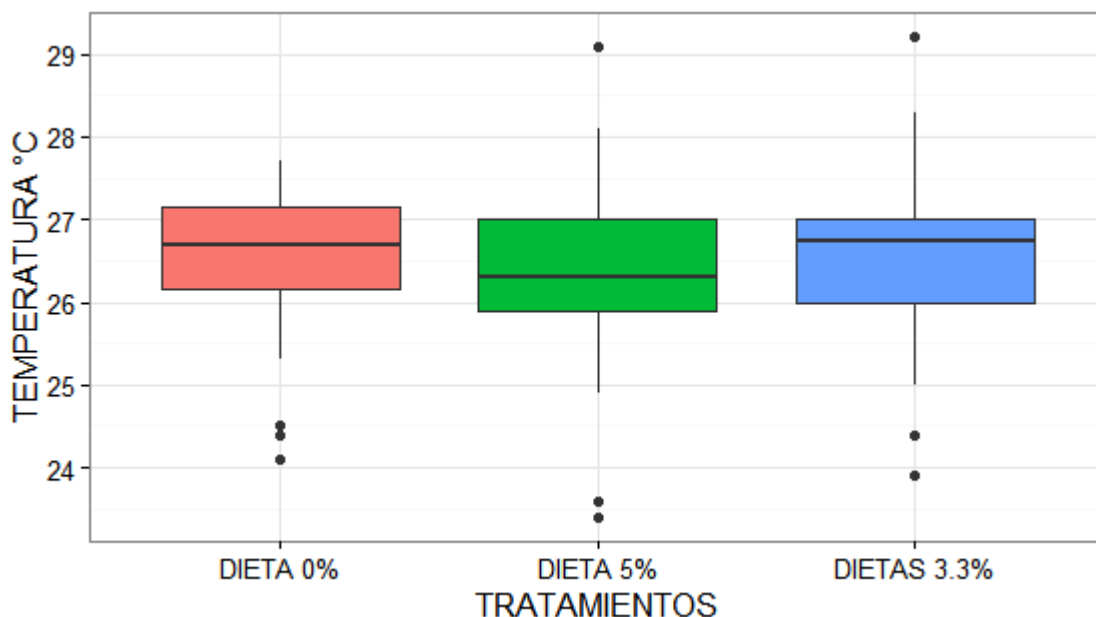


Figura 7: Comparación de la temperatura del agua observada durante el experimento.

Fuente. Elaboración propia.

Tomando como variables comunes a los factores climáticos de oxígeno y temperatura, los rangos expresados fueron aceptables. Si bien los factores abióticos como la temperatura y oxigenación son los más importantes, la temperatura ambiente tiene una influencia muy marcada en requerimiento absoluto, pero no en requerimiento relativo que

no parecen verse afectadas por esos factores. En otras palabras, los contenidos proteicos óptimos son totalmente independientes de la temperatura del cultivo (Guillamaume et al., 2004). De esta manera los resultados muestran que los factores climáticos no incidieron en el desarrollo de la prueba en ninguno de los tratamientos, ya que las condiciones se expresaron similares para todos los casos. Conclusiones similares a las encontradas por (Martínez *et al.*, 2015) y descritas por (Guillamaume *et al.*, 2004) que aseveran que tratamientos en condiciones similares, los parámetros fisicoquímicos no afectan el desarrollo de los experimentos.

Los resultados en cuanto a la ganancia de peso con respecto al consumo expresaron curvas de crecimiento de manera muy similar para todos los tratamientos. Tanto el tratamiento DIETA 5% como el tratamiento DIETA 3.3% se encuentran muy cerca de la curva control DIETA 0% (Figura 8).

La dieta con dosis alta fue superior con respecto a los otros tratamientos a partir del día 30 y se mantiene con tendencia positiva, ganando peso por arriba de los otros tratamientos durante las siguientes biometrías hasta terminar la prueba ganando DIETA 5% 2.48 g, DIETA 3.3 2.19 g y DIETA 0% 2.48 g diarios (Cuadro 5, Figura 8).

Cuadro 5. Pesos promedio expresados por biometrías durante el proceso de evaluación de dietas con inclusión de torula.

	B1		B2		B3		B4		B5		B6		B7	
DIETA 5%	58.6	A	85.3	A	114.9	A	181.9	A	209.9	A	223.2	A	299.6	B
DIETA 3.3%	57.7	A	91.0	A	115.9	A	164.0	B	197.4	A	209.6	A	269.9	A
DIETA 0%	49.2	B	85.3	A	112.1	A	152.5	B	179.8	B	191.2	B	282.2	AB

Fuentes. Elaboración propia.

La DIETA 5% se expresó con una diferencia estadística significativa superior a la DIETA 3.3% y a la DIETA 0% desde el punto de vista productivo con respecto a la ganancia de peso (Figura 8).

Al encontrarse los parámetros ambientales similares sin diferencia, la ganancia de peso permite explicar que este efecto se debe a la inclusión de torula en el alimento y da libertad a suponer que dietas formuladas con inclusión de 5% de harina de *C. Utilis*

propuestas en este experimento son la más eficientes para crías de tilapia entre 50 y 300 gramos aproximadamente.

Estos datos contrastan con los reportados para organismos acuáticos por Olvera *et al.*, (2002) que recomiendan una sustitución de hasta 30% de proteína de harina de pescado por proteína unicelular de torula en dietas para tilapia (*Oreochromis mossambicus*). Llanes *et al* (2009) recomiendan una sustitución de harina de pescado por proteína de torula en dietas para *Clarias gariepinus* hasta en un 20%; González *et al.* (2014) recomiendan dietas con inclusión de 70% torula en dietas para bagre y 50% en dietas para tilapias; Gamboa *et al.*, (2016) recomiendan una inclusión del 60% de torula como ingrediente en dietas para camarón. En cuanto a la inclusión de otras fuentes de proteína que no sean torula, Peters *et. al* (2001) recomienda una inclusión de harina de lenteja de agua (*Lemna oscura*) y hasta en un 25% en dietas alevín de tilapias a partir de un peso de 2.77gr; Delgado *et al* (2009) recomiendan no incluir harina de plátano roatán en ningún caso como sustituto de harina pescado para alimentación de peces, cabe recalcar que los datos reportados por otros autores son evidencias de laboratorio y no en sistemas reales de producción acuícola.

En el Cuadro 6 se presenta un resumen de los parámetros productivos obtenidos durante la prueba. En términos de sobrevivencia no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Para todas las pruebas se observaron comportamientos similares en los promedios de sobrevivencia final, permitiendo observar que el efecto de la ingesta de torula es inerte en ambos casos de inclusión de bioproteína con relación a la dieta control (Cuadro 6, Figura 8) DIETA 5% una sobrevivencia del 96%, DIETA 3.3% una sobrevivencia del 96% y la DIETA 0% una sobrevivencia del 95% (Cuadro 6, Figura 8). Peters *et. al* (2001) reportó sobrevivencias de 89%, 93%, 97%, 93% y 89% para diferentes porcentajes de inclusión de harina de lenteja de agua en dietas para tilapia; Martínez *et. al* (2015) reporta una sobrevivencia del 67% de juveniles de tilapia experimentos con alimentos comerciales para tilapias con 20% de proteína y 30% de proteína en alimentos comerciales para camarón.

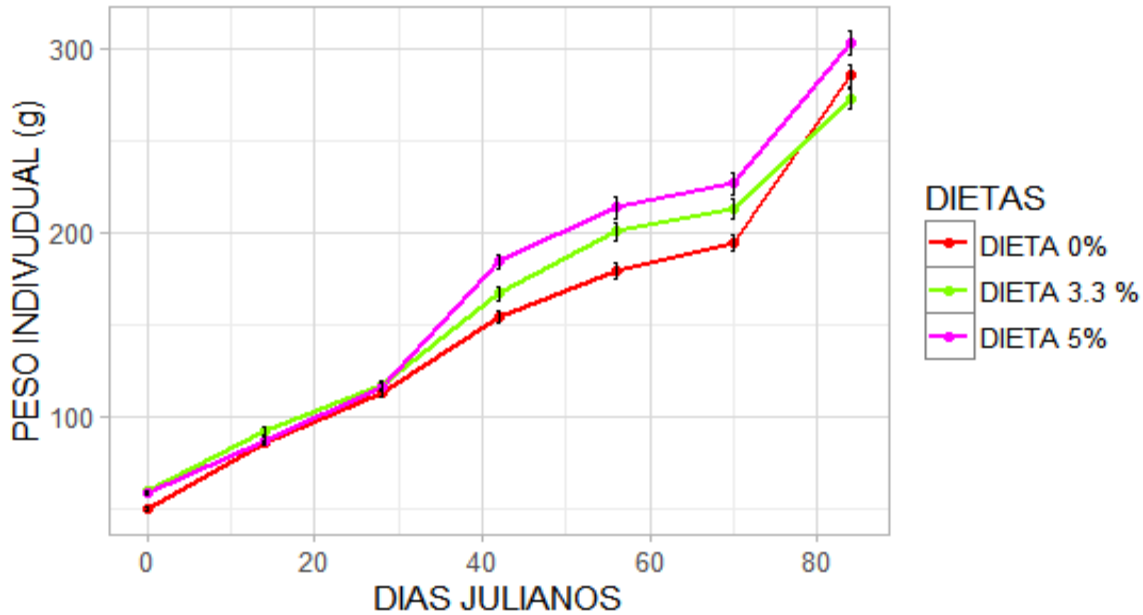


Figura 8. Curva de crecimiento de tilapias con diferentes porcentajes de inclusión de proteína.

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 6. Principales parámetros productivos en el cultivo de *Oreochromis niloticus*

Parámetros productivos	DIETA 5%	DIETA 3.3%	DIETA 0%
Peso inicial promedio	58.67	57.76	49.28
Peso final promedio	299.63	269.94	282.24
Cantidad inicial de organismos	1200	1200	1200
Cantidad final de organismos	1156	1146	1141
Sobrevivencia %	96%	96%	95%
Alimento total consumido	524.5	495.5	506
Biomasa ganada	275.97	240.04	262.62
Ganancia de peso diario individual	2.48	2.19	2.40
Factor de conversión alimenticia	1.90	2.06	1.93

Fuente. Elaboración propia.

Respecto al Factor de Conversión Alimenticia (FCA), en el experimento se expresó un mejor desempeño en la DIETA 5% 1.9 con inclusión alta y para las DIETA 3.3% 2.6 se observó menor crecimiento y menor desempeño con relación a la dieta control DIETA 0% 1.93. Aunque en todos los tratamientos se observó un desempeño por debajo de

comúnmente obtenidos actualmente con tilapia (de 1.0 a 1.6), cabe recalcar que la conversión alimenticia pudiera no ser la óptima debido a la variable oxígeno, que no era eficiente debido a las condiciones de tecnificación intermedia, lo cual explicaría un desgaste metabólico adicional en la digestión del alimento. En este sentido los resultados encontrados para este experimento son superiores a los reportados por Martínez et al. (2015), que reportan un FCA de 1.95 en alimento para tilapia con 28% de proteína y un FCA de 1.96 en alimento para camarón con 30% de proteína, ambos utilizados para alimentar tilapias juveniles en condiciones de laboratorio. Peters *et al.*, (2001) reportaron un FCA de 2.4 para inclusión de 15%, 2.41 para inclusión del 25%, 2.52 para inclusión del 35% y 2.24 para inclusión del 30% respectivamente, sustituyendo la harina de pescado por harina de *Lemna oscura* en alimento de tilapia roja (*Oreochromis sp.*).

La dieta control en todos los casos cumplió con las curvas de crecimiento recomendados por la Asociación de Acuacultores del Estado de Veracruz (comunicación personal), teniendo una ganancia de peso diario de DIETA 5% 2.48 g, DIETA 0% 2.40 y DIETA 3.3% 2.19.

Conclusiones y recomendaciones

El estudio se realizó en una granja de tecnificación intermedia, de tamaño comercial y con respecto a los factores ambientales se apoya la idea que en condiciones iguales las variables comunes no explican comportamiento diferente.

El perfil bromatológico arrojó resultados que indican una diferencia negativa en contra de torula en función de los de aminoácidos requeridos en la nutrición de tilapias. Aunque torula tiene ausencia de algunos aminoácidos requeridos en la nutrición de tilapia estos se encuentran asociados en algunos casos con otros aminoácidos presentes.

Al comparar el contenido de harina de torula propuesta en este experimento con otras fuentes proteicas como harina de pescado, harina de soja y la levadura *S. Cerevisiae* reportadas por algunos autores, el perfil de bromatológico siempre fue superior en contenido de aminoácidos y porcentajes en 100 g masa seca.

Debido a que no existieron diferencias significativas en cuanto a las condiciones ambientales desde el punto de vista productivo, se concluye para este trabajo recomendar la inclusión de la DIETA 5% de proteína de torula en dietas para tilapias que oscilan entre pesos de 50 y 300 gramos.

La torula expresó un comportamiento inerte en las DIETA 5% e incluso en la DIETA 3.3% se observó comportamiento similar a la DIETA 0% establecida como control, respecto a la sobrevivencia.

La torula es funcional como ingrediente para sustituir como fuente proteínica, a la proteína convencional utilizada para formulación de alimentos para crías de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Finalmente, la proteína de *Candida utilis* mostró ser un sustituto eficiente desde el punto de vista productivo para ser utilizada como sustituto de harina de pescado en dietas para peces de 50 a 300 gramos, cultivadas en granjas comerciales con condiciones de tecnificación intermedia.

Literatura citada

- Carrillo, M. L., Aguilar Zarate, M., Wong Paz, J. E. & Muñoz Márquez, D. B. 2010. Biomass production of *Candida Utilis* (Henneberg) Lodder & Kreger from molasses. Unacar Tecnociencia, 4, 32-40.
- Gamboa, J., Fernández, B., Nieto, M. Y Cruz, Lucía. 2016. Nutritional Contribution of Torula Yeast And Fish Meal To The Growth Of Shrimp *Litopenaeus Vannamei* As Indicated By Natural Nitrogen Stable Isotopes. *Aquaculture* 453 (2016) 116–121.
- González, R., Romero, O., Valdivié, M. & Ponce, J. T. 2014. Vegetable, livestock and agroindustrial products and by- products: An alternative tilapia feeding. *Revista Biociencia*, 2(4), 240-251.
- Stanković, M., Dulić, Z. & Marković, Z. 2011. Protein sources and their significance in carp (*Cyprinus carpio* L.) Nutrition. *Journal of Agricultural Sciences*. 56, No. 1, 75-86

- Flores, E., Aviala, E., Morales, E. & Arias, J. 1993. Valor alimenticio de la levadura *Torula* (*Candida utilis*) en dietas para aves. . *Vet. Mex.* , 24(2), 145-147.
- Hasan, M. R. & Halwart, M. 2009. Fish as feed inputs for aquaculture, practices, sustainability and implications. *Fao fisheries and aquaculture technical paper*, 518.
- Llanes, J. E., Toledo Pérez, J. & M., L. D. L. V. V. J. 2009. Evaluación de la levadura de vinazas (*Torula*) en la alimentación de alevines de *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Zootecnia Trop*, 27(1), 91-96. 2009.
- Tacon, A. G. J. & Metian, M. 2015. Feed Matters: Satisfying The Feed Demand Of Aquaculture. *Reviews In Fisheries Science & Aquaculture* 23, 1-23.

CAPITULO VI.

SHORT COMMUNICATION

PARTIAL REPLACEMENT OF CONVENTIONAL PROTEIN WITH TORULA *CANDIDA UTILIS* IN PANGA *PANGASIU*S *HYPOPHTHALMUS* CULTURE IN MEXICO

Josué Pascual-González¹

Juan Lorenzo Reta-Mendiola¹

Mónica de la Cruz Vargas-Mendoza¹

Jaime Bautista-Ortega²

Benigno Fernández-Díaz³

Alberto Asiain-Hoyos¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, México

²Colegio de Postgraduados, Campus Campeche, México

³Tecnología Nutricional del Golfo, México

Correspondence

Alberto Asiain-Hoyos, Colegio de Postgraduados – Campus Veracruz, Km 88.5 carretera federal Xalapa – Veracruz, vía Paso de Ovejas, C.P. 64301, Tepetates, Veracruz, México. aasiain@colpos.mx

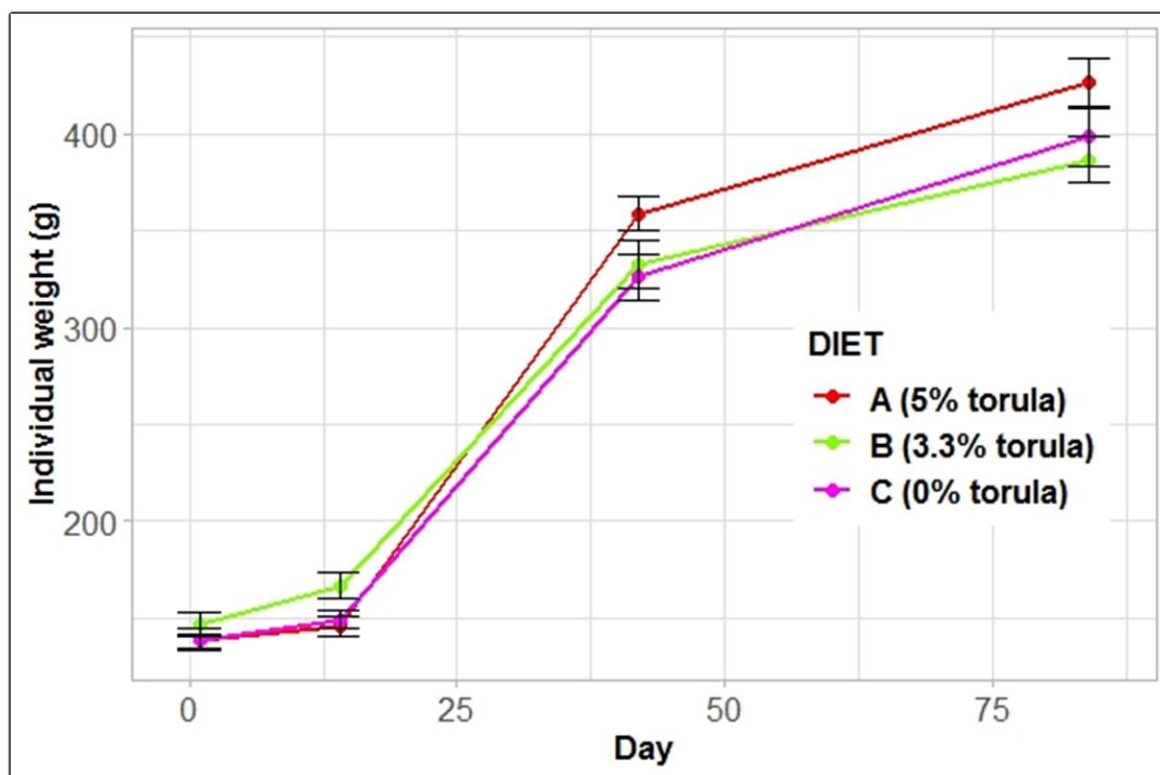
Keywords: *Candida utilis*, *Pangasius hypophthalmus*, Mexico.

Panga or basa (*Pangasius hypophthalmus*) is one of the major fish species farmed in Southeast Asia, being Viet Nam and Thailand the main producer countries; in 2016, more than 1.7 million tonnes were registered worldwide (Abdul Kader *et al.*, 2011; Ali *et al.*, 2013; Ali *et al.*, 2017; Belton *et al.*, 2011; Belton & Little, 2011; FAO, 2018; Little *et al.*, 2012; Msangi *et al.*, 2013; Pham *et al.*, 2017; Wang & Hsieh, 2016). Panga tolerates low dissolved oxygen concentrations, highly polluted water and high stocking densities

(Bone & Moore, 2008; Halver & Hardy, 2002; Lefevre *et al.*, 2014), which makes it an attractive aquaculture candidate, mainly for small scale systems and limited resources farmers. Despite Mexico imports more than 150,000 t y⁻¹, mainly from Vietnam (FAO, 2018; Platas-Rosado *et al.*, 2014), the culture of the species in the country is discouraged by Government agencies (CONAPESCA, 2017), considering the potential risk of become an invasive species (Mendoza-Alfaro *et al.*, 2013). However, panga is imported live and produced within the country for the ornamental fish market (Mendoza-Alfaro *et al.*, 2014) and is found in farms and pet shops all around the country (Ramírez-Martínez *et al.*, 2010). Due to the biological advantages of the species and the strong internal market as food commodity, an increasing number of fish farmers in Mexico are interested in panga culture, regardless of the national official policies. In addition, with the sustainable intensification of production systems (Godfray *et al.*, 2010a; Godfray *et al.*, 2010b; Panel, 2013; Tilman *et al.*, 2011; Valenti *et al.*, 2018; Zurek *et al.*, 2016), there is a growing concern to identify alternative protein sources to fish meal for their use in commercial feeds. Torula (*Candida utilis*) is a unicellular protein source already tested as fish meal substitute in animal diets (Abdul Kader *et al.*, 2011; Bob-manuel, 2014; Gamboa-Delgado *et al.*, 2016; Gamboa-Delgado & Márquez-Reyes, 2016; Khalifa *et al.*, 2018; Llanes Iglesias *et al.*, 2009; Nguyen *et al.*, 2009; Olvera-Novoa *et al.*, 2002), and can be obtained as a by-product of the timber industry at lower prices than other protein sources, such as fish meal (Gamboa-Delgado *et al.*, 2016; Llanes Iglesias *et al.*, 2009; Martin *et al.*, 1993; Montoya-Camacho *et al.*, 2018; Olvera-Novoa *et al.*, 2002; Pongpet *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2017). In this work, results of panga reared in a fish farm in Mexico are presented, fed with a commercial tilapia diet, with and without torula as an alternative source of protein.

The experiment was conducted in a commercial fish farm in Zacatepec, Morelos, México. Six concrete tanks 6.0 x 3.0 x 1.3 m were used. Each tank was stocked with 1,000 juveniles *Pangasius hypophthalmus* 140.6 ± 2.6 g produced in the same farm and reared during 84 days. Three extruded commercial tilapia diets (32.0% crude protein and 6.0 % fat) were compared, each used in two tanks. Diet A replaced 5.0 % of the total protein content in the diet with torula meal. Diet B replaced 3.3 % of the total protein in diet with torula meal. Diet C was a control treatment and was free of torula. Fish were fed twice a day *ad*

libitum. A sample of 50 individuals of each tank were weighted at days 1, 14, 42 and 84, with a digital balance of 1.0 g precision. Dissolved oxygen and water temperature were measured daily with a YSI-55® digital oxygen meter. No mechanical aeration was used and only the evaporated water was replaced during the experiment. At the end of the experiment, all organisms in each tank were counted and weighted. Survival (%), final



weight, feed consumed and feed conversion ratio (FCR) were computed for each treatment (Batt *et al.*, 2005; Dell *et al.*, 2002; Nickum, 1988).

Water quality parameters during the experiment were within the reported for the species (McGee, 2010; Phumee *et al.*, 2009; Pongpet *et al.*, 2016). Average water temperature was 26.5 ± 2.7 °C. Average dissolved oxygen was 1.9 mg l⁻¹ and ranged from 0.3 to 9.7 mg l⁻¹. Being a facultative air breather (Halver & Hardy, 2002; Lefevre *et al.*, 2014; McGee, 2010), these oxygen concentrations are enough for panga culture, but not for other species such as tilapia. Growth curves for the three diets are presented in (Figura 9).

Figura 9. Growth curves of panga fed with three diets, showing average weight \pm standard error of the mean.

At the end of the experiment, individual final weights of the organisms fed with the three diets reached the commercial size for catfish in the area, which is approximately 400 g. Also, the shape of the three curves was similar. However, from the day 42 onwards, individual weight of organisms fed with Diet A were statistically superior from those fed with Diets B and C ($P < 0.05$). Similar results in other aquatic species have been obtained when the unicellular protein from *Saccharomyces cerevisiae* is included in diets, where low levels of inclusion seem to improve the growth rate and the immune response (Bobmanuel, 2014; Diaz et al., 2015; Ebrahim & Abou-Seif, 2008a; Gamboa-Delgado et al., 2016; Gamboa-Delgado & Márquez-Reyes, 2016; Jirsa et al., 2015; Pongpet et al., 2016; Zhao et al., 2017). Productive parameters are presented in Table 1.

Cuadro 7. Productive parameters of panga fed with three diets.

	DIET A (5 % torula)	DIET B (3.3 % torula)	DIET C (0 % torula)
Initial individual weight (g) \pm SEM	138.1 \pm 3.6	146.4 \pm 6.3	138.7 \pm 5.7
Final individual weight (g) \pm SEM	427.0 \pm 12.5a	386.7 \pm 11.7b	398.5 \pm 14.8b
Initial number of fish	2,000	2,000	2,000
Final number of fish	1,818	2,000	1,996
Survival (%) \pm SEM	90.9 \pm 1.3a	100.0 \pm 0b	99.8 \pm 1.6b
Total feed used (kg)	828.2	979.2	1,002.9
Total weight gain (kg)	632.5a	480.7b	495.1b
Daily individual weight gain (g)	3.8	2.9	3.0
FCR	1.3a	2.0b	2.0b

Notes: Average values \pm Standard Error of the Mean; FCR: Feed conversion ratio; Different letters indicate statistically significant differences between treatments ($P < 0.05$).

Final individual weight (427.0 ± 12.5 g) and FCR (1.31) were also statistically superior ($P < 0.05$) with Diet A compared to Diets B and C. However, total survival with Diet A (90.9 %) was statistically different ($P < 0.05$) to that obtained with Diets B and C (100 and 99.8 %, respectively). Under these culture conditions, the final biomass achieved with treatments A, B and C were 21.6, 21.4 and 22.1 kg m⁻³, respectively.

Results suggest that panga can be produced in Mexico under production systems of limited resources farmers, with limited water replacements and no aeration devices. Also,

these results show that panga can be successfully fed with commercial tilapia feeds, available all around the country. Finally, results suggest that torula can partially replace the conventional protein sources in aquaculture diet for this species. Further works should be conducted in order to determine the maximum inclusion level of torula in the diet.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have no conflict of interest to declare.

ORCID

Josué Pascual-González <http://orcid.org/000-0001-6073-3845>

Literature citada

- Abdul Kader M., Bulbul M., Yokoyama S., Ishikawa M., Koshio S., Sakhawat Hossain M., Ahmed G. U. & Arshad Hossain M. (2011) Evaluation of meat and bone meal as replacement for protein concentrate in the practical diet for Sutchi Catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage 1878), reared under pond condition. *Journal of the World Aquaculture Society*, **42**, 287-296. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1749-7345.2011.00466.x>
- Afonso E. I. C. (2011) Caracterización de los transportadores de nitrato y de potasio en la levadura *Hansenula polymorpha*. Universidad de La Laguna.
- Ali H., Haque M. M. & Belton B. (2013) Striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage, 1878) aquaculture in Bangladesh: an overview. *Aquaculture research*, **44**, 950-965. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2109.2012.03101.x>
- Ali H., Rahman M. M., Murshed-e-Jahan K. & Dhar G. C. (2017) Production economics of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage, 1878) farming under polyculture system in Bangladesh. *Aquaculture*. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/943CE9FE480521C6913EC2E59D598957CFDA7C720172759ECF5DA5E67BB90C2BE13C073AC165D9F9207F54971E3A92E1>
- Altieri M. A. (2013) Construyendo resiliencia socio-ecológica en agroecosistemas: algunas consideraciones conceptuales y metodológicas. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático* (Nicholls CI, Ríos LA, Altieri MA, eds). *Proyecto REDAGRES*. Medellín, Colombia, 94-104.
- Altieri M. Á., Altieri M. A. & Nicholls C. I. (2007) *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas*, Icaria Editorial.
- Anupama & Ravindra P. (2000) Value-added food:: Single cell protein. *Biotechnology Advances*, **18**, 459-479. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00045-8)
- Batt J., Bennett-Steward K., Couturier C., Hammell L., Harvey-Clark C., Kreiberg H., Iwama G., Lall S., Litvak M. & Rainnie D. (2005) CCAC guidelines on: The care

- and use of fish in research, teaching, and testing.
<http://www.ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Fish.pdf>
- Baulcombe D., Crute I., Davies B., Dunwell J., Gale M., Jones J., Pretty J., Sutherland W. & Toulmin C. (2009) *Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture*, The Royal Society.
- Belton B., Haque M. M., Little D. C. & Sinh L. X. (2011) Certifying catfish in Vietnam and Bangladesh: Who will make the grade and will it matter? *Food Policy*, **36**, 289-299. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.11.027>
- Belton B. & Little D. C. (2011) The social relations of catfish production in Vietnam. *Geoforum*, **42**, 567-577. https://ac.els-cdn.com/S001671851100039X/1-s2.0-S001671851100039X-main.pdf?_tid=3ddfc1a8-bf6c-4027-bcc9-8edee975476b&acdnat=1527544425_f87ee3a1954aaf59af8f9c2f04a40134
- Bob-manuel F. G. (2014) A comparative study of the effect of yeast single cell protein on growth, feed utilization and condition factor of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell) and tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) fingerlings. *African Journal of Agricultural Research*, **9**, 2005-2011. <http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/25A076C45722>
- Bone Q. & Moore R. (2008) *Biology of fishes*, Taylor & Francis.
- Buerth C., Heilmann C., Frans M., De Koster C., Joachim E. & Tielker D. (2011a) Growth-dependent secretome of *Candida utilis*. *Microbiology*, **57**, 2493–2503
- Buerth C., Heilmann C. J., Klis F. M., de Koster C. G., Ernst J. F. & Tielker D. (2011b) Growth-dependent secretome of *Candida utilis*. *Microbiology*, **157**, 2493-2503.
- Caballero E. F., González E. A., Barrera E. M. & Naranjo J. A. (1993) Valor alimenticio de la levadura tórmula (*Candida utilis*) en dietas para aves. *Veterinaria México*, **24**, 145-147.
- Cajo L., Nizama L. & Carreño C. (2011) Efecto de la concentración del inóculo y la melaza como suplemento de la vinaza de destilería para la producción de biomasa de *Candida utilis* nativa. *Scientia Agropecuaria*, **2**, 65-72.
- Campbell B. M., Thornton P., Zougmore R., Van Asten P. & Lipper L. (2014) Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **8**, 39-43.
- Candelaria Martínez B., Ruiz Rosado O., Gallardo López F., Pérez Hernández P., Martínez Becerra Á. & Vargas Villamil L. (2011) Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Tropical and subtropical agroecosystems*, **14**, 999-1010.
- Carrillo-Inungaray M., Aguilar-Zarate M., Wong-Paz J. & Muñiz Márquez D. (2010) Biomass production of *Candida utilis* (Henneberg) Lodder y Kreger from molasses. *U. Tecnociencia*, **4**, 32-40. http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia_julio_dic10/tema_3_produccion_de_biomasa.pdf

- Carrillo L., Audisio M. C. & Bejarano N. (2007) Manual de Microbiología de los Alimentos. *Jujuy*, **10**, 102-116.
- Carrillo M., Aguilar Zarate M., Wong-Paz J. & Muñoz-Márquez D. (2010a) *Biomass production of Candida utilis (Henneberg) Loder & Kreger from molasses*.
- Carrillo M. L., Aguilar Zarate M., Wong Paz J. E. & Muñoz Márquez D. B. (2010b) BIOMASS PRODUCTION OF *Candida utilis* (HENNEBERG) LODDER & KREGER FROM MOLASSES. *UNACAR TECNOLOGIA*, **4**, 32-40.
- CONAPESCA (2017) CONAPESCA recomienda no permitir ni fomentar la introducción y cultivo de pez “basa” al país. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, México. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/conapesca-recomienda-no-permitir-ni-fomentar-la-introduccion-y-cultivo-de-pez-basa-al-pais>
- Conway G. R. (1985) Agroecosystem analysis. *Agricultural administration*, **20**, 31-55.
- Conway G. R. (1987) The properties of agroecosystems. *Agricultural systems*, **24**, 95-117.
- Cook S., Silici L., Adolph B. & Walker S. (2015) Sustainable intensification revisited. *IIED Issue Paper*.
- Chacon A. (2004) Perspectivas actuales de la proteína unicelular (SCP) en la agricultura y la industria. *Agronomía Mesoamericana*, **15**, 96-106.
- Chacón A. (2004) Perspectivas actuales de la proteína unicelular (scp) en la agricultura y la industria. *Agronomía Mesoamericana*, **15**, 93-106. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43715114>
- Cheftel J., Cuq J. & Lorient D. (1993) Aminoácidos péptidos y proteínas. “Química de los alimentos”. *Fenema. OR Acribia, 2da edición. España. Capítulo*, **5**, 275-414.
- Christen P., Auria R., Vega C., Villegas E. & Revah S. (1993) Growth of *Candida utilis* in solid state fermentation. *Biotechnology Advances*, **11**, 549-557. [https://doi.org/10.1016/0734-9750\(93\)90023-G](https://doi.org/10.1016/0734-9750(93)90023-G)
- Dell R. B., Holleran S. & Ramakrishnan R. (2002) Sample size determination. *ILAR journal*, **43**, 207-213. https://watermark.silverchair.com/ilar-43-4-207.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAc0wggHJBgkqhkiG9w0BBwagggG6MIIBtglBADCCAa8GCSqGSIB3DQEHA TAeBglghkgBZQMEAS4wEQQM9CezM-ZObGR3w23yAgEQglIBgFJlapEW-RaQokZpAYjqeAS16nXrqul-CucPDJt9EADM9BORexBUelzn4WNsnt5RVC8v6bx5xjil1wtwcXWLoCNy-TUWn6yNbUliVF819j6yIpXkU_0IltFsRkNabhZP6pyEzNV8mOBeqHbbHO3to8VbSbQo3sx-MDzBPuXLJkhta6Fgl9RPkINQSM6QEHvtLqlqZDrZAWxRAOhIWpUhd9ZiOKriwOXiA0G4s2H5R1345A7xOvE6dDileBiDDyJu3cv-KHsWk-sZZNVKNWjtmxQDuAlsHIUp9f2-zSCDd8jQt8EoSb6C9BlxJjmyPLDaWSLUx8A31oGH7nTCVdSA-bOgnC9AEIN6scrRCWZ1G3uGNCNGI1OnKeVG7L5yg3F9Shkbic-hTRGYmfRji_dkpWsyD1alk77die3vb1CqMoTLGKLCfbd4AsSbsqDdZIP8U0zZZ6ma6Bt7x2wonrQZSjjzwmdIzVtVfa-pQoIphC1Nkm_7RXQUMvi75R0NP7kPA

- Devlin T. M. (2004) *Bioquímica: libro de texto con aplicaciones clínicas*, Reverté.
- Diaz C. C., Medina A., Villamizar A. & Palencia D. (2015) Efecto de un suplemento líquido a base de *Saccharomyces cerevisiae* y *Lactobacillus casei* para la alimentación de mojarra roja (*Oreochromis sp*) en etapa de alevinaje y precria. @ *limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, **12**.
http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1335
- Dobermann A., Nelson R., Beever D., Bergvinson D., Crowley E., Denning G., Giller K., d'Arros Hughes J., Jahn M. & Lynam J. (2013) Solutions for sustainable agriculture and food systems. *Sustainable Development Solutios Network, New York, NY, USA*.
- Ebrahim M. & Abou-Seif R. (2008a) Fish meal replacement by yeast protein (*Saccharomyces cerevisiae*) supplemented with biogenic l-carintine as a source of methionine plus lysine mixture in feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Agriculture Research Centre*.
https://pdfs.semanticscholar.org/afb7/0f3f29bd0ba7367f74e753102c0a2f800527.pdf?_ga=2.227431901.1514058417.1527550263-1804211962.1527550263
- Ebrahim M., Hassan K. S., Jabbar M. A., Awan M. S. & S H. A. (2006) Kinetics of batch single cell protein production from rice polishings with *Candida utilis* in continuously aerated tank reactors. *Bioresource Technology*, **97**.
- Ebrahim M. S. M. & Abou-Seif R. A. (2008b) Fish meal replacement by yeast protein (*Saccharomyces cerevisiae*) supplemented with biogenic L-carintine as a source of methionine plus lysine mixture in feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. pp. 999-1009 *In: Proceedings of the 1008th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, October 1012-1014, 2008. Cairo, Egypt.*
<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ISTA8/FinalPapers/11%20Nutrition/22%20Ramadan.doc>
- FAO (2013) Sustainable intensification: a new paradigm for african agriculture. Panel Montpellier. *London: Agriculture for Impact*.
- FAO (2016) El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma.
- FAO (2018) The state of world fisheries and aquaculture. Meeting the Sustainable Development Goals. *FAO, Rome. 227p.*
<http://www.fao.org/3/i9540en/I9540EN.pdf>
- Ferrer J., Davalillo Y., Chandler C., Páez G., Mármol Z. & Ramones E. (2004) Producción de proteína microbiana a partir de los desechos del procesamiento de la caña de azúcar (bagacillo)(Microbial protein production from waste of sugar cane processing (bagasse pith)).
- Figueroa A. R. (2011) Inferencia abductiva basada en modelos. Una relación entre lógica y cognición. *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 3-29.

- Flores E., Aviala E., Morales E. & Arias J. (1993) Valor alimenticio de la levadura *Torula* (*Candida Utililis*) en dietas para aves. . *Vet. Mex.* , **24(2)**, 145-147.
- Frioni L. (2011) Microbiología: básica, ambiental y agrícola. Orientación Gráfica.
- Gamboa-Delgado J., Fernández-Díaz B., Nieto-López M. & Cruz-Suárez L. E. (2016) Nutritional contribution of torula yeast and fish meal to the growth of shrimp *Litopenaeus vannamei* as indicated by natural nitrogen stable isotopes. *Aquaculture*, **453**, 116-121.
- Gamboa-Delgado J. & Márquez-Reyes J. M. (2016) Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development. *Reviews in Aquaculture*, **0**, 1-23. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/raq.12157>
- García Cortes V. (2004) Introducción a la microbiología.
- García R. (2006a) Sistemas complejos. *Barcelona: Gedisa*, 202.
- García R. (2006b) Sistemas complejos. *Gedisa*.
- Garnett T. & Godfray C. (2012) Sustainable intensification in agriculture. Navigating a course through competing food system priorities. *Food climate research network and the Oxford Martin programme on the future of food, University of Oxford, UK*, 51.
- Gemino A. & Wand Y. (2004) A framework for empirical evaluation of conceptual modeling techniques. *Requirements Engineering*, **9**, 248-260. 10.1007/s00766-004-0204-6
- Gliessman S. R., Engles E. & Krieger R. (1998) *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*, CRC Press.
- Godfray H. C. J., Beddington J. R., Crute I. R., Haddad L., Lawrence D., Muir J. F., Pretty J., Robinson S., Thomas S. M. & Toulmin C. (2010a) Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *science*, **327**, 812-818. <http://science.sciencemag.org/content/327/5967/812.full>
- Godfray H. C. J., Crute I. R., Haddad L., Lawrence D., Muir J. F., Nisbett N., Pretty J., Robinson S., Toulmin C. & Whiteley R. (2010b) The future of the global food system. The Royal Society.
- González-Salas R., Romero-Cruz O., Valdivié-Navarro M. & Ponce-Palafox J. (2014) Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales: Una alternativa para la alimentación de la tilapia. *Revista Bio Ciencias*, **2**, 240-251.
- González R., Romero O., Valdivié M. & Ponce J. T. (2014) Vegetable, livestock and agroindustrial products and by- products: An alternative tilapia feeding. *Revista Biociencia*, **2(4)**, 240-251.
- Guevara-Rodríguez C. A., Rodríguez-Domínguez V., Rodríguez-Medina A. & Rodríguez-Acosta L. (2012) Validación del uso de la levadura (*Candida utilis* NRRL Y-600), en la fabricación de los sustitutos lecheros ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúca. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba*, **3**, 45-51.

- Gutiérrez G. (1998) Estrategias de forrajeo. *Manual de Análisis Experimental del Comportamiento*. Págs, 359-381.
- Gutiérrez L. A. & Gómez A. d. J. (2008) Determinación de proteína total de *Candida utilis* y *Sacharomyces cerevisiae* en bagazo de caña *Revista Lasallista de Investigación*, 5, 61-64.
- Gutiérrez Ramírez L. A. & Gómez Rave A. d. J. (2008) Determinación de proteína total de *Candida utilis* y *Sacharomyces cerevisiae* en bagazo de caña. *Revista Lasallista de Investigación*, 5.
- Halver J. E. & Hardy R. W. (2002) *Fish Nutrition*, Academic Press.
- Harper J. (1974) Agricultural ecosystems. *Agro-ecosystems*, 1, 1-6.
- Hart E. (1985) Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba–Costa Rica, 2-49.
- Hasan M. R. & Halwart M. (2009a) Fish and feed inputs for aquaculture. Practices, sustainability and implications., FAO Fisheries and aquaculture technical paper.
- Hasan M. R. & Halwart M. (2009b) Fish as feed inputs for aquaculture, Practices, sustainability and implications. Fao fisheries and aquaculture technical paper, 518.
- Hernández X. (1977) Agroecosistemas de México: Contribución a la enseñanza, la investigación y la divulgación agrícola.
- Herrscher E. G. & Ackoff R. L. (2003) Pensamiento sistémico: caminar el cambio o cambiar el camino, Ediciones Granica SA.
- Hiroshi S., Kondo K., Fraser P. D., miura Y., Toshiko S. & Misawa N. (1998) Increased Carotenoid Production by the Food Yeast *Candida utilis* through Metabolic Engineering of the Isoprenoid Pathway *applied and environmental microbiology*, 64, 2676–2680.
- Holmer M., Black K., Duarte C. M., Marbà N. & Karakassis I. (2007) *Aquaculture in the Ecosystem*, Springer Science & Business Media.
- Hong Y. R., Chen Y. L., Farh L., Yang W. J., Liao C. H. & Shiuan D. (2006) Recombinant *Candida utilis* for the production of biotin *Appl Microbiol Biotechnol* 71, 211-221.
- Horgan K. A. & Murphy R. A. (2011) Pharmaceutical and Chemical Commodities from Fungi. In: *Fungi*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 147-178.
- Ibrahim M., Hassan Khan Sohail, A. J. M., S. A. M. & S. H. A. (2006) Kinetics of batch single cell protein production from rice polishings with *Candida utilis* in continuously aerated tank reactors. *Bioresource Technology*, 97.
- Israelidis C. (2003) Nutrition - Single cell protein, twenty years later. . pp. <http://busines.hol.gr/gr/-bio/html/pubs/vol1/isreali.html>
- Janzen D. H. (1973) Tropical agroecosystems. *Science*, 182, 1212-1219.

- Jirsa D., Barrows F., Hardy R. & Drawbridge M. (2015) Alternative protein blends as a replacement for fish meal in diets for white seabass, *Atractoscion nobilis*. *Aquaculture nutrition*, **21**, 861-867. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/anu.12212>
- Julián-Ricardo M. C. & Ramos-Sánchez L. B. (2015) Análisis del crecimiento de la levadura *Candida utilis* en un biorreactor tambor rotatorio continuo. *Afinidad*, **72**.
- Julián M. & Ramos L. (2007) Fermentación en estado sólido (I). Producción de alimento animal *Tecnología Química XXVII*.
- Kenmore P. (2004) La etica de la intensificacion sostenible de la agricultura.
- Khalifa N., Belal I., El-Tarabily K., Tariq S. & Kassab A. (2018) Evaluation of replacing fish meal with corn protein concentrate in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings commercial diet. *Aquaculture Nutrition*, **24**, 143-152. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/anu.12542>
- Kondo K., Miura Y., Sone H., Kobayashi K. & Iijima H. (1997) High level expression of a sweet protein, monellin, in the food yeast *Candida utilis*. *Nature Biotechnology*, **15**, 453-457.
- Kuhn T. S. (2006) La estructura de las revoluciones científicas, Fondo de cultura económica.
- Lazcano P. (2005) Desarrollo de una fuente proteica en Cuba. Levadura torula (*Candida utilis*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*,, **39**
- Lefevre S., Wang T., Jensen A., Cong N., Huong D., Phuong N. & Bayley M. (2014) Air-breathing fishes in aquaculture. What can we learn from physiology? *Journal of Fish Biology*, **84**, 705-731. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jfb.12302>
- Lehninger A. (1988) Las bases moleculares de la estructura y función celular. Barcelona: Ediciones Omega.
- Liang G., Liao X., Du G. & Chen J. (2008) A new strategy to enhance glutathione production by multiple H₂O₂-induced oxidative stresses in *Candida utilis*. *Bioresour. Technology*, **100**, 350-355.
- Little D. C., Bush S. R., Belton B., Phuong N. T., Young J. A. & Murray F. J. (2012) Whitefish wars: Pangasius, politics and consumer confusion in Europe. *Marine Policy*, **36**, 738-745. https://ac.els-cdn.com/S0308597X11001564/1-s2.0-S0308597X11001564-main.pdf?_tid=d9397a86-4edb-41f4-8cc0-58d8d2c9d69c&acdnat=1527616601_b54909bd8e9ac43dde91c0b089769984
- Ly J. (2009) ILEAL FLOW OF N IN PIGS FED ON TORULA YEAST BASED DIETS *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, **16**.
- Ly J., Almaguel R., Lázara A., P. L., María R. A. & E. D. (2014) Digestibilidad rectal y ambiente gastrointestinal de cerdos jóvenes alimentados con dietas de levadura *Torula*. Influencia de la fuente de carbohidratos. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, **21**, 134-139.

- Llanes Iglesias J. E., Toledo Pérez J. & Lazo de la Vega J. M. (2009) Evaluación de la levadura de vinazas (torula) en la alimentación de alevines de *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Zootecnia Tropical*, **27**, 091-096. <http://www.scielo.org.ve/pdf/zt/v27n1/art11.pdf>
- Llanes J. E., Toledo Pérez J. & M. L. d. I. V. V. J. (2009) Evaluación de la levadura de vinazas (torula) en la alimentación de alevines de *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Zootecnia Trop*, **27(1)**, 91-96. 2009.
- M. P. C. D., C. P. P. & a V. O. F. (2010) Determinación de la concentración óptima de etanol como única fuente de carbono para la producción de *Candida Utilis* cultivada en matraces agitados. In: *Determinación de la concentración óptima de etanol como única fuente de carbono para la producción de Candida Utilis cultivada en matraces agitados* (ed guanajuato Ud), uanajuato, Gto. .
- Mardones N. & Ursua J. M. (1992) Filosofía de las Ciencias humanas y sociales. Fontamara.
- Marten G. G. (1988) Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural systems*, **26**, 291-316.
- Martin A. M., Goddard S. & Bemibster P. (1993) Production of *Candida utilis* biomass as aquaculture feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **61**, 363-370. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740610313>
- Martínez D., Gallardo L., Bustillo G. & Pérez V. (2011) El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*, **1**, 453-462.
- McGee M. (2010) *Pangasius* for western aquaculture. *Global Aquaculture The Advocate. The Global Magazine for Farmed Seafood*, **13**. <https://thefishsite.com/articles/pangasius-for-western-aquaculture>
- McKee T. & McKee J. R. (2003) *Bioquímica: la base molecular de la vida*, McGraw-Hill/Interamericana.
- Mendoza-Alfaro R., Luna-Peña S. & Arias-Gámez A. (2013) Evaluación de riesgo por la introducción de especies de bagre asiático del género *Pangasius* para su cultivo en México. https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgof/publicaciones/Pangasius_Analisis_de_Riesgo_2013.pdf
- Mendoza-Alfaro R., Ramírez-Martínez C., Aguilera-González C. & Meave del Castillo M. E. (2014) Principales vías de introducción de las especies exóticas. *Mendoza, R. & Koleff, P.(coords.) Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México*, 43-73. <http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/pdf/acuaticas-invasoras-cap02.pdf>
- Mendoza M. (2005) Importancia de la identificación de levaduras. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, **25**, 15-23.

- Montaldo P. (1985) *Agroecología del trópico americano*, IICA.
- Montoya-Camacho N., Marquez-Ríos E., Castillo-Yáñez F. J., Cárdenas López J. L., López-Elías J. A., Ruíz-Cruz S., Jiménez-Ruíz E. I., Rivas-Vega M. E. & Ocaño-Higuera V. M. (2018) Advances in the use of alternative protein sources for tilapia feeding. *Reviews in Aquaculture*, n/a-n/a. 10.1111/raq.12243
- Montoya-Camacho N., Marquez-Ríos E., Castillo-Yáñez F. J., Cárdenas López J. L., López-Elías J. A., Ruíz-Cruz S., Jiménez-Ruíz E. I., Rivas-Vega M. E. & Ocaño-Higuera V. M. (2018) Advances in the use of alternative protein sources for tilapia feeding. *Reviews in Aquaculture*. <https://doi.org/10.1111/raq.12243>
- Mora L. M., Lezcano P., Hidalgo K. & Bárbara R. (2012) Levadura torula (*Candida utilis*) en vinaza de destilería en dietas para cerdos en crecimiento. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **46**, 63-65.
- Morais F. (2013) Avaliação nutricional da levedura torula (*Candida utilis*) de vinhaça em dietas para coelhos (*Oryctolagus cuniculus*) e cutias (*Dasyprocta* spp.) In: *Biotechnology Advances*. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Belo Horizonte
- Msangi S., Kobayashi M., Batka M., Vannuccini S., Dey M. & Anderson J. (2013) Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture. *World Bank Report*, 102.
- Nduka O. (2007) Modern Industrial Microbiology and Biotechnology. *Science, Enfield, USA*, 429-453.
- Nelson D. L., Lehninger A. L. & Cox M. M. (2008) *Lehninger principles of biochemistry*, Macmillan.
- Nguyen T. N., Davis D. A. & Saoud I. P. (2009) Evaluation of alternative protein sources to replace fish meal in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis* spp. *Journal of the World Aquaculture Society*, **40**, 113-121. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00230.x>
- Nickum J. G. (1988) Guidelines for use of fishes in field research. *Fisheries*, **13**, 16-23. <https://doi.org/10.1080/03632415.2014.924408>
- Nutrición P. M. s. A. y. S. A. p. I. (2016) *Sistemas alimentarios y dietas: Enfrentar los desafíos del siglo XXI*. Londres, Reino Unido.
- Odum E. P. (1984) Properties of agroecosystems. *Agricultural ecosystems*, 5-11.
- Oliva M. M. R., Quintana M. P. & Salabarría R. B. (2008) COMPONENTES DE LA PARED DE LAS LEVADURAS: ACTIVIDAD PROBIÓTICA.
- Olivé L. (1995) *Racionalidad epistémica*, Editorial CSIC-CSIC Press.
- Olvera-Novoa M., Martínez-Palacios C. & Olivera L. (2002) Utilization of torula yeast (*Candida utilis*) as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters) fry. *Aquaculture Nutrition*, **8**, 257-264. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00215.x>

- Olvera M. A., C.A. M.-P. & L. O.-C. (2002) Utilization of torula yeast (*Candida utilis*) as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters) fry. *Aquaculture Nutrition*, **8** 257-264.
- ONU (1992) Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo.
- Orberá Ratón T. d. I. M. (2004) Acción perjudicial de las levaduras sobre los alimentos. *Revista Cubana de Salud Pública*, **30**, 0-0.
- Palmerin-carreño D. M., Guevara L., Villaseñor F. & Cristina P. Identificación de una levadura para producción de proteína unicelular para consumo humano y determinación de los parámetros cinéticos a nivel de matraces agitados.
- Palmerín D. M., Guevara Olvera L., Villaseñor Ortega F. & Pérez Pérez C. (2011) Identificación de una levadura para producción de proteína unicelular para consumo humano y caracterización de los parámetros cinéticos a nivel de matraces agitados. *CIENCIA@UAQ.*, **4**, 35-46.
- Panel M. (2013) Sustainable intensification: A new paradigm for African agriculture. *London: Agriculture for Impact*.
https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/70152/6909_Montpellier_Panel_Report_2013_Sustainable.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Parker R. (2011) *Aquaculture science*, Cengage Learning.
- Pérez-Vázquez A. (1996) El Concepto de Agroecosistema: definiciones y enfoques. *Notas para el Curso Teórico-Práctico de Introducción al Estudio de Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Manlio Fabio, Altamirano, Veracruz, México*, 2-19.
- Pham T. A. N., Meuwissen M. P., Le T. C., Bosma R. H., Verreth J. & Lansink A. O. (2017) Price transmission along the Vietnamese pangasius export chain. *Aquaculture*.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.028>
- Phumee P., Hashim R., Aliyu-Paiko M. & Shu-Chien A. C. (2009) Effects of dietary protein and lipid content on growth performance and biological indices of iridescent Shark (*Pangasius hypophthalmus*, Sauvage 1878) fry. *Aquaculture research*, **40**, 456-463. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02116.x>
- Piloto J. L., Mederos C. M., E. A. R. & Elizabeth C. (2009) Use of torula yeast ex-vinasses as protein and complex b vitamin source for feeding growing- fattening pigs *Revista Computadorizada de Producción Porcina* **16**, 127-130.
- Pillay T. V. R. (2008) *Aquaculture and the Environment*, John Wiley & Sons.
- Pinheiro R., Lopes Marlene, Belo I. & Manuel M. (2014) *Candida utilis* metabolism and morphology under increased air pressure up to 12 bar. *Process Biochemistry*, **49** 374-379.
- Platas-Rosado D. E., González-Reynoso L. & Luna F. J. (2014) Impacto económico y social de la producción de pez basa *Pangasius hypophthalmus* en México. *Panorama Acuícola*, **20**, 20-26.

- Pongpet J., Ponchunchoovong S. & Payooha K. (2016) Partial replacement of fishmeal by brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in the diets of Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus* × *Pangasius bocourti*). *Aquaculture nutrition*, **22**, 575-585.
- Prestes M. E. B. (1997) *Teoría celular: de Hooke a Schwann*, Ed. Scipione.
- Rabanal H. R. (1988) History of aquaculture.
- Rajoka M. I., Sohail H. K., Jabbar M. A., S. A. M. & S. H. A. (2006) Kinetics of batch single cell protein production from rice polishing with *Candida utilis* in continuously aerated tank reactors. *Bioresource Technology*, **97**, 1934-1941.
- Ramírez-Martínez C., Mendoza-Alfaro R. & Aguilera-González C. (2010) Estado actual y perspectivas de la producción y comercialización de peces de ornato en México. Universidad Autónoma de Nuevo León - Instituto Nacional de Pesca, México. 118p.
<https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/LIBROS/2010-Ramirez-Estado-peces-de-ornato.pdf>
- Rathinavelu R. & Graziosi G. (2005) Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. *Organización Internacional del Café, ITA*.
- Rawles S., Thompson K., Brady Y., Metts L., Gannam A., Twibell R. & Webster C. (2010) A comparison of two faecal collection methods for protein and amino acid digestibility coefficients of menhaden fish meal and two grades of poultry by-product meals for market-size sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*). *Aquaculture nutrition*, **16**, 81-90.
- Rodríguez B., Mora L., Oliveira D., Euler A. C., Larav L. & Lezcano P. (2011a) Composición química y valor nutritivo de la levadura torula (*Candida utilis*), desarrollada sobre vinaza de destilería, en la alimentación de aves. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **45**.
- Rodríguez B., Mora L., Oliveira D., Euler A. C., Larav L. & P. L. (2011b) Composición química y valor nutritivo de la levadura torula (*Candida utilis*), desarrollada sobre vinaza de destilería, en la alimentación de aves. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **45**, 261-265.
- Rosma A. & Cheong M. (2007) Effects of nitrogen supplementation on yeast (*Candida utilis*) biomass production by using pineapple (*Ananas comosus*) waste extracted medium. *Malaysian Journal of Microbiology*, **3(1)**, 19-26.
- Ruiz-Rosado O. (2006) Enfoque de sistemas y agroecosistemas. Agroecología y agricultura orgánica en el trópico. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Universidad Autónoma de Chiapas. Tunja, Boyacá, Colombia, 27-35.
- Schlegel H. G. & Zaborosch C. (1997) *Microbiología general*, Omega.
- Scholz U., Garcia Diaz G., Ricque D., Cruz Suarez L. E., Vargas Albores F. & Latchford J. (1999) Enhancement of vibriosis resistance in juvenile *Penaeus vannamei* by supplementation of diets with different yeast products. *Aquaculture*, **176**, 271-283.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00030-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00030-7)

- Solano G., Rodríguez - Jova Z. & Martínez - Aguilar Y. (2013) Torula yeast cream (*Candida utilis*) from vinasse inoculated with acid lactic bacteria for feeding pigs. *Revista Granma Ciencia*, **17**.
- Stanković M., Dulić Z. P. & Marković Z. Z. (2011) PROTEIN SOURCES AND THEIR SIGNIFICANCE IN CARP (*Cyprinus carpio* L.) NUTRITION *Journal of Agricultural Sciences*, **56**, 75-86
- Stryer L. (2007) Bioquímica, Universidad del Rosario.
- Stryer L., Berg J. M., Tymoczko J. L. & Macarulla J. M. (2003) Bioquímica.
- Tacon A. G. & Metian M. (2015a) Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, **23**, 1-10.
- Tacon A. G. J. & Metian M. (2015b) Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, **23**, 1-23.
- Tilman D., Balzer C., Hill J. & Befort B. L. (2011) Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **108**, 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Tizol Correa R. (1994) Uso de la levadura torula (*Torulopsis utilis*) en la obtención de biomasa de Artemia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, **23**, 165-171.
- Tizol R. (1994) Uso de la levadura torula (*Torulopsis Utilis*) en la optencion de biomasa de artemia. *instituto de investigaciones. Punta Betin*, **23**, 165-171.
- Toledo V. M. (1980) La ecología del modo campesino de producción. *Antropología y marxismo*, **3**, 35-55.
- Valenti W. C., Kimpara J. M., Preto B. d. L. & Moraes-Valenti P. (2018) Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. *Ecological Indicators*, **88**, 402-413. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.068>
- Vela Wallejo S. & Ojeda González-Posada J. (2007) Acuicultura: La revolucion azul. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid (España). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacion, Madrid (España).
- Villee C. A., Zarza R. E. & y Cano G. C. (1996) *Biología*, McGraw-Hill.
- von Bertalanffy L. (1981) Tendencias en la teoría general de sistemas.
- Wang D. & Hsieh Y.-H. P. (2016) The use of imported pangasius fish in local restaurants. *Food Control*, **65**, 136-142. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.01.016>
- Yilmaz F. Ö., Engin K. & Hunt A. Ö. (2015) The effects of balanced diets with soy bean extract or meat and bone meal on muscle and liver tissue protein and glycogen levels of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* infected with *Vibrio anguillarum*. *Journal of Applied Biological Sciences*, **9**, 37-42.
- Zamora R. (1996) Producción de proteínas unice- lulares de *Candida utilis* a partir de extractos de paja de arroz. *Acta Científica Venezolana :ULA. Mérida, Venezuela.*, **47**, 147-153.

- Zhao L., Wang W., Huang X., Guo T., Wen W., Feng L. & Wei L. (2017) The effect of replacement of fish meal by yeast extract on the digestibility, growth and muscle composition of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, **48**, 311-320. doi:10.1111/are.12883
- Zheng S., M. Yang, Z. Yang, (2005) Biomass production of yeast isolate from salad oil manufacturing wastewater. *Bioresour Technology*, **96**, 1183-1187.
- Zurek M., Keenlyside P. & Brandt K. (2016) *Intensifying agricultural production sustainably: A framework for analysis and decision support*, Intl Food Policy Res Inst; Climate Focus.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES GENERALES

El trabajo de investigación estuvo enmarcado en la corriente teórica de los agroecosistemas, permitiendo identificar dominios materiales, dominios conceptuales, dominios epidémicos internos y dominios epistémicos derivados. La visión con la que se planteó el problema de investigación estuvo de acuerdo a los sistemas complejos, lo que hace notoria una división clara en su desarrollo.

La primera parte correspondió a su fragmento teórico, donde se desarrolló el marco teórico desde la perspectiva de la teoría de la intensificación sustentable y la teoría de la nutrición, que sirvieron como andamiaje para la construcción de la situación problemática y los cuestionamientos de la investigación. Ambas teorías ayudaron a explicar bien el fenómeno de estudio dando una solución teórica al planteamiento del problema.

La segunda parte correspondió a las cuestiones pragmáticas apoyadas en la construcción teórica, para dar soluciones tangibles a los cuestionamientos de la situación problemática utilizando la multidisciplinaria a través de la biotecnología, microbiología, bioquímica, nutrición, acuicultura, matemáticas y estadística entre muchas otras. En la construcción del trabajo final fue necesario engranar de manera articulada las partes antes mencionadas para poder obtener los resultados que permitieran llegar a las siguientes conclusiones:

El estudio en tilapia se realizó en una granja de tecnificación intermedia de tamaño comercial, en tanto que para basa se realizó en una granja de tamaño comercial sin tecnificar. En ambos casos la evaluación buscó obtener resultados que fueran más cercanos a la realidad al entorno de la producción de biomasa de pescado en México, específicamente en las condiciones en que producen la mayoría de los productores medianos y pequeños.

Los resultados de laboratorio indican que torula tiene hasta un 45% de proteína en base seca, incluyendo 16 diferentes tipos de aminoácidos. En el perfil de torula existen configuraciones amino péptidas de asociación entre aminoácidos en su cadena, lo cual

podría representar un problema durante la digestión por organismos de estómagos sencillos.

La presencia de una asociación de aminoácidos como Tyr + valina en *C. utilis* pudiera ser una limitante nutritiva para los organismos acuáticos que se requiera alimentar y dependerá de la naturaleza de su sistema digestivo si logra asimilarlo o no.

Existe una diferencia negativa entre los aminoácidos requeridos y los aportados por torula. Sin embargo, como ya se indicó, la existencia de asociaciones amino péptico representa disponibilidad para estómagos más complejos.

De manera concisa se pudo concluir que:

- El perfil de aminoácidos aportados por *C. utilis* en esta investigación, permitió reconocer que torula contiene una diversidad de 7 aminoácidos más que los aportados por harina de pescado y 8 más que la levadura *S. Cerevisiae*.
- Torula contiene una variedad y cantidad significativamente superior a los aminoácidos requeridos para cultivo de tilapia.
- La inclusión de un 5% de proteína de torula en dietas para tilapia fue la que respondió de manera más eficiente a las condiciones de tecnificación intermedia y para el cultivo de basa en granjas comerciales sin tecnificación.
- La engorda de basa se realizó con una dieta con perfiles isoproteicos e isocalóricos 3206 AP dietas diseñadas con el perfil de Nutripec® Purina para tilapia.
- Los resultados de engorda de pangasius son los primeros reportados en el país.
- La proteína de *Candida utilis* es un sustituto eficiente desde el punto de vista productivo para ser utilizada como sustito de harina de pescado en dietas para peces de 50 a 300 gramos en una granja de tamaño comercial con condiciones de tecnificación intermedia.
- La harina de torula es inerte para los organismos como tilapia y pangasius en granjas de engorda comercial.
- Los resultados indican que se puede producir tilapia con las condiciones existentes en una granja de tecnificación intermedia en climas similares a los de la zona de estudio, con inclusiones de hasta 5% de harina de torula como fuente

de proteína. Se han obtenido resultados similares en otras especies acuáticas cuando la proteína unicelular de *Saccharomyces cerevisiae* se incluye en las dietas, donde los niveles bajos de inclusión parecen mejorar la tasa de crecimiento y la respuesta inmune.

- Los resultados también mostraron que basa se puede producir en México en sistemas de producción de acuacultores de recursos limitados, sin reemplazos de agua y sin dispositivos de aireación. Además, los resultados mostraron que basa se pudo alimentar con éxito con dietas comerciales de tilapia, ya disponibles en todo el país.
- Finalmente, los resultados sugieren que la torula puede reemplazar parcialmente las fuentes de proteínas convencionales en la dieta de acuicultura para tilapia y basa. Se deberían realizar trabajos adicionales para determinar el nivel máximo de inclusión de la torula en la dieta.