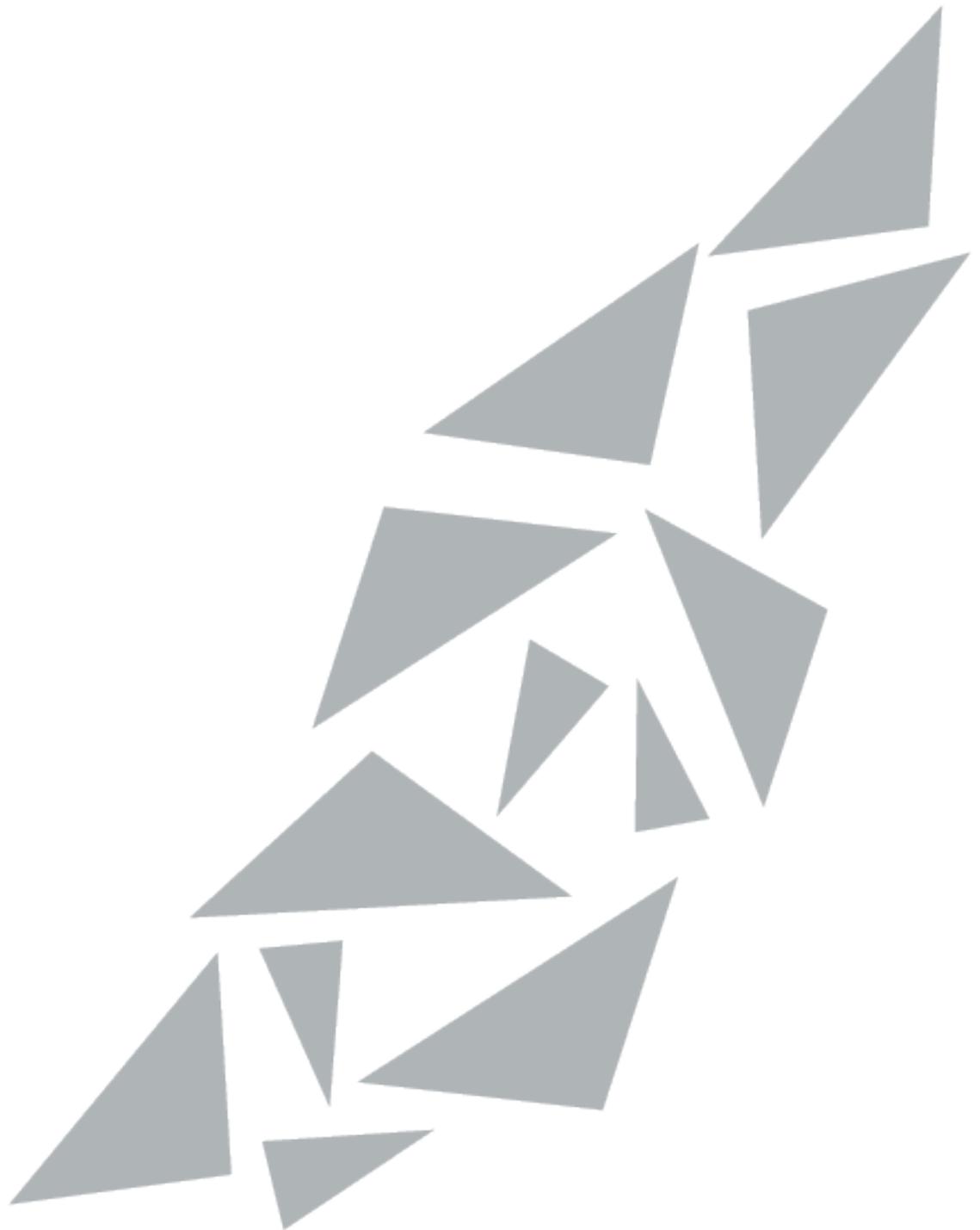


Journal of Behavior and Feeding

How, what and why

Volumen 2. Número 2. Julio de 2022



Journal of Behavior and Feeding

How, what and why

Volumen 2. Número 2. Julio de 2022



Instituto de Investigaciones en Comportamiento Alimentario y Nutrición

Centro Universitario del Sur

Universidad de Guadalajara

Directorio

Ricardo Villanueva Lomelí
Rector general

Héctor Raúl Solís Gadea
Vicerrector ejecutivo

Centro Universitario del Sur
José Guadalupe Salazar Estrada
Rector

Andrés Valdez Zepeda
Secretario académico

Zyanya Reyes Castillo
Directora del Instituto de Investigaciones en
Comportamiento Alimentario y Nutrición

Journal of Behavior and Feeding. Año 2022, volumen 2, número 2, julio-diciembre de 2022. Publicación semestral editada y distribuida por la Universidad de Guadalajara a través del Instituto de Investigaciones en Comportamiento Alimentario y Nutrición del Centro Universitario del Sur, Avenida Enrique Arreola Silva No. 883, Colonia Centro, C.P. 49000 Ciudad Guzmán, Jalisco, México. Teléfono: +52 341 5752222, ext. 46102. Correo electrónico: revistafeeding@gmail.com. Dirección web: www.jbf.cusur.udg.mx. Editora responsable: Nicoletta Righini. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo número: 04-2021-012111302500-102, ISSN: en trámite, otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Las opiniones y los comentarios expresados por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad de Guadalajara.

Comité editorial

Editora General

Dra. Nicoletta Righini - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

Editores Ejecutivos

Dr. Carlos Barbosa Alves de Souza - Universidade Federal do Pará, Belem, Brasil

Dr. Juan Argüelles Luis - Universidad de Oviedo, España

Dr. Etienne Challet - INCI, CNRS, Universidad de Estrasburgo, Francia

Dr. Jesús Contreras Hernández - Universidad de Barcelona, España

Dr. Víctor Demaría Pesce - INSERM, París, Francia

Dra. Mónica Katz - Universidad Favaloro, Buenos Aires, Argentina

Dr. Wilson López López - Pontificia Universidad Javeriana, Colombia

Dr. Juan Antonio Madrid Pérez - CronoLab, Universidad de Murcia, España

Dr. Juan Manuel Mancilla Díaz - FESI, Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Alma Gabriela Martínez Moreno - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

Dr. José María Martínez Selva - Universidad de Murcia, España

Dr. Luis Alberto Moreno Aznar - Universidad de Zaragoza, España

Dr. Joseph Pavelka, PhD - Mount Royal University, Canadá

Dr. Emilio Ribes Iñesta - CEICAH, Universidad Veracruzana, México

Dr. Jesús Francisco Rodríguez Huertas - INYTA, Universidad de Granada, España

Dr. Juan Carlos Serio Silva - Instituto de Ecología AC, Xalapa, México

Dr. Alfonso Urzúa Morales - Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile

Editores Asesores

Dra. María Constanza Aguilar Bustamante - Universidad Santo Tomás, Colombia

Dra. Virginia Gabriela Aguilera Cervantes - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

Dra. Marina Liliana González Torres - Universidad Autónoma de Aguascalientes, México

Dra. María del Socorro Herrera Meza - IIP, Universidad Veracruzana, México

Dra. Fatima Ezzahra Housni - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

Dra. Claudia Llanes Cañedo - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

Dra. Juana María Meléndez Torres - CIAD, Sonora, México

Dra. Zyanya Reyes Castillo - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

Dr. José Guadalupe Salazar Estrada - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

Mtra. Berenice Sánchez Caballero - Universidad de Guadalajara, México

Dra. Julieta Ignacia Sánchez Bizama - Universidad de Concepción, Chile

Dra. Elia Herminia Valdés Miramontes - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

Dra. Ana Patricia Zepeda Salvador - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

Asistente de Publicación

Lic. en Psic. Ariana Lizeth García Partida - Universidad de Guadalajara, México

Asistentes Editoriales

M. C. Ana Cristina Espinoza Gallardo - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

M. C. Ana Malintzin González Martín - IICAN, Universidad de Guadalajara, México

Índice

Perspectivas

Los anticuerpos más allá de la defensa contra microorganismos: papel emergente en la regulación del metabolismo y el comportamiento alimentario

Zyanya Reyes-Castillo, Rafael Vázquez Solórzano, Astrid Espinoza-García 1

Seguridad alimentaria: retos y desafíos de la acuicultura en México

Darío García-Medel 10

Artículos de investigación

Hábitos alimentarios y actividad física en población escolar con normopeso, sobrepeso, obesidad y resistencia a la insulina

Berenice Sánchez Caballero, Zyanya Reyes Castillo, Lourdes Barajas García,
Lidia García Ortiz, Elia Herminia Valdés Miramontes 20

Survey on the use of hydroponic greenhouses in the classroom. Effects on students' eating habits

Lorenzo Guasti, Giammarco Bei 28



Perspectiva

Los anticuerpos más allá de la defensa contra microorganismos: papel emergente en la regulación del metabolismo y el comportamiento alimentario

Antibodies beyond defense against microorganisms: an emerging role in the regulation of metabolism and feeding behavior

Zyanya Reyes-Castillo

Rafael Vázquez Solórzano

Astrid Espinoza-García

Instituto de Investigaciones en Comportamiento Alimentario y Nutrición (IICAN), Universidad de Guadalajara, México

Recibido: 13-07-2022

Aceptado: 29-07-2022

Resumen

Las investigaciones recientes han evidenciado una estrecha relación entre el sistema inmunológico y el sistema neuroendócrino en la regulación del metabolismo y el comportamiento alimentario. Esto ocurre por la producción de anticuerpos de baja afinidad dirigidos contra hormonas reguladoras de la ingesta alimentaria, como la leptina y la grelina. Se ha postulado que estos anticuerpos juegan un papel fisiológico en individuos sanos; sin embargo, se han detectado alteraciones en su producción y/o afinidad en enfermedades vinculadas a la alimentación, tales como anorexia nerviosa, bulimia nerviosa, obesidad y diabetes mellitus tipo 2 (DM2). Además, muchos aspectos relativos al origen, la modulación y/o función de estos anticuerpos permanecen sin esclarecer. Por lo que, en el presente artículo de perspectiva se presenta la evidencia generada respecto a los anticuerpos contra las hormonas reguladoras de la ingesta, su papel emergente en la regulación del metabolismo en contextos de salud-enfermedad y en la regulación del comportamiento alimentario. Se hace especial énfasis en los anticuerpos anti-leptina y anti-grelina y se brindan perspectivas en torno a esta fascinante línea de investigación. Comprender los mecanismos moleculares e inmunológicos implicados en la regulación del metabolismo y el comportamiento alimentario es importante, dado que inciden en la fisiopatología y el tratamiento potencial de enfermedades altamente prevalentes, incluyendo la obesidad, las enfermedades cardiovasculares y la DM2.

Palabras clave: Psiconeuroinmunología, autoanticuerpos, obesidad, conducta alimentaria

Abstract

In the last decade, research has shown a close relationship between immune and neuroendocrine systems in the regulation of metabolism and feeding behavior. This occurs due to the production of low-affinity antibodies directed against hormones that regulate food intake, such as leptin and ghrelin. It has been postulated that these antibodies play a physiologic role in healthy individuals, however, alterations in their production and/or affinity have been detected in feeding-related pathologies, including anorexia nervosa, bulimia nervosa, obesity and type 2 diabetes mellitus (T2D). Furthermore, multiple aspects related to the origin, modulation and function of these antibodies remain unclear. Therefore, this perspective article presents the evidence generated regarding antibodies against appetite-regulating hormones, their emerging role in the regulation of metabolism both in contexts of health and disease, as well as in feeding behavior regulation. Special emphasis is placed on anti-leptin and anti-ghrelin antibodies and we provide insights into this fascinating research area. Understanding the molecular and immunological mechanisms implicated in metabolism and feeding behavior regulation is relevant, since these antibodies may be implicated in the physiopathology and the potential treatment of highly prevalent diseases, such as obesity, cardiovascular diseases and T2D.

Keywords: Psychoneuroimmunology, autoantibodies, obesity, feeding behavior

Introducción

El comportamiento alimentario es regulado de forma compleja mediante la interacción entre factores psicológicos, socioculturales y sensoriales, así como señales neuroendocrinas que inciden en múltiples aspectos de nuestra alimentación, incluyendo las preferencias, la selección y el consumo alimentario (Hernández Ruiz de Eguilaz et al., 2018). El eje neuroendocrino que regula la ingesta alimentaria y el metabolismo incluye diversas hormonas y péptidos circulantes, que se unen a sus receptores específicos en las neuronas del hipotálamo para generar efectos orexigénicos o anorexigénicos, según el tipo de hormona. Cabe destacar que dichas señales hormonales no solo regulan las señales de hambre y saciedad a corto plazo, sino que modulan múltiples vías metabólicas y orientan sobre la disponibilidad de nutrientes, los requerimientos en condiciones particulares y el almacenamiento energético a largo plazo (Hao et al., 2020).

Por su parte, el sistema inmunológico (SI) juega un papel clave en la defensa de los individuos contra los agentes infecciosos, incluidos virus, bacterias, hongos y parásitos; sin embargo, recientemente se ha evidenciado que el SI también participa en la compleja red que regula el metabolismo y el comportamiento alimentario, dado que se ha identificado la presencia de anticuerpos de baja afinidad que se unen a las hormonas del sistema neuroendocrino (Fetissov, Hamze Sinno, Coquerel et al., 2008). Estos anticuerpos pueden actuar como proteínas de unión, protección y transporte de las hormonas y péptidos reguladores del hambre-saciedad, por lo que tienen un efecto en la estabilidad y capacidad de señalización hormonal en los centros reguladores del apetito, es decir, el hipotálamo y el tallo cerebral (Fetissov, Hamze Sinno, Coëffier et al., 2008; Fetissov, Hamze Sinno, Coquerel et al., 2008).

Interesantemente, se han reportado alteraciones tanto en los niveles de estos anticuerpos como en la afinidad de estos hacia algunas hormonas como leptina y grelina en enfermedades vinculadas a la alimentación, tales como anorexia nerviosa (AN), bulimia nerviosa (BN), obesidad y diabetes mellitus tipo 2 (DM2) (Bouhajja et al., 2018; Takagi et al., 2013; Terashi et al., 2011). Sin embargo, muchos aspectos relativos al origen, la modulación y/o función de estos anticuerpos, permanecen sin esclarecer. Por lo anterior, el objetivo del presente artículo es presentar la evidencia generada respecto al papel de los anticuerpos contra las hormonas reguladoras de la ingesta en la regulación del metabolismo y el comportamiento alimentario, así como brindar perspectivas en torno a esta fascinante línea de investigación emergente. Comprender los mecanismos moleculares e inmunológicos implicados en el metabolismo y el comportamiento alimentario es de suma relevancia, dado que están fisiopatológicamente implicados en el desarrollo de las principales enfermedades que aquejan a la población mundial, incluyendo la obesidad, las enfermedades cardiovasculares y la DM2.

Eje microbiota-intestino-cerebro en la regulación de la ingesta y el comportamiento alimentario

Existe una comunicación recíproca y constante entre el sistema nervioso central, el tracto gastrointestinal, la microbiota intestinal, el tejido adiposo (TA) y nuestro sistema inmune para la regulación del metabolismo y el comportamiento alimentario (Smitka et al., 2021). Esta compleja red, denominada como el “eje microbiota-intestino-cerebro” incluye a múltiples hormonas y péptidos que son secretados a nivel central y en tejidos periféricos. Por ejemplo, en el estómago y el tracto intestinal se producen hormonas anorexigénicas como grelina, colecistoquinina (CCK) y péptido YY (PYY); en el tejido adiposo se secretan adipocitocinas como leptina, adiponectina y resistina, mientras que en el hipotálamo se producen otros mediadores incluidos el neuropéptido Y (NPY), péptido relacionado con Agouti (AgRP) y pro-opiomelanocortina (POMC). Las neuronas hipotalámicas integran estas señales hormonales para la regulación del hambre, la saciedad y el metabolismo y se proyectan hacia los circuitos de recompensa del área mesolímbica, por lo que también inciden en procesos alimentarios complejos como la recompensa, la adicción y la elección impulsiva de alimentos (Torres-Fuentes et al., 2017).

Por su parte, la microbiota intestinal también se ha reconocido como un regulador importante del metabolismo y el apetito (van de Wouw et al., 2017). Esta se compone por trillones de microorganismos (virus, bacterias, arqueas, protozoos) que habitan en el tracto gastrointestinal y a su vez, secretan múltiples metabolitos (incluidos ácidos grasos de cadena corta como el butirato) y neurotransmisores (como serotonina y dopamina) que inciden en las conductas alimentarias del hospedero. Los metabolitos microbianos ejercen sus efectos fisiológicos por tres mecanismos principales: 1) interacción directa con receptores en las células enteroendócrinas del intestino; 2) interacción con las neuronas entéricas del nervio vago; 3) translocación a la circulación y señalización en el hipotálamo (van de Wouw et al., 2017).

Un metabolito importante es el butirato; este se genera por la fermentación microbiana de la fibra dietética y posee diversas funciones metabólicas e inmunológicas, como la producción de las hormonas anorexigénicas PYY y GLP-1, que favorecen la saciedad y la sensibilidad a la insulina (Fu et al., 2019). Por otro lado, la bacteria *E. coli* produce una proteína pequeña llamada ClpB la cual tiene similitud elevada con la hormona anorexigénica α -MSH y los niveles elevados de este péptido bacteriano se han asociado con trastornos alimentarios y reducción en la ingesta de alimentos en modelos animales (Dominique et al., 2021). Además, se han identificado alteraciones en la composición de la microbiota intestinal en pacientes con obesidad, anorexia nerviosa y formas severas de desnutrición (Gomes et al., 2018), evidenciando el papel de la microbiota y específicamente, de los metabolitos microbianos sobre la regulación del metabolismo y la ingesta alimentaria del hospedero.

Otro mecanismo por el que la microbiota incide en

la regulación del apetito del hospedero, es a través de su interacción con el sistema inmunológico. Dado que la microbiota es una fuente de múltiples antígenos bacterianos que presentan similitud u homología de secuencia con algunos péptidos y hormonas propias del hospedero, se pueden provocar reacciones cruzadas del sistema inmune e inducir la producción de anticuerpos que reconocen tanto a las hormonas implicadas en la regulación del hambre y la saciedad, como a las proteínas bacterianas (Fetissov, Hamze Sinno, Coquerel et al., 2008). En el siguiente apartado, se presenta la información generada respecto a estos anticuerpos dirigidos contra las hormonas de la ingesta alimentaria; desde su descubrimiento hasta las implicaciones fisiológicas en contextos de salud y enfermedad, haciendo un énfasis en los anticuerpos contra grelina y leptina, los cuales han sido mayormente implicados en la regulación del metabolismo y el comportamiento alimentario.

Caracterización inicial de los anticuerpos contra las hormonas de la ingesta alimentaria

El primer estudio en el que se identificaron los anticuerpos dirigidos contra neuropéptidos y hormonas reguladoras del hambre-saciedad fue el realizado por el grupo de Fetissov en 2002 (Fetissov et al., 2002). En esta investigación se detectó la presencia de anticuerpos contra la hormona estimulante de melanocitos alfa (α -MSH), la hormona adrenocorticotropica (ACTH) y la hormona liberadora de gonadotropina (LHRH) en pacientes con trastornos alimentarios, particularmente anorexia nervosa y bulimia. Posteriormente, en un estudio de seguimiento realizado en 2005 por el mismo grupo de investigación, se reportó que las anomalías psico-conductuales centrales, características de los trastornos alimentarios, se correlacionaban con los niveles de anticuerpos contra α -MSH, sugiriendo que en ambos trastornos alimentarios (AN y BN), las disfunciones mediadas por dichos anticuerpos pueden contribuir a su etiopatología, principalmente por la alteración del sistema de melanocortina (Fetissov et al., 2005).

Hasta ese momento, la identificación de estos anticuerpos había sido en un contexto patológico y se desconocía sobre su papel en el contexto fisiológico. Fue en 2008, que el grupo de Fetissov y colaboradores reportó la presencia de estos autoanticuerpos en sujetos sanos, dirigidos contra 14 neuropéptidos u hormonas involucradas en la regulación de la ingesta alimentaria incluyendo: leptina, grelina, insulina, PYY, neuropéptido Y (NPY), AgRP, galanina, orexina A, hormona concentradora de melanina (MCH), α -MSH, ACTH, hormona liberadora de adrenocorticotropina (CRH), oxitocina y vasopresina (Fetissov, Hamze Sinno, Coquerel et al., 2008). Con este estudio, se demostró que la presencia de anticuerpos contra péptidos reguladores de las clases IgG (encontrados principalmente en circulación) e IgA (encontrados en secreciones de mucosas), no se restringe solo a condiciones patológicas, sino que pueden desempeñar un papel importante a nivel fisiológico, a través de la modulación de la estabilidad y actividad de las hormonas al unirse a ellas y actuar

como “acarreadores” o “transportadores”.

En la Tabla 1, se muestran los principales hallazgos sobre anticuerpos contra hormonas reguladoras de la ingesta, tanto en el contexto de salud como en enfermedades vinculadas a la alimentación, incluidas obesidad, DM2, anorexia nerviosa, bulimia nerviosa, entre otras.

Origen biológico de los anticuerpos contra hormonas de la ingesta alimentaria

Nuestro sistema inmune es capaz de reconocer y montar respuestas inmunes efectoras contra antígenos extraños provenientes de microorganismos, toxinas o agentes externos, mientras que debe mantener tolerancia inmunológica hacia los antígenos y proteínas propias con el objetivo de evitar el desarrollo de enfermedades autoinmunes (Theofilopoulos et al., 2017). Este fino balance inmunológico de reactividad o tolerancia es mediado por mecanismos complejos a nivel central (que ocurren en timo y médula ósea en la etapa pre-natal) y a nivel periférico (mediados principalmente por células T reguladoras, en etapa post-natal) cuyo funcionamiento mantiene a las células T y B auto-reactivas bajo control (Pan et al., 2008).

Los anticuerpos son glucoproteínas producidas por las células plasmáticas (linfocitos B diferenciados) que se encuentran de forma soluble en circulación, en mucosas y secreciones, o bien, anclados a la membrana de la célula B en la que funcionan como su receptor (Brink, 2014). Estructuralmente, se conforman por dos cadenas pesadas y dos cadenas ligeras de menor tamaño, que a su vez constituyen a las dos partes esenciales del anticuerpo: una fracción constante (Fc) y un fragmento de unión al antígeno (Fab), el cual es altamente variable y confiere la especificidad y afinidad (una medida de la fuerza de unión) hacia el antígeno. Por otro lado, los autoanticuerpos tienen la misma estructura general, pero tienen la particularidad de que su región Fab reconoce a proteínas o antígenos propios, por lo que su producción alterada conlleva al desarrollo de enfermedades autoinmunes (Young y Brink, 2020).

Considerando los mecanismos tan sofisticados para garantizar la tolerancia inmunológica hacia lo propio, la presencia de autoanticuerpos que reconocen a neuropéptidos y hormonas propias en sujetos sanos y sin una enfermedad autoinmune resulta intrigante. Sin embargo, el “mimetismo molecular” es un mecanismo probable que explica la producción y origen de estos anticuerpos. Este proceso se refiere a la presencia de secuencias de aminoácidos idénticos entre una proteína propia y una proteína extraña (proveniente, por ejemplo de microorganismos o del ambiente), lo cual genera la producción de anticuerpos con reactividad cruzada hacia el antígeno propio y el extraño (Mondino et al., 2020).

Fetissov y colaboradores (2008) evaluaron el mimetismo molecular entre péptidos reguladores de la ingesta y proteínas provenientes de bacterias; realizaron análisis bioinformáticos en los que se alinearon las secuencias de aminoácidos de 14 neuropéptidos del hambre-saciedad y se compararon contra las secuencias de diferentes microorganismos obtenidas de las bases

de datos del Centro Nacional de Biotecnología e Información (NCBI, por sus siglas en inglés). Se encontró que los 14 neuropéptidos mostraron mimetismo con diferentes tipos de bacterias, virus, hongos y arqueas, incluyendo microorganismos comensales, patógenos intestinales e incluso microorganismos encontrados en el medio ambiente. Se destacó que, en su mayoría, los péptidos reguladores mostraron mimetismo con diferentes organismos comensales o microorganismos potencialmente patógenos. Por ejemplo, se encontró mimetismo entre porciones de la proteína leptina con proteínas de especies como *Lactococcus lactis*, *Escherichia coli*, bacteriófagos de *Lactobacillus*, *Yarrowia lipolytica*, y con los géneros *Candida* y *Aspergillus*. Puesto que diferentes bacterias y virus comensales como *Lactobacillus* y sus fagos, bacteroides y cepas comensales de *E. coli*, mostraron mimetismo con algunos de los péptidos más relevantes en la regulación del apetito y la conducta alimentaria incluida la leptina, grelina, PYY, NPY, AgRP, orexina, α -MSH, ACTH, oxitocina, o vasopresina e insulina, se sugiere entonces que los organismos comensales que conforman a la microbiota intestinal podrían desencadenar la producción de diferentes anticuerpos reactivos y que eventualmente, bajo condiciones normales, todos los péptidos reguladores del apetito presentan este punto de control inmunológico asociado a la microbiota (Fetissov, Hamze Sinno, Coquerel et al., 2008).

Es importante considerar que los factores que afectan a nuestra microbiota intestinal, como lo son el tipo de dieta, el ayuno, el tratamiento con antibióticos o antifúngicos, la presencia de infecciones gastrointestinales, condiciones de estrés, entre otros (van de Wouw et al., 2017), pudieran desencadenar cambios en la producción y/o afinidad de estos anticuerpos, modulando a su vez, las funciones biológicas efectuadas por las hormonas o neuropéptidos reguladores de la ingesta y el comportamiento alimentario; sin embargo, son necesarios más estudios para evidenciar cómo las modificaciones en la composición o función de la microbiota intestinal impactan en la producción de estos anticuerpos.

Leptina y grelina: dos hormonas clave en la obesidad y la DM2

La obesidad es considerada uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial, no solo por el incremento en su incidencia en las últimas tres décadas, sino por su estrecha asociación con el desarrollo de otras patologías como hipertensión, diabetes mellitus tipo 2, dislipidemias, hígado graso, eventos cardiovasculares y algunos tipos de cánceres (Obradovic et al., 2021). Esta condición se caracteriza por la acumulación de grasa anormal y excesiva, derivada de la interacción entre factores ambientales y socioculturales, así como genéticos y neuroendocrinos (Jastreboff et al., 2019).

Las hormonas grelina y leptina son mediadores clave en la regulación de la ingesta de alimentos y el peso corporal, puesto que brindan las señales de hambre y saciedad a nivel del hipotálamo, respectivamente (Espinoza García et al., 2021). Se ha reportado que la obesidad se caracteriza por menor secreción y niveles

plasmáticos de grelina, así como producción elevada de leptina (conocida como hiperleptinemia) (Izquierdo et al., 2019). De forma interesante, tanto en la obesidad como en la DM2, se han evidenciado los fenómenos de resistencia a la leptina y a la grelina, los cuales se caracterizan por una respuesta fisiológica deficiente de los individuos hacia dichas hormonas (Cui et al., 2017).

La leptina es una adipocitocina formada por 167 aminoácidos producida mayormente por el tejido adiposo blanco. Es una de las hormonas más relevantes del eje neuroendocrino, ya que regula el apetito, el peso corporal y el metabolismo al estimular la producción de factores anorexigénicos a través de las neuronas POMC, así como la inhibición de factores orexigénicos como el NPY y las neuronas de AgRP en el núcleo arcuato del hipotálamo (Izquierdo et al., 2019).

Por su parte, la grelina, es un neuropéptido orexigénico conformado por 28 aminoácidos producido principalmente por las células P/D1 de la mucosa gástrica del estómago (Koutouratsas et al., 2019; Smitka et al., 2021). Esta hormona, además de ser reconocida como el ligando natural del receptor secretagogo de la hormona de crecimiento (GHS-R), es uno de los principales factores estimulantes de la ingesta de alimentos, la regulación de la adiposidad y el metabolismo (Nakazato et al., 2001). Una de las maneras en las que la grelina regula el apetito y el peso corporal, es a través de la estimulación de las neuronas del NPY, AgRP y orexina, y la inhibición de las neuronas POMC en el núcleo arcuato del hipotálamo (Cui et al., 2017; Klok et al., 2007). La grelina ejerce sus funciones biológicas tras el proceso de acilación, catalizado por la enzima O-aciltransferasa. Puesto que la forma acilada y activa de la grelina es inestable en la circulación, ésta se degrada a desacil-grelina (Cui et al., 2017). Por lo tanto, la conservación de la grelina acilada en la circulación es importante para realizar sus funciones como regulador del apetito y del equilibrio energético.

Varios mecanismos están involucrados en la regulación de la biodisponibilidad, la actividad y procesos de resistencia hacia ambas hormonas, dentro de los cuales, la identificación reciente de anticuerpos reactivos contra leptina y grelina representan un posible mecanismo regulador.

Anticuerpos contra leptina

La presencia natural de anticuerpos IgA e IgG contra leptina en mujeres sanas y en roedores sanos fue descrita en 2008 por el grupo de Fetissov y colaboradores. Sin embargo, fue hasta 2018, cuando se reporta la presencia de los anticuerpos contra leptina IgG tanto en adultos sanos (mujeres y hombres), como en pacientes con obesidad y/o DM2 (Bouhajja et al., 2018); se identificó que estos anticuerpos presentan una disminución en la afinidad hacia la hormona leptina en los pacientes con obesidad y DM2, en comparación con los sujetos sanos. Estos cambios en la afinidad se demostraron por el incremento en el valor de la constante de disociación (KD) de los anticuerpos. Además, los valores elevados de KD presentes en los pacientes con obesidad y DM2 se correlacionaron con algunos parámetros antropométricos y bioquímicos, como la

hiperleptinemia, el índice de masa corporal (IMC), la grasa corporal, los niveles de insulina y el índice de resistencia a la insulina HOMA-IR (por sus siglas en inglés, modelo homeostático de resistencia a la insulina) (Bouhajja et al., 2018). Estos hallazgos sugieren que la disminución en la afinidad de los anticuerpos anti-leptina detectada en los pacientes con obesidad o DM2, puede a su vez afectar la función transportadora de los anticuerpos y favorecer la pérdida de la actividad de la hormona.

A partir de esta evidencia inicial y las lagunas de conocimiento identificadas, en nuestro grupo de trabajo se han investigado a los anticuerpos anti-leptina en condiciones no exploradas previamente, incluida la obesidad infantil y juvenil, así como su relación con aspectos vinculados al comportamiento alimentario, incluidos los rasgos del apetito y los patrones disfuncionales de la ingesta de alimentos, los cuales se describen a continuación.

Los anticuerpos anti-leptina en población de niños y adolescentes con sobrepeso u obesidad en relación con parámetros de la composición corporal e índices de riesgo metabólico, fueron analizados por primera vez por nuestro grupo de trabajo (Vázquez-Solórzano et al., 2022). Dentro de los hallazgos más sobresalientes, se encontró que los niveles de anti-leptina mostraron un comportamiento diferencial entre niños y adolescentes: los niveles de anticuerpos fueron significativamente menores en el grupo de niños con sobrepeso y obesidad respecto al grupo con normopeso, mientras que, en la población de adolescentes, los grupos con obesidad y sobrepeso presentaron mayores niveles de anticuerpos con respecto al grupo con normopeso. Uno de los factores que puede explicar estas diferencias entre niños y adolescentes, es la condición de obesidad como inductor de la activación de las células B productoras de anticuerpos IgG. Se propone que la producción de citocinas proinflamatorias como IL-6, IL-1 β y TNF- α (características del estado inflamatorio de bajo grado asociado con la obesidad), aumenta de forma progresiva según la duración y la cronicidad de la obesidad (Khanna et al., 2022), siendo éstas un estímulo más potente en la población de adolescentes que induce mayor producción de anticuerpos.

Otra explicación sobre las diferencias en la producción de estos anticuerpos es la presencia de antígenos derivados de la microbiota intestinal que muestren mimetismo con la hormona leptina. Los estudios realizados por grupo de Stawerska (2015) mostraron que la prevalencia de los microorganismos *Helicobacter pylori* y *Candida albicans* en niños con baja estatura idiopática y niños sanos, se relaciona con el incremento en los niveles de anticuerpos IgG contra leptina (Stawerska et al., 2015). Puesto que la leptina presenta mimetismo con estos microorganismos, es razonable pensar que la presencia de dichos microorganismos pueda estimular la producción de anticuerpos IgG anti-leptina. Se encontraron también correlaciones entre los niveles de la hormona leptina con los anticuerpos IgG, presentándose de forma positiva en los adolescentes y negativa en los niños. Aunque se desconoce hasta qué punto la producción de la hormona influye en la

producción de los anticuerpos, se propone que, así como la producción de la hormona cambia durante las etapas de crecimiento (infancia, pubertad, adolescencia y adultez) también la producción de anticuerpos se vea afectada por estos cambios (Vázquez-Solórzano et al., 2022).

Otro resultado interesante de este estudio fue que se detectaron correlaciones negativas entre las puntuaciones de resistencia a la insulina HOMA-IR y los anticuerpos anti-leptina IgG tanto en niños como en adolescentes con peso normal (Vázquez-Solórzano et al., 2022), es decir que niveles incrementados de los anticuerpos anti-leptina se relacionan con una menor puntuación de índice HOMA-IR, lo que sugiere que en condiciones normales, los anticuerpos IgG anti-leptina actúan como factores protectores del desarrollo de resistencia a la insulina.

Por otro lado, en nuestro grupo de trabajo también se confirmó que los pacientes con obesidad y DM2 presentan menor cantidad de inmunocomplejos anti-leptina en comparación con pacientes con sobrepeso y DM2, lo que sugiere una reducción en la afinidad del anticuerpo hacia la hormona, de forma similar a lo reportado por Bouhajja y colaboradores (Bouhajja et al., 2018). Esto podría representar un nuevo mecanismo inmunológico vinculado a la resistencia a la leptina, dado que una reducción en la formación de inmunocomplejos conlleva a una reducción en la estabilidad, transporte y funciones biológicas de la hormona.

En otro estudio realizado en jóvenes universitarios, se exploró la relación de los anticuerpos contra leptina con los rasgos del apetito, los cuales son definidos como características conductuales que orientan sobre cómo un individuo come y que por ende, pueden afectar su peso corporal (Espinoza-García et al., 2022). Estos rasgos se evaluaron con un instrumento psicométrico validado que incluye tanto a rasgos pro-ingestión (disfrute de los alimentos, sobre-alimentación emocional y respuesta a los alimentos) así como a rasgos anti-ingestión (selectividad hacia los alimentos, lentitud al comer, sub-alimentación emocional y respuesta a la saciedad (AEBQ, por sus siglas en inglés) (Hunot-Alexander et al., 2021)). Se encontró que los hombres con un puntaje alto para el rasgo subalimentación emocional, el cual mide las tendencias a comer deficientemente en estados emocionales negativos, presentaron niveles significativamente más altos en la fracción libre de los anticuerpos anti-leptina con respecto a los hombres con puntaje bajo para este rasgo (Espinoza-García et al., 2022). Por lo que se evidencia el papel de estos anticuerpos en el complejo eje de regulación del comportamiento alimentario y particularmente, los rasgos del apetito, al actuar como transportadores y mediadores de las funciones biológicas de dichas hormonas.

Considerando todos estos hallazgos, los anticuerpos IgG contra leptina pueden verse afectados por factores como la edad, la adiposidad y la presencia de microorganismos que presenten mimetismo con la hormona. Además, al actuar como protectores y transportadores de la leptina que favorecen su señalización en hipotálamo, se evidencia que pueden modular sus funciones biológicas, incluyendo el

comportamiento alimentario de los individuos (Figura 1).

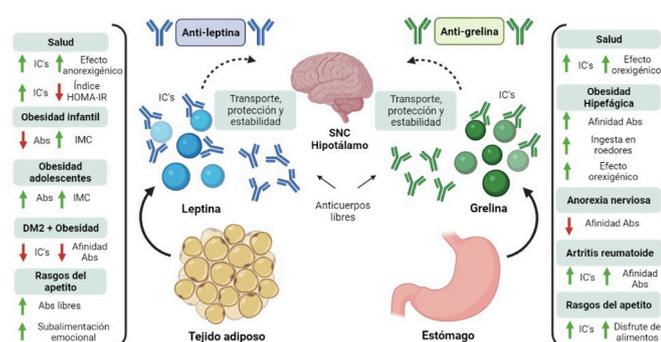


Figura 1. Papel de los anticuerpos anti-grelina y anti-leptina en contextos de salud, enfermedad y comportamiento alimentario. Se muestran las principales funciones de los anticuerpos contra grelina y contra leptina en condiciones de salud, enfermedades relacionadas con la alimentación (obesidad, diabetes mellitus tipo 2 y trastornos alimentarios), así como su relación con rasgos del apetito vinculados al comportamiento alimentario. Abreviaciones: Abs, anticuerpos; IC's, inmunocomplejos; IMC, índice de masa corporal; HOMA-IR, modelo homeostático de resistencia a la insulina; SNC, sistema nervioso central.

Anticuerpos contra grelina

Estos anticuerpos son relevantes dado que parecen jugar un papel en los episodios de sobrealimentación vinculados con la obesidad. En el estudio realizado por Takagi et al. (2013), se analizó el eje de la grelina y los anticuerpos contra grelina en individuos con obesidad hiperfágica, anorexia nerviosa restrictiva y sujetos control. Si bien los niveles de grelina fueron similares entre sujetos con obesidad y controles, se demostró que los sujetos con obesidad presentaban anticuerpos anti-grelina con una mayor afinidad hacia la hormona en comparación al grupo con AN y controles. De forma interesante, al purificar estos anticuerpos e inyectarlos de forma intra-peritoneal a roedores en combinación con la hormona grelina, los animales incrementaron el consumo de alimento de forma aguda, mientras que a largo plazo mostraron mayor ganancia de peso en comparación con los ratones que recibían solo la inyección de la hormona o los anticuerpos provenientes de sujetos control. De forma similar, se encontró un incremento en la afinidad de los anticuerpos IgG contra grelina en modelos animales de obesidad que incluyeron ratones *ob / ob* (Takagi et al., 2013) y ratas Zucker (Lucas et al., 2017). Esto indica que el incremento de afinidad del anticuerpo hacia la grelina detectado en pacientes con obesidad, genera un efecto orexigénico más potente, que a su vez induce el aumento de apetito y la sobrealimentación.

Además, en ensayos *in vitro* se demostró que estos anticuerpos provenientes de sujetos con obesidad, tienen mayor capacidad para proteger de la degradación a la hormona grelina (Takagi et al., 2013). Considerando que la vida media de los péptidos reguladores es relativamente corta en la circulación, la identificación de estos anticuerpos representa un mecanismo potencial de regulación a largo plazo, dado que la vida media de un anticuerpo del isotipo IgG es en promedio de 25 a 30

días (Young y Brink, 2020).

En otra investigación realizada por nuestro grupo de trabajo, detectamos diferencias significativas en las fracciones libres de los anticuerpos IgG contra grelina al comparar con base en el sexo, siendo mayores en mujeres con respecto a hombres jóvenes (Espinoza-García et al., 2022). De forma interesante, los inmunocomplejos contra grelina mostraron una correlación positiva con el índice cintura-cadera y al analizar la relación entre éstos con los rasgos del apetito, se encontró que las mujeres con un puntaje alto para el rasgo “disfrute de los alimentos” también presentaron niveles significativamente más altos de inmunocomplejos anti-grelina en comparación con el grupo con bajo puntaje. Dicho rasgo mide el nivel subjetivo de placer derivado de la alimentación, por lo que, considerando el papel de la grelina en la alimentación hedónica, la memoria y las vías de recompensa tras la alimentación (Hsu et al., 2016), es razonable considerar que una mayor afinidad del anticuerpo hacia la hormona (evidenciado por mayores inmunocomplejos) promueve sus señales orexigénicas y sus efectos hedónicos, los cuales están estrechamente vinculados a ese rasgo apetitivo (disfrute de los alimentos).

Estos resultados muestran que los anticuerpos anti-grelina desempeñan un papel importante en la regulación del comportamiento alimentario al potenciar las señales orexigénicas de la grelina, y también inciden en aspectos hedónicos, como la modulación de la conducta alimentaria a través de los rasgos apetitivos (Figura 1).

Conclusiones y perspectivas de investigación

El estudio de los anticuerpos contra las hormonas reguladoras del hambre-saciedad representa un área de suma importancia en la investigación, dado que sus funciones inciden en la regulación del metabolismo, el comportamiento alimentario y en el desarrollo de múltiples enfermedades vinculadas a la alimentación con alta prevalencia a nivel mundial, incluidas la obesidad, la DM2 y trastornos alimentarios como la anorexia o la bulimia nerviosa.

Las investigaciones actuales sobre estos autoanticuerpos evidencian una estrecha relación entre el eje hormonal de regulación del hambre-saciedad, la microbiota intestinal y el sistema inmunológico; sin embargo, aún quedan por investigarse múltiples aspectos en torno a su origen, su modulación por factores ambientales como la dieta y su impacto en la salud o enfermedades específicas. Dado que el origen más aceptado de estos anticuerpos está vinculado con la microbiota intestinal y considerando los avances constantes en metagenómica, análisis de secuencias y de péptidos microbianos en condiciones de salud y enfermedad, será importante identificar nuevos péptidos y metabolitos miméticos con estas hormonas, así como evaluar el impacto de distintos tipos de dietas sobre la producción y/o afinidad de estos anticuerpos.

La comprensión de los factores ambientales y los mecanismos moleculares que modulan a estos autoanticuerpos es relevante para poder diseñar estrategias de intervención o modulación terapéutica en dichas enfermedades. Además, considerando el papel

Tabla 1. Cambios en los niveles de autoanticuerpos contra hormonas reguladoras del hambre-saciedad en el contexto de salud y enfermedades relacionadas con la alimentación.

Participantes (humanos/animales)	Autoantígeno (hormona) estudiada	Hallazgos en los autoanticuerpos	Conclusiones del estudio	Referencia
Anorexia nerviosa Bulimia nerviosa Sujetos sanos	α -MSH, ACTH, Oxitocina (OT), Vasopresina (VP)	En anorexia nerviosa: \uparrow IgG anti-VP y \downarrow IgG anti-OT \uparrow IgM anti- α -MSH, anti-OT, anti-VP	Los autoanticuerpos contra estos neuropeptidos representan un mecanismo neuroinmunoendócrino que puede beneficiar al control homeostático. El bloqueo de receptores de α -MSH por los inmunocomplejos IgG/ α -MSH puede interferir con el sistema de melanocortina provocando alteraciones en el control del apetito.	(Fetissov et al., 2005)
Sujetos sanos	Leptina, Insulina, PYY, Grelina, NPY, AgRP, Galanina, Orexina A, MCH, α -MSH, ACTH, CRH, Oxitocina, Vasopresina	Presencia de anticuerpos IgA e IgG contra todas las hormonas en todos los sujetos sanos	La presencia de autoanticuerpos de clase IgA e IgG en sujetos sanos sugiere un papel fisiológico. La presencia de IgA sugiere que su producción puede estar desencadenada por antígenos relacionados con los alimentos y la microbiota intestinal. Se propone su origen por el fenómeno de mimetismo molecular	(Fetissov et al., 2008)
Anorexia nerviosa Sujetos sanos	Grelina, Desacil-grelina	En anorexia nerviosa: \downarrow IgA anti-grelina \downarrow IgM anti-grelina \uparrow Grelina y desacil-grelina	La producción de autoanticuerpos se ve afectada por la menor ingesta asociada a la AN. La restricción calórica se asocia con la activación de enzimas de desacilación, lo que podría inducir resistencia a la grelina por la neutralización de la hormona. La reducción de anticuerpos anti-grelina en AN pueden causar un déficit en el transporte de la hormona y disminuir sus efectos biológicos.	(Terashi et al., 2011)
Obesidad hiperfágica Anorexia nerviosa Sujetos sanos Ratas Sprague-Dawley	Grelina, desacil-grelina	IgG anti-grelina sin diferencias entre grupos \uparrow Grelina en plasma de pacientes con anorexia nerviosa En obesidad hiperfágica: \uparrow Afinidad IgG anti-grelina \uparrow Consumo alimentario en ratas por inyección intraperitoneal de grelina + IgG humanas.	Las IgG pueden actuar como transportadores del péptido y potenciar la bioactividad de la grelina. En obesidad, las IgG+grelina pueden contribuir al aumento del apetito mediado por la hormona. La diferencia en la afinidad de las IgG, puede ser la responsable del aumento de la actividad orexigénica de la grelina.	(Takagi et al., 2013)
Obesidad Obesidad + DM2 Normopeso + DM2 Controles sanos	Leptina	En obesidad + DM2: \uparrow Leptina sérica \downarrow Afinidad de IgG anti-leptina Correlación negativa de IgG anti-leptina con CCi Correlación positiva IgG anti-leptina con HbA1c La afinidad de IgG anti-leptina se correlaciona positivamente con: leptina en plasma, IMC, grasa corporal, insulina e índice HOMA-IR.	Evidencia el papel de las proteínas de unión a la leptina en el fenómeno de resistencia a la leptina en sujetos con obesidad Los autoanticuerpos funcionan como proteínas transportadoras de leptina en humanos. Papel protector de los autoanticuerpos, promueven los efectos de la leptina. La cinética de afinidad puede representar un nuevo biomarcador de cambios en la biodisponibilidad de la leptina. Las IgG pueden bloquear o exponer diferentes partes de la leptina necesarias para la unión y activación de su receptor.	(Bouhajja et al., 2018)
Obesidad hiperfágica Anorexia nerviosa Bulimia nerviosa Trastorno por atracón Controles sanos Ratas Sprague-Dawley	α -MSH	\downarrow Ka y Kd IgG anti- α -MSH en obesidad \uparrow Kd IgG anti- α -MSH en AN, BN y trastorno por atracón \uparrow IgG anti- α -MSH en obesidad, AN y BN \downarrow Consumo alimentario en ratas después de inyección de α -MSH humana.	La IgG funciona como protectora debido a la rápida degradación de α -MSH en el torrente sanguíneo. La reducción de Kd en sujetos con obesidad contribuye a la hiperfagia y al balance de energía positivo.	(Lucas et al., 2019)
Sujetos sanos	Grelina leptina	\uparrow IgG anti-grelina en mujeres vs. hombres Correlación positiva de ICs anti-grelina y anti-leptina con CCi. Correlaciones diferenciales por sexo, con los parámetros antropométricos Rasgos del apetito: En mujeres: \uparrow inmunocomplejos IgG anti-grelina en el grupo con puntaje alto de desinhibición alimentaria En hombres: \uparrow inmunocomplejos anti-leptina en el grupo con puntaje bajo de subalimentación emocional.	Posible influencia de los autoanticuerpos en los rasgos del apetito y el peso corporal. Los niveles de IgG anti-grelina pueden ser afectados por las diferencias en la calidad de la dieta entre ambos sexos. La reducción de afinidad de los IgG por la grelina puede afectar las señales orexigénicas y los efectos hedónicos de la grelina	(Espinoza García et al., 2021)

PYY: péptido YY; NPY: neuropeptido Y; AgRP: proteína relacionada a agouti; MCH: hormona concentradora de melanina; α -MSH: hormona estimulante de melanocitos alfa; ACTH: hormona adrenocorticotropa; CRH: hormona liberadora de hormona adrenocorticotropa; OT: oxitocina; VP: vasopresina; IgA: inmunoglobulina A; IgG: inmunoglobulina G; IgM: inmunoglobulina M; AN: anorexia nerviosa; BN: bulimia nerviosa; DM2: diabetes mellitus tipo 2; Ka: constante de asociación; Kd: constante de disociación; KD: equilibrio de constante de disociación.

emergente de este sistema de anticuerpos en el comportamiento alimentario y el metabolismo, será importante evaluar su potencial como biomarcadores de riesgo cardiovascular o de diagnóstico para las enfermedades asociadas, como los trastornos alimentarios y la DM2.

Referencias

- Bouhajja, H., Bougacha-Elleuch, N., Lucas, N., Legrand, R., Marrakchi, R., Kaveri, S. V., Jamoussi, K., Ayadi, H., Abid, M., Mnif-Feki, M., y Fetissov, S. O. (2018). Affinity kinetics of leptin-reactive immunoglobulins are associated with plasma leptin and markers of obesity and diabetes. *Nutrition and Diabetes*, 8(1), 0–4. <https://doi.org/10.1038/s41387-018-0044-y>
- Brink, R. (2014). The imperfect control of self-reactive germinal center B cells. *Current Opinion in Immunology*, 28(1), 97–101. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2014.03.001>
- Cui, H., López, M., y Rahmouni, K. (2017). The cellular and molecular bases of leptin and ghrelin resistance in obesity. *Nature Reviews Endocrinology*, 13(6), 338–351. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2016.222>
- Dominique, M., Lucas, N., Legrand, R., Bouleté, I. M., Bôle-Feysot, C., Deroissart, C., Léon, F., Nobis, S., Do Rego, J. C., Lambert, G., y Déchelotte, P. (2021). Effects of bacterial clpB protein fragments on food intake and PYY secretion. *Nutrients*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/nu13072223>
- Espinoza-García, A. S., Hunot-Alexander, C., Martínez-Moreno, A. G., Vázquez-Solorzano, R., Porchas-Quijada, M., y Reyes-Castillo, Z. (2022). IgG antibodies reacting with ghrelin and leptin are correlated with body composition and appetitive traits in young subjects. *Appetite*, 168, 105685. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105685>
- Espinoza García, A. S., Martínez Moreno, A. G., y Reyes Castillo, Z. (2021). Papel de la grelina y la leptina en el comportamiento alimentario: evidencias genéticas y moleculares. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*, 68(9), 10. <https://doi.org/10.1016/j.endinu.2020.10.011>
- Fetissov, S. O., Hallman, J., Orelund, L., Klinteberg, B. af, Grenbäck, E., Hulting, A. L., y Hökfelt, T. (2002). Autoantibodies against α -MSH, ACTH, and LHRH in anorexia and bulimia nervosa patients. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(26), 17155–17160. <https://doi.org/10.1073/pnas.222658699>
- Fetissov, S. O., Hamze Sinno, M., Coëffier, M., Bole-Feysot, C., Ducrotté, P., Hökfelt, T., y Déchelotte, P. (2008). Autoantibodies against appetite-regulating peptide hormones and neuropeptides: Putative modulation by gut microflora. *Nutrition*, 24(4), 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2007.12.006>
- Fetissov, S. O., Hamze Sinno, M., Coquerel, Q., Do Rego, J. C., Coëffier, M., Gilbert, D., Hökfelt, T., y Déchelotte, P. (2008). Emerging role of autoantibodies against appetite-regulating neuropeptides in eating disorders. *Nutrition*, 24(9), 854–859. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2008.06.021>
- Fetissov, S. O., Harro, J., Jaanisk, M., Järv, A., Podar, I., Allik, J., Nilsson, I., Sakthivel, P., Lefvert, A. K., y Hökfelt, T. (2005). Autoantibodies against neuropeptides are associated with psychological traits in eating disorders. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(41), 14865–14870. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507204102>
- Fu, X., Liu, Z., Zhu, C., Mou, H., y Kong, Q. (2019). Nondigestible carbohydrates, butyrate, and butyrate-producing bacteria. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, S130–S152. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1542587>
- Gomes, A. C., Hoffmann, C., y Mota, J. F. (2018). The human gut microbiota: Metabolism and perspective in obesity. *Gut Microbes*, 9(4), 308–325. <https://doi.org/10.1080/19490976.2018.1465157>
- Hao, S., Yang, Y., Helmy, M., y Wang, H. (2020). Neural regulation of feeding behavior. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1284, 23–33. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7086-5_3
- Hernández Ruiz de Eguilaz, M., Martínez de Morentin Aldabe, B., Almirón-Roig, E., Pérez-Diez, S., San Cristóbal Blanco, R., Navas-Carretero, S., y Martínez, J. A. (2018). Influencia multisensorial sobre la conducta alimentaria: ingesta hedónica. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*, 65(2), 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.endinu.2017.09.008>
- Hsu, T. M., Suarez, A. N., y Kanoski, S. E. (2016). Ghrelin: A link between memory and ingestive behavior. *Physiology & Behavior*, 162, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.03.039>
- Hunot-Alexander, C., Arellano-Gómez, L. P., Smith, A. D., Kaufer-Horwitz, M., Vázquez-Garibay, E. M., Romero-Velarde, E., Fildes, A., Croker, H., Llewellyn, C. H., y Beeken, R. J. (2021). Examining the validity and consistency of the Adult Eating Behaviour Questionnaire-Español (AEBQ-Esp) and its relationship to BMI in a Mexican population. *Eating and Weight Disorders - Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*. <https://doi.org/10.1007/s40519-021-01201-9>
- Izquierdo, A. G., Crujeiras, A. B., Casanueva, F. F., y Carreira, M. C. (2019). Leptin, obesity, and leptin resistance: where are we 25 years later? *Nutrients*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/nu11112704>
- Jastreboff, A. M., Kotz, C. M., Kahan, S., Kelly, A. S., & Heymsfield, S. B. (2019). Obesity as a disease: the obesity society 2018 position statement. *Obesity*, 27(1), 7–9. <https://doi.org/10.1002/oby.22378>
- Khanna, D., Khanna, S., Khanna, P., Kahar, P., y Patel, B. M. (2022). Obesity: A chronic low-grade inflammation and its markers. *Cureus*, 14(2). <https://doi.org/10.7759/cureus.22711>
- Klok, M. D., Jakobsdottir, S., y Drent, M. L. (2007). The role of leptin and ghrelin in the regulation of food intake and body weight in humans: A review. *Obesity Reviews*, 8(1), 21–34. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2006.00270.x>
- Koutouratsas, T., Kalli, T., Karamanolis, G., y Gazouli, M. (2019). Contribution of ghrelin to functional gastrointestinal disorders' pathogenesis. *World Journal of Gastroenterology*, 25(5), 539–551. <https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i5.539>
- Lucas, N., Legrand, R., Breton, J., Déchelotte, P., y Fetissov, S. O. (2017). Increased affinity of ghrelin-reactive immunoglobulins in obese Zucker rats. *Nutrition*, 39–40, 98–99. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.11.007>
- Mondino, S., Schmidt, S., y Buchrieser, C. (2020). Molecular mimicry: a paradigm of host-microbe coevolution illustrated by Legionella. *MBio*, 11(5), 1–19. <https://doi.org/10.1128/mBio.01201-20>
- Nakazato, M., Murakami, N., Date, Y., Kojima, M., Matsuo, H., Kangawa, K., y Matsukura, S. (2001). A role for ghrelin in the central regulation of feeding. *Nature*, 409(6817), 194–198. <https://doi.org/10.1038/35051587>
- Obradovic, M., Sudar-Milovanovic, E., Soskic, S., Essack, M., Arya, S., Stewart, A. J., Gojobori, T., y Isenovic, E. R. (2021). Leptin and obesity: role and clinical implication. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.681711>

fendo.2021.585887

- Pan, P. Y., Ozao, J., Zhou, Z., y Chen, S. H. (2008). Advancements in immune tolerance. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 60(2), 91–105. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2007.08.025>
- Smitka, K., Prochazkova, P., Roubalova, R., Dvorak, J., Papezova, H., Hill, M., Pokorny, J., Kittnar, O., Bilej, M., y Tlaskalova-Hogenova, H. (2021). Current aspects of the role of autoantibodies directed against appetite-regulating hormones and the gut microbiome in eating disorders. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 293. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.613983>
- Stawerska, R., Czkwianianc, E., Matusiak, A., Smyczynska, J., Hilczer, M., Chmiela, M., y Lewiński, A. (2015). Prevalence of autoantibodies against some selected growth and appetite-regulating neuropeptides in serum of short children exposed to *Candida albicans* colonization and/or *Helicobacter pylori* infection: The molecular mimicry phenomenon. *Neuroendocrinology Letters*, 36(5), 458–464.
- Takagi, K., Legrand, R., Asakawa, A., Amitani, H., François, M., Tennoune, N., Coëffier, M., Claeysens, S., Do Rego, J. C., Déchelotte, P., Inui, A., y Fetissov, S. O. (2013). Anti-ghrelin immunoglobulins modulate ghrelin stability and its orexigenic effect in obese mice and humans. *Nature Communications*, 4. <https://doi.org/10.1038/ncomms3685>
- Terashi, M., Asakawa, A., Harada, T., Ushikai, M., Coquerel, Q., Sinno, M. H., Déchelotte, P., Inui, A., y Fetissov, S. O. (2011). Ghrelin reactive autoantibodies in restrictive anorexia nervosa. *Nutrition*, 27(4), 407–413. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.01.002>
- Theofilopoulos, A. N., Kono, D. H., y Baccala, R. (2017). The multiple pathways to autoimmunity. *Nature Immunology*, 18(7), 716–724. <https://doi.org/10.1038/ni.3731>
- Torres-Fuentes, C., Schellekens, H., Dinan, T. G., y Cryan, J. F. (2017). The microbiota–gut–brain axis in obesity. *The Lancet Gastroenterology and Hepatology*, 2(10), 747–756. [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(17\)30147-4](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(17)30147-4)
- van de Wouw, M., Schellekens, H., Dinan, T. G., y Cryan, J. F. (2017). Microbiota-gut-brain axis: Modulator of host metabolism and appetite. *Journal of Nutrition*, 147(5), 727–745. <https://doi.org/10.3945/jn.116.240481>
- Vázquez-Solórzano, R., Valdés-Miramontes, E., Porchas-Quijada, M., Enciso-Ramírez, M., Contreras-Mata, G. A., Martínez-Moreno, A. G., Barajas-García, L., Espinoza-García, A. S., y Reyes-Castillo, Z. (2022). Leptin-reactive antibodies are distinctly correlated with body composition parameters and metabolic risk indexes in children and adolescents. *Clinical and Experimental Immunology*, 208(2), 233–244. <https://doi.org/10.1093/cei/uxab001>
- Young, C., y Brink, R. (2020). Germinal centers and autoantibodies. *Immunology and Cell Biology*, 98(6), 480–489. <https://doi.org/10.1111/imcb.12321>

**Perspectiva**

Seguridad alimentaria: retos y desafíos de la acuicultura en México

Food security: challenges of aquaculture in Mexico

Darío García-Medel 
Dg Ciencia y Acuicultura

Recibido: 01-07-2022

Aceptado: 29-07-2022

Resumen

La población mundial continúa en aumento y ello implica que se incrementa también la demanda de alimentos, por lo que las tendencias mundiales se enfocan en desarrollar e implementar sistemas agroalimentarios que sean sumamente eficientes, sostenibles y cuyo impacto hacia el ambiente sea menor, como la acuicultura. En México, la acuicultura es el sector productivo que ha presentado la mayor tasa de crecimiento anual promedio (10.29%) en los últimos 10 años, a diferencia de la ganadería (2.6%) y la agricultura (1.4%). En el presente trabajo se busca contextualizar los principales factores que afectan al sector acuícola en México, así como poner de manifiesto los principales retos que enfrenta el sector en la búsqueda de su consolidación y con miras a alcanzar la seguridad alimentaria.

Palabras clave: seguridad alimentaria, acuicultura, nutrición

Abstract

The world population continues to increase and this implies that the demand for food is also increasing, which is why world trends focus on developing and implementing agri-food systems that are highly efficient, sustainable and whose impact on the environment is lower, such as aquaculture. In Mexico, aquaculture is the productive sector that has presented the highest average annual growth rate (10.29%) in the last 10 years, unlike livestock (2.6%) and agriculture (1.4%). This paper seeks to contextualize the main factors that affect the aquaculture sector in Mexico, as well as to highlight the main challenges faced by the sector in the search for its consolidation, towards the goal of achieving food security.

Keywords: food security, aquaculture, nutrition

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas reportó en 2022 una población mundial de 7.9 mil millones de habitantes y se estima que la población crezca a 8.5 y 9.7 mil millones de habitantes en el 2030 y 2050, respectivamente (UN-DESA, 2022), por lo cual, uno de los principales retos que enfrentarán los gobiernos de todos los países es incrementar la producción de alimentos para sustentar a dicha población en el futuro y lograr alcanzar la seguridad alimentaria o el “hambre cero”, uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas (UN, 2015). Es importante señalar que el incremento en la producción de alimentos se deberá realizar a través de la adopción de sistemas agroalimentarios más eficientes y sostenibles, buscando en todo momento emplear las mejores prácticas productivas disponibles y manteniendo la inocuidad y calidad de los productos a lo largo de toda la cadena productiva. El reto no solo consiste en producir más alimentos; estos deben, además, estar disponibles, asequibles y ser de muy buena calidad, para asegurar que la población esté consumiendo los nutrientes adecuados, suficientes y con la constancia necesaria para lograr garantizar un completo desarrollo físico y mental de una persona durante todas sus etapas de vida.

Cabe indicar que el camino hacia la seguridad alimentaria se encuentra enmarcado dentro de un contexto de degradación de ecosistemas (*e.g.*, cada minuto desaparece un área de bosque equivalente a 27 campos de fútbol), pérdida de biodiversidad (*e.g.*, las poblaciones de especies de vertebrados han disminuido un 68%) y cambio climático (*e.g.*, en 2021, diez países empataron o rompieron su récord de temperatura nacional más alto, destacando Furnace Creek, en E.E.U.U., que alcanzó los 54.4°C) (Almond et al., 2020; FAO, 2022; van der Zee, 2022). Bajo este panorama complicado y desolador, las naciones han puesto su mira en impulsar la producción de alimentos mediante la acuicultura, pero ¿a qué nos referimos cuando decimos acuicultura? ¿nos referimos solo a la cría de pescados y mariscos? La respuesta es no, la acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos, incluidos los peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas; es un sistema productivo que, además de ser altamente rentable, eficiente y sostenible, produce proteína animal de excelente calidad a muy bajo costo; representa la mejor opción para satisfacer la demanda de alimentos hacia el futuro y, además, es el sector de

producción de alimentos con mejor tasa de crecimiento anual (TCA) (Garlock et al., 2020) en las últimas tres décadas (1990-2020), consiguiendo un crecimiento anual promedio de 6.7% y alcanzando en 2020, 214 millones de toneladas (FAO, 2022). Ahora bien, dentro de este contexto mundial ¿Cómo se encuentra México? El presente trabajo pretende dar un panorama general de los retos y desafíos que presenta la acuicultura mexicana para su consolidación y ser un pilar fundamental en el camino por alcanzar la seguridad alimentaria y mejorar las condiciones de vida de las personas de nuestro país.

El caso de México

En el 2020, México registró una población de 126 mil millones de habitantes, de los cuales 55.7 millones de personas (*i.e.*, 43.9% de la población) presentan algún tipo de situación de pobreza (extrema o moderada) y 28.6 millones de personas (*i.e.*, 22.5%) presentan carencias por acceso a alimentación nutritiva y de calidad (CONEVAL, 2022).

Estimaciones realizadas por el Consejo Nacional de Población (2018) señalan que para 2030 y 2050, la población rondará los 138 y 148 mil millones de habitantes, es decir, 11 mil y 22 mil millones más respecto al 2020, pero la tasa de crecimiento poblacional disminuirá de 0.94% en 2020 a 0.62% y 0.1% para el 2030 y 2050 respectivamente. Satisfacer a una población en aumento, requerirá que los sistemas agroalimentarios mexicanos crezcan, además de hacerlo de forma sostenible, a un ritmo más acelerado de lo que han venido realizando en los últimos años, donde la acuicultura ha tenido un crecimiento muy importante en las últimas décadas, y lo podemos ver en la Tabla 1, donde se observa como la acuicultura presenta la mayor tasa de crecimiento anual de los sistemas agroalimentarios, pasando muy por encima de la agricultura y ganadería.

La acuicultura en México

La Carta Nacional Acuícola (2021) señala que en México se cultivan 21 especies, nueve de acuicultura comercial, 10 de acuicultura de fomento y dos especies con potencial acuícola. Dentro de dicho listado, destacan en importancia por volumen y valor de la producción, el atún aleta azul (*Thunnus orientalis*, Temminck y Schlegel 1844), el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*, Boone 1931), el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*, Rafinesque 1818), la carpa

Tabla 1. Volumen de producción (toneladas) del sector acuícola, ganadero y agrícola de 2010-2020 en México.

Sistema de Producción	2010-2011			2011-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015		2015-2016		2016-2017		2017-2018		2018-2019		2019-2020		2010-2020
	Volumen 2010 (t)	Volumen 2011 (t)	TCA %	Volumen 2012 (t)	TCA %	Volumen 2013 (t)	TCA %	Volumen 2014 (t)	TCA %	Volumen 2015 (t)	TCA %	Volumen 2016 (t)	TCA %	Volumen 2017 (t)	TCA %	Volumen 2018 (t)	TCA %	Volumen 2019 (t)	TCA %	Volumen 2020 (t)	TCA %	TCA %
Acuicola ¹	126,238	137,128	8.6%	143,747	4.8%	111,500	-22.4%	194,230	74.2%	211,622	9.0%	221,327	4.6%	243,307	9.9%	247,222	1.6%	251,242	1.6%	278,694	10.9%	10.29%
Ganadero ²	5,828,422	6,001,019	3.0%	6,079,220	1.3%	6,122,134	0.7%	6,220,856	1.6%	6,351,721	2.1%	6,552,127	3.2%	6,801,088	3.8%	7,044,313	3.6%	7,328,186	4.0%	7,536,757	2.8%	2.6%
Agrícola ³	119,971,407	112,799,387	-6.0%	121,394,313	7.6%	132,445,718	9.1%	132,610,844	0.1%	130,585,911	-1.5%	138,076,279	5.7%	140,090,633	1.5%	140,296,704	0.1%	142,160,625	1.3%	137,631,711	-3.2%	1.4%

TCA= Tasa de crecimiento anual. 1. Incluye peces, crustáceos, moluscos y plantas acuáticas; 2. Incluye ganado bovino, porcino, ovino, caprino, equino, aves de corral y otros; 3. Incluye los principales cultivos. Elaboración propia con datos de FAO FishStatj y FAO STAT, 2022.

(*Cyprinus* spp.), el ostión japonés (*Crassostrea gigas*, Thunberg 1793), la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758), y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) (Tabla 2). El volumen de la producción acuícola en México en 2019 fue de 251,232 toneladas, con un valor de producción de más de 21 mil millones de pesos (1,047,660 mil dólares) y se espera que crezca a 296 toneladas para el 2030 (FAO, 2022). En cuanto al número de acuicultores, datos del Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (2022) indican que existen un total de 56,250 personas que se dedican a la acuicultura en un total de 9,443 instalaciones acuícolas registradas.

Para poder comprender los retos y desafíos que enfrenta la acuicultura, a continuación, expondremos brevemente el contexto de los principales factores que afectan a la acuicultura y destacaremos la importancia de consumir pescados y mariscos en la nutrición humana.

Tabla 2. Producción acuícola en México de las especies más relevantes en volumen y valor de la producción. Elaboración propia con datos de SIAP 2018.

Especie	Volumen (t)	Valor de la producción (miles)
Atún de aleta azul	10,763	\$587,116.00
Camaron blanco del Pacífico	167,834	\$12,724,322.00
Bagre de Canal	3,465	\$132,498.00
Carpa	26,885	\$291,800.00
Ostión Japonés	27,551.47	\$195,398.00
Tilapia	125,937	\$2,414,134.00
Trucha arcoíris	10,440	\$722,239.00

Estatus del recurso hídrico en México

México, además de ser un país que cuenta con una enorme biodiversidad, es un país rico en recursos hídricos ya que alberga 320 cuencas hidrográficas, 51 ríos principales (*i.e.*, ríos por donde fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cubren el 65% de la superficie territorial del país) y siete lagos principales (*i.e.*, Chapala con 1,116 km²; Cuitzeo, 306 km²; Pátzcuaro 97 km², Yuridia 80 km², Catemaco 75 km², Nabor Carrillo 10 km² y Tequesquitengo 8 km² de área). Todos estos acuíferos se encuentran dentro de 1.964 millones de kilómetros cuadrados de superficie (Agua, 2018; CONABIO, 2022). Además de ello, México cuenta con 451,585 hm³ anuales de agua renovable (*i.e.*, el agua que es factible de explotar de manera sustentable de una región). Las cuencas de nuestro país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas (Figura 1), las cuales se administran en 13 regiones hidrológicas (Figura 2).



Figura 1. Regiones hidrológicas. Tomado de Agua, 2018.



Figura 2. Regiones hidrológicas administrativas. Tomado de Agua, 2018.

A pesar de esta abundancia hídrica, de los 653 acuíferos de aguas subterráneas, 105 se encuentran sobreexplotados, 32 con presencia de suelos salinos y agua subterráneas salobres, así como 18 con intrusión marina. La región hidrológica administrativa XIII Aguas del Valle de México es la que presenta peor calidad de agua, mostrando los porcentajes de sitios de muestreos más altos de acuerdo al indicador de Demanda Biológica de Oxígeno (*i.e.*, DBO, indica la materia orgánica biodegradable), Demanda Química de Oxígeno (*i.e.*, DQO, indica la cantidad de materia orgánica) y Coliformes Fecales (*i.e.*, CF, indica las bacterias del tracto intestinal humano), y la región VII Cuencas Centrales del Norte es la que presenta el mayor porcentaje de sitios de muestreos de acuerdo al indicador de Sólidos Suspendidos Totales (*i.e.*, SST, indica los sólidos y materia orgánica en suspensión) como se observa en la Tabla 3. Es por ello que el 70% de los cuerpos de agua en México presentan algún tipo de contaminación.

Tabla 3. Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por región hidrológico-administrativa, de acuerdo a los indicadores Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Coliformes Fecales (CF). Número de sitios de monitoreo reportados: DBO = 2812, DQO = 2,813, SST = 3752 y CF= 3751. Tomado de Agua, 2018.

Región Hidrológica Administrativa	Excelente				Buena Calidad				Aceptable				Contaminada				Fuertemente Contaminada			
	DBO	DQO	SST	CF	DBO	DQO	SST	CF	DBO	DQO	SST	CF	DBO	DQO	SST	CF	DBO	DQO	SST	CF
I Península de Baja California	53.6	34.0	81.1	67.3	13.4	12.4	16.7	3.1	23.7	17.5	0.9	10.6	8.2	34.0	1.3	11.5	1.1	2.1	0.0	7.5
II Noroeste	73.4	21.0	52.9	32.7	10.6	22.1	29.4	7.2	10.6	29.5	8.5	13.1	3.2	23.2	6.5	26.1	2.2	4.2	2.7	20.9
III Pacífico Norte	82.5	24.7	58.9	13.0	10.3	28.7	28.8	6.0	4.0	29.6	7.6	19.9	3.2	14.8	4.7	44.9	0.0	2.2	0.0	16.2
IV Balsas	45.2	10.9	52.3	8.4	9.4	13.0	20.1	2.0	23.6	32.6	10.5	7.8	13.9	29.6	12.2	19.2	7.9	13.9	4.9	62.6
V Pacífico sur	82.9	10.5	56.4	43.9	5.3	17.1	24.5	3.8	3.3	49.3	9.3	9.0	3.9	16.4	6.8	26.7	4.6	6.7	3.0	16.6
VI Río Bravo	64.1	31.7	56.1	25.6	17.2	26.5	28.4	6.9	13.1	19.4	11.5	23.5	4.9	21.3	3.6	27.4	0.7	1.1	0.4	16.6
VII Cuencas Centrales del Norte	74.5	38.2	70.9	18.1	16.4	20.0	20.0	5.5	5.5	23.6	3.6	30.9	1.8	14.5	0.0	36.4	1.8	3.7	5.5	9.1
VIII Lerma Santiago Pacífico	37.5	9.2	48.5	12.5	13.3	11.2	32.6	5.3	34.3	25.8	13.3	10.6	9.6	44.8	4.1	26.2	5.3	9.0	1.5	45.4
IX Golfo Norte	76.4	48.3	57.5	21.3	5.3	17.1	34.8	4.5	13.3	16.7	5.4	17.2	2.3	15.2	1.6	29.6	2.7	2.7	0.7	27.4
X Golfo Centro	66.4	10.2	78.4	11.6	7.7	15.3	17.0	2.7	18.6	40.9	3.6	11.0	5.8	29.6	0.6	37.5	1.5	4.0	0.4	37.2
XI Frontera Sur	28.5	13.4	52.4	29.3	30.1	39.8	42.2	6.0	39.8	37.1	5.4	24.5	1.2	9.3	0.0	29.9	0.4	0.4	0.0	10.3
XII Península de Yucatán	4.1	4.1	73.3	57.1	37.5	39.6	23.6	11.5	56.3	29.2	2.6	21.5	2.1	27.1	0.5	9.4	0.0	0.0	0.0	0.5
XIII Aguas del Valle de México	1.4	0.0	25.4	8.5	4.2	5.6	54.9	0.0	52.1	18.3	18.3	8.5	28.2	50.7	1.4	12.6	14.1	25.4	0.0	70.4
Nacional	53.6	18.5	58.1	24.9	12.9	19.1	28.4	5.0	23.0	28.9	8.3	14.7	7.0	27.5	3.9	27.0	3.5	6.0	1.3	28.4

Plantas de tratamiento de aguas residuales

Es un hecho que conforme avanza el tiempo, hay un incremento en la población y en los sectores agropecuarios, industriales y de servicios, lo que conlleva a un aumento en la generación de aguas residuales, por lo que las plantas de tratamiento de aguas juegan un papel fundamental para lograr la seguridad alimentaria, combatir la pobreza y mejorar las condiciones de vida de la población. Para el sector acuícola, donde los organismos cultivados ocupan como medio de vida el agua, resulta de vital importancia contar con agua de excelente calidad (*e.g.*, contenido de oxígeno disuelto en el agua >5mg/l, amonio < 0.5mg/l); sin contaminantes (*e.g.*, libre de pesticidas, plaguicidas, residuos de fármacos, etc.); así como en cantidades suficientes para poder realizar los recambios de agua que requiere el cultivo dependiendo del tipo de sistema empleado. Es por esto que debemos contextualizar el estado en que se encuentran las plantas de tratamiento en nuestro país para comprender la problemática que afecta al sector acuícola. Hasta diciembre del 2020, México tenía registradas un total de 3,359 plantas de tratamiento de aguas residuales, de las cuales se encuentran en operación el 82.9%, es decir, 2,786 plantas, con una capacidad instalada de 196,749.51 l/s y un caudal tratado de 144,710.0 l/s, alcanzando una cobertura nacional de tratamiento de aguas residuales municipales del 67.2%. En cuanto al número de plantas por proceso destacan las lagunas de estabilización (827) y plantas de lodos activados (795), seguidos de los reactores anaerobios de flujo ascendente (364), humedales (230), tanques sépticos (144), filtros biológicos (105) y otros (321) (CONAGUA, 2020).

Electricidad

La energía, sobre todo la electricidad, es otro punto medular para consolidar el sector acuícola en México, ya que para intensificar los cultivos e incrementar los volúmenes de producción, se requiere de energía eléctrica para implementar diferentes tecnologías como sistemas de aireación, alimentación, recirculación y tratamiento de aguas, plantas de procesamiento y sistemas de refrigeración y congelación. En ese sentido, es importante conocer cómo se ha venido desarrollando la generación de energía eléctrica en México en los últimos años. Datos del CENACE indican que México creció un 3.1% al pasar de 302.8 terawatts-hora (TWh) en 2017 a 312.2 en 2020, crecimiento que se atribuye al incremento de energías limpias renovables (sobre todo la eólica y solar fotovoltaica). Durante dicho periodo, la energía limpia se incrementó un 55% y la energía convencional se redujo un 5.7% (IMCO, 2021). Si bien es cierto que datos del 2020 muestran que en México el 99.12% de la población tiene acceso a cobertura de energía eléctrica, es necesario que se vaya impulsando y consolidando la implementación del uso de energías limpias para que día con día se ocupen menos los combustibles fósiles, los cuales además de ser finitos, tienen una huella de carbono más alta, es decir, contaminan más.

Normatividad acuícola

A partir de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el principal instrumento de política pública que regula la actividad acuícola en México es la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable (LGPAS) publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de julio de 2007 y su última reforma del 24 de abril del 2018. Los principales objetivos de la ley son de

ordenar, fomentar, impulsar y regular el manejo integral del aprovechamiento acuícola y pesquero considerando aspectos sociales, tecnológicos, productivos, biológicos y ambientales. Cabe señalar que dicha ley no cuenta con Reglamento, por lo que tenemos una ley que nos dice qué se va a permitir, ordenar o sancionar, pero no se dice el “cómo” se va a aplicar. Esto representa un enorme hueco que ha venido afectando al desarrollo del sector acuícola, sobre todo porque la ley fue pensada para regular la industria del camarón, una industria muy grande, la cual es totalmente diferente a la mayoría de las granjas acuícolas que existen en el país, tanto en intensidad, como en tecnología y valor de la producción. Además de la LGPAS, debemos señalar el Plan Nacional de Desarrollo (2019-2024), el Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo rural (2020-2024), el Programa Nacional de Pesca y Acuicultura (PNPA 2020-2024), así como otras leyes que se vinculan directa o indirectamente con el sector acuícola como la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; la Ley General de Bienes Nacionales; la Ley Agraria; la Ley de Energía para el Campo y su Reglamento; la Ley de Desarrollo Rural Sustentable; la Ley Federal de Aguas Nacionales; la Ley Federal de Salud Animal; la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento; la Ley General de Cambio Climático; la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; el Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar; el Reglamento Interior de la Secretaría de Desarrollo Rural; el Reglamento Interior de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; y el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental.

Retos y desafíos que enfrenta el sector acuícola

A pesar de que en los últimos años se ha buscado por diferentes medios transitar de un modelo de desarrollo capitalista, basado en el uso indiscriminado de los recursos, hacia un desarrollo sostenible, en nuestro país aún quedan muchas áreas de oportunidad y vacíos que requiere el sector acuícola para consolidarse y ser un eje rector para alcanzar la seguridad alimentaria. A continuación, mencionaremos los principales retos.

Calidad y cantidad de agua

Para que crezca la acuicultura en México vamos a necesitar de revertir las tendencias del uso, consumo y contaminación de aguas que existen en nuestro país. Necesitamos lograr que todas las plantas de tratamiento de aguas que estén instaladas funcionen, además de instalar más plantas de tratamiento que utilicen energías limpias. Además de ello, se deben generar campañas mensuales de recolección de residuos por todas las zonas riparias y que involucren tanto a la sociedad como a los diversos sectores productivos. También se deben impulsar programas de reforestación y restauración en las zonas de recarga de acuíferos, evitando así la erosión, el cambio climático y propiciando la recuperación de los cuerpos de agua.

Desarrollo de personal altamente capacitado y especializado

Este punto es de los más cruciales durante el camino hacia la consolidación del sector acuícola. Es urgente que se vayan formando profesionales altamente especializados y competitivos en áreas como ingeniería, nutrición, genética, inmunología, biotecnología y sanidad e inocuidad acuícola, así como en cultivos intensivos, superintensivos, e hiperintensivos (IPRS: *In Pond Raceway System*), recirculación acuícola y Biofloc, administración, impacto ambiental y extensionismo. Dicho personal deberá ser el encargado de brindar una asistencia técnica integral enfocada a transformar la mentalidad de los productores e impulsar y motivar la implementación de innovación y transferencia de tecnología de frontera enfocada a incrementar la producción acuícola utilizando las mejores prácticas de producción disponibles.

En este sentido, se debe buscar reforzar, actualizar y modificar los programas de estudio de las principales carreras que abarquen el área de la acuicultura como la ingeniería acuícola, biología, biología marina, medicina veterinaria: cada uno de los programas deberá incluir una enorme vinculación del estudiante tanto con la academia como con el gobierno y sobre todo, tener un mayor acercamiento con el sector productivo; esto con la finalidad de que el estudiante pueda vivir en carne propia las diferentes realidades que sufre el sector acuícola, para que pueda experimentar las problemáticas que atraviesa cada región, a fin de encontrar soluciones ajustadas a cada contexto en particular.

Productores con responsabilidad social

Como hemos mencionado, la idea de contar con profesionales acuícolas altamente capacitados y especializados, es empezar a formar productores acuícolas que estén a favor de la responsabilidad social y tengan una mentalidad libre de egoísmo. El productor con responsabilidad social deberá ser sumamente consciente del cuidado que merece el ambiente y darle una gran importancia a mejorar el entorno donde vive, es decir, si yo estoy utilizando el agua como recursos para la producción, mi responsabilidad como ciudadano y como miembro de un ecosistema, del cual me estoy beneficiando, es retribuirle al medio una mejoría. Una propuesta interesante de implementar sería que de cada kilo que produzca un acuicultor, devuelva cuando menos un 2% de los ingresos de sus ventas, con la finalidad de mejorar el entorno en donde vive. Esta devolución no necesariamente debe ser en forma monetaria, si no que puede ser a través de acciones como donación y siembra de árboles, jornadas de recolección de residuos y limpieza de zonas riparias, mejoras a los caminos, donación de desayunos escolares, entre otras acciones. Además de ello, cada productor acuícola debería tener como responsabilidad informar, capacitar y permear a las personas que los rodeen, con respecto a la importancia de cuidar el medio, la reducción de residuos sólidos urbanos, reducir la huella hídrica y de carbono, entre otros aspectos. La idea es que las granjas acuícolas sean un importante brazo de capacitación y divulgación de la ciencia. Ante esto, el lector se puede

preguntar ¿Entonces qué hará el gobierno? O ¿por qué darle la responsabilidad de la divulgación de la ciencia y el cuidado del ambiente a los productores acuícolas? No se trata de quitarle la responsabilidad a nadie, se trata de sumar a un guerrero más ante la falta de brazos por parte del gobierno.

Consolidar los organismos auxiliares del SENASICA

La Sanidad Acuícola en México está a cargo del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) quien, a través de sus organismos auxiliares, mejor conocidos como “Comités de Sanidad Acuícola”, vela por la Sanidad e Inocuidad Acuícola y Pesquera del País. Cabe mencionar que los Comités de Sanidad Acuícola están formados por productores y son organizaciones de la sociedad civil que trabajan sin fines de lucro. Los Comités de Sanidad Acuícola reciben recursos anuales por parte de SENASICA para llevar a cabo programas de Sanidad, Inocuidad y de Vigilancia Epidemiológica. Una de las mayores virtudes y fortalezas de los comités es que los conforman las personas que están más en contacto con los productores y quienes ven de manera más clara las diferentes problemáticas que enfrentan los productores acuícolas. Sin embargo, como en todos lados existen debilidades y áreas de oportunidad que se pueden identificar, entre las cuales podemos mencionar las siguientes.

Debilidades

Liberación tardía de recursos. Los recursos anuales que reciben los Comités de Sanidad Acuícola se realizan generalmente a partir de mayo (pocas ocasiones en abril), es decir, prácticamente tienen a todo su personal técnico operativo trabajando en las granjas sin percibir recursos económicos y teniendo que hacer gestiones operativas milagrosas para poder cumplir en tiempo y forma con los compromisos de su programa de trabajo.

Fuga de técnicos. Los técnicos operativos o profesionales de campo, después de varios años sin tener una estabilidad económica, buscan otro empleo que pueda brindarles una mayor seguridad y se produce la fuga de técnicos. Cuando un técnico renuncia, se pierde la experiencia adquirida en campo; así como todo el conocimiento que ha obtenido por los cursos de capacitación recibidos durante su estancia en el comité. Otro punto importante es que no solo hay fuga de personal, también hay técnicos que ante dicha situación de no estar recibiendo un sueldo, pueden optar por tener otro trabajo u otro medio de subsistencia que, a la larga, puede restarles tiempo y atención de su principal función como profesional de campo. Esto puede ocasionar que la calidad y el compromiso del trabajo decaiga a niveles críticos, donde incluso, cuando son detectados, se pueden ocasionar despidos.

Falta de Médicos Veterinarios. Un punto muy preocupante es que en la gran mayoría de los Comités de Sanidad Acuícola hay escasez de médicos veterinarios, y en su lugar hay biólogos, biólogos marinos, biotecnólogos,

oceanólogos, ingenieros pesqueros, agrónomos, ingenieros en alimentos y otras carreras afines que, ante la necesidad de dar un tratamiento por alguna enfermedad y previa autorización por parte del mismo SENASICA y de los Comités, recetan medicamentos. Lo anterior no debería ocurrir ya que a pesar de que puedan tener ciertos conocimientos en cuestiones de sanidad acuícola y farmacología, no están facultados para recetar medicamentos, ya que legalmente, el único profesional autorizado para recetarlos es el médico veterinario zootecnista (MVZ). Esto ha generado una confusión hacia los productores, ya que al no tener una figura como tal bien representada y respetada para dar un tratamiento, pueden pensar que cualquiera puede recetar medicamentos y si estos se usan indiscriminadamente se puede generar un grave problema de resistencia a los antimicrobianos (RAM) (Lulijwa et al., 2020; Prena et al., 2020).

Áreas de oportunidad

Mejorar las prestaciones laborales. Es imprescindible que los profesionales de campo tengan todas las prestaciones laborales para obtener una mejor estabilidad económica, sobre todo que puedan contar con un seguro médico de gastos mayores, ya que, al estar en campo, los profesionales están mayormente expuestos a siniestros de diferente índole. Al contar con mejores prestaciones se busca evitar la fuga de talentos, y se dejará de invertir tiempo y recursos en capacitar y enseñar al nuevo personal, así como en conocer y ubicar las unidades de producción acuícola, los productores, la variabilidad de los sistemas productivos y sus principales problemáticas; con ello se logrará optimizar tiempos y recursos generando economías que puedan ser destinadas para alcanzar una mayor cobertura, es decir, asesorar a más productores, impulsando así una mayor productividad acuícola en el país.

Elevar y homologar el nivel profesional del personal de todos los Comités. Es necesario generar y crear esquemas de capacitación anuales a nivel básico, intermedio y avanzado a todo el personal y específicos para cada programa y área en particular. Esto es con la finalidad de brindarles a todos los profesionales operativos las herramientas y fundamentos básicos que les permitan realizar sus actividades de la mejor manera posible. Dicha capacitación deberá ser integral, con una visión holística y deberá incluir temas de liderazgo, seguridad laboral, trabajo en equipo, derechos humanos, equidad y violencia de género.

Realizar actividades de divulgación de la ciencia. Es imperante que los Comités de Sanidad Acuícola tengan una mayor presencia y participación en espacios de comunicación hacia la sociedad como escuelas y municipios, así como en redes sociales. Esto con la finalidad de tener una sociedad más informada con respecto de la importancia de las actividades que realiza el Comité, así como en otros temas vinculantes en el sector como la nutrición humana, cuidado del agua y sanidad e inocuidad. Con ello se pretende, por un lado, que las personas puedan exigir productos acuícolas de mejor calidad, que

diferencien los productos nacionales de los extranjeros y que se fomente el consumo de pescados y mariscos como parte de una nutrición adecuada que pueda garantizar el óptimo desarrollo y crecimiento de las personas, coadyuvando así a la seguridad alimentaria del país.

Generar ingresos económicos. Es fundamental que los Comités de Sanidad Acuícola tengan ingresos propios y no dependan al 100% de las aportaciones de los Gobiernos Estatales o Federales. En ese sentido, la estructura de los comités debería integrar un área destinada a generar ingresos a través de diversas actividades como rifas, carreras deportivas, concursos de fotografía y video, así como generar un esquema de aportaciones voluntarias de los productores que sea acorde a su nivel socioeconómico.

Vigilancia y regulación del uso de antibióticos

Intensificar los cultivos acuícolas conlleva a que los peces se encuentren en condiciones de hacinamiento muy fuertes que puede ocasionar que su sistema inmune se vea comprometido, por lo cual existirá un mayor riesgo de aparición de enfermedades (Santos y Ramos, 2018). Para controlar las enfermedades normalmente se utilizan antimicrobianos, sin embargo, su mal uso y uso desmedido han ocasionado problemas de resistencia a los antimicrobianos (Reverter et al., 2014), por lo que es fundamental que se empiece a establecer un marco regulatorio más estricto con respecto a su venta, prescripción y uso (Cabello et al., 2013; Lulijwa et al., 2014; Preena et al., 2020). En México, a pesar de que el reglamento de la Ley Federal de Salud Animal estipula que “*la prescripción, dosificación y administración de biológicos, químicos o fármacos con fines preventivos, o terapéuticos para uso en animales, deberá realizarse siempre por un médico veterinario*” (LFSA, 2012), las veterinarias venden medicamentos sin restricción alguna y sin necesidad de receta. Los acuicultores pueden aplicar diversos antibióticos y medicamentos por “recomendación” de otro productor o por alguna persona de otra profesión sin que necesariamente sea médico veterinario y aplicarlo sin tampoco contar con un diagnóstico de laboratorio y un antibiograma. Es necesario que se fortalezca la vigilancia con respecto al uso indiscriminado de los antibióticos, y se deben empezar a aplicar multas a los productores y poner una mayor restricción para la venta y comercialización de los productos veterinarios tanto en el comercio formal, como informal. Además de ello, se le debe de dar un mayor peso a todas las medidas de bioseguridad y estrategias de prevención de enfermedades (Henriksson et al., 2018) para reducir al mínimo el uso de antibióticos y, en caso de ser necesario, que venga sustentado con un diagnóstico de laboratorio y un antibiograma que justifique su uso racional.

Por otro lado, es importante que se establezca un programa de monitoreo continuo de los genes de resistencia a los antimicrobianos (GRAM) (Hemamalini et al., 2022), sobre todo en los centros de reproducción acuícola para poder tener un mapa de la presencia y distribución de los GRAM que presentan las diferentes especies que se cultivan en todo el país. En ese sentido, se puede evaluar la factibilidad y viabilidad de añadir

como requisito para los certificados de sanidad acuícola, movilización e inocuidad, que los individuos estén libres de genes de RAM, con lo cual se pretende reducir la diseminación de los mismos. Cabe señalar que además de monitorear los GRAM en peces de cultivo, se deben realizar muestreos en peces ferales, sitios de descarga de aguas residuales y cuerpos de agua contaminados, con el fin de poder diseñar estrategias de manejo integrales (Borella et al., 2020; Hemamalini et al., 2022).

La RAM es un problema muy grave que conforme pasa el tiempo se va acrecentando pese a los esfuerzos que se han venido realizando para generar una mayor concientización acerca de sus consecuencias negativas y de la importancia del uso racional de los antibióticos tanto para la salud humana, animal y en los cultivos (OMS, 2015; OIE, 2016; DOF, 2018; FAO, 2021).

Fortalecer la investigación acuícola

Incrementar la producción acuícola requiere que se empiece a desarrollar la industria a través de la innovación científica y transferencia de tecnología. Eso implica que se debe invertir y fomentar la investigación básica, pero sobre todo aplicada y que se busque atacar los principales problemas que aquejan al sector.

Entre las principales líneas de investigación se proponen:

- Creación de líneas genéticas resistentes al hacinamiento, a condiciones de mala calidad de agua (*e.g.*, bajo oxígeno y amonio alto), resistencia a enfermedades y con mejor tasa de crecimiento.
- La obtención de productos fitoquímicos a partir de subproductos agroindustriales y que posean actividades inmunoestimulantes.
- Investigación y desarrollo biotecnológico de especies acuícolas endémicas de agua dulce y marinas que tengan una buena aceptación para el consumo humano.
- Elaborar dietas artificiales para peces, crustáceos y moluscos a partir de ingredientes naturales, cuya producción se logre dar a gran escala y de forma sustentable.
- Avanzar en el conocimiento de la microbiota intestinal de los organismos acuáticos y el impacto en su crecimiento, fisiología y resistencia a enfermedades.
- Identificar e investigar el uso de bacteriófagos como alternativa al tratamiento de enfermedades en organismos acuáticos.
- Avanzar en el entendimiento de la biología y epidemiología de las enfermedades endémicas de mayor importancia en el país.
- Desarrollo de vacunas.
- Desarrollo de nuevas tecnologías de monitoreo automatizado de parámetros de calidad de agua.
- Innovación en técnicas de diagnóstico presuntivo y definitivo.
- Mejorar la vida de anaquel de los productos congelados y envasados.
- Identificar las zonas con potencial acuícola tanto en tierra como en el mar.

Además de estas líneas de investigación, es necesario que se consoliden los centros de investigación en acuicultura que hay en el país y que se empiece a dar un mayor auge a la creación de *clusters* biotecnológicos

cuyo modelo sea de quintuple hélice y que integren los sectores productivos, académicos, gubernamentales, sociedad civil y el medio ambiente. Para ello será necesario incrementar el número de científicos en el país, por lo cual se deberán impulsar los diferentes posgrados existentes, así como promover acuerdos de colaboración entre instituciones científicas del extranjero para buscar consolidar la formación profesional de los nuevos investigadores.

Financiamiento

Lograr transformar el sistema acuícola para que sea el pilar rector hacia la seguridad alimentaria requiere de innovación tecnológica y ello implica que se generen esquemas de financiamiento que ayuden a la adopción de tecnologías más eficientes y sustentables para el sector, como son los sistemas de recirculación acuícola (Ebeling y Timmons, 2012), Biofloc (Browdy et al., 2021) y la tecnología IPRS (Maser, 2012), así como la adopción e implementación de sistemas de aireación que utilicen energías renovables como la eólica y solar.

En este sentido, se requiere adquirir tanto equipo como capacitación especializada, la cual tiene un costo. Es por ello que se deben generar esquemas de financiamiento con tasas de interés muy bajas que permitan capitalizar y consolidar los proyectos acuícolas y que dichos esquemas funcionen como un sistema revolvente en el cual, al término de pagar dicho crédito, se pueda volver a solicitarlo. Todos estos esquemas de financiamiento pueden salir tanto del gobierno como de la iniciativa privada, en donde se busque en todo momento apoyar al productor, pero considerando que haya un beneficio mutuo con el empresario que aporte el recurso.

Resaltar la importancia del consumo de pescados y mariscos en la nutrición humana

Es de vital trascendencia que logremos transitar hacia una población más informada y consciente con respecto a los beneficios nutrimentales y de salud humana que se obtienen por consumir regularmente pescados y mariscos. Diversos estudios han indicado que estos alimentos son fuentes de proteínas, bajos en grasas, ricos en vitaminas, minerales y ácidos grasos esenciales (Chen et al., 2020; Troell et al., 2019) y que además poseen propiedades antioxidantes (Chi et al., 2015; Wang et al., 2004; Zheng et al., 2018), antiinflamatorias (Ahn et al., 2015; Bhattacharya et al., 2007; Chen et al., 2019b; Chen et al., 2021), antimicrobianas (Huang et al., 2007; Kang, et al., 2015), cicatrizantes (Chen et al., 2019a), hepatoprotectoras (Salama et al., 2013; Yang et al., 2017), cardioprotectoras (Bonaccio et al., 2017; Lee et al., 2014; Mohan et al., 2021) y neuroprotectoras (Denny Joseph y Muralidhara, 2015; Lopes et al., 2017; Xu et al., 2015). Debido a estos beneficios, es importante generar campañas de difusión orientadas a destacar todas las ventajas nutrimentales del consumo de pescados y mariscos y se deben realizar e implantar principalmente en el kínder y en escuelas primarias para generar improntas que permitan desarrollar nuevos consumidores que tengan siempre presente el consumo de pescados y mariscos, sobre todo nacionales y que cuenten con una certificación sanitaria y de

calidad. Finamente mencionar que todas las campañas y estrategias para fomentar el consumo de pescados y mariscos deben considerar la asequibilidad, la educación en términos de salud, nutrición y habilidades culinarias (Govzman et al., 2021).

Conclusiones

Después de haber expuesto los principales retos que enfrenta la acuicultura en México hacia su consolidación buscando alcanzar la seguridad alimentaria, es un hecho que el camino es sumamente difícil y complicado, pero debemos ir generando una ruta crítica que permita ir avanzando en todos los frentes, aunque sea a pasos lentos. Lo que se debe priorizar en muchos aspectos es la voluntad política para poder destinar los recursos económicos que requiere el sector y ello implica que podamos contar con tomadores de decisión mejor informados, conscientes y que cuenten con un perfil académico que les permita ver todas las áreas de oportunidad del sector acuícola, así como sus principales limitantes y posibles soluciones. Es así que la seguridad alimentaria en México es verdaderamente alcanzable siempre y cuando se prioricen los temas de Una Salud (Stentiford et al., 2020), sustentabilidad y equidad social.

Referencias

- Ahn, C. B., Cho, Y. S., y Je, J. Y. (2015). Purification and anti-inflammatory action of tripeptide from salmon pectoral fin byproduct protein hydrolysate. *Food Chemistry*, 168, 151-156. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.112>
- Agua, C. D. (2018). Estadísticas del agua en México. https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- Almond, R. E., Grooten, M., y Peterson, T. (2020). *Living Planet Report 2020-Bending the curve of biodiversity loss*. World Wildlife Fund. <https://www.zsl.org/sites/default/files/LPR%202020%20Full%20report.pdf>
- Assembly, G. UN. (2015). Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution Adopted by the UNGA on 25 September 2015 (A/RES/70/1). https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S
- Bernstein, A. S., Oken, E., de Ferranti, S., Lowry, J. A., Ahdoot, S., Baum, C. R., ... y Schwarzenberg, S. J. (2019). Fish, shellfish, and children's health: an assessment of benefits, risks, and sustainability. *Pediatrics*, 143(6). <https://doi.org/10.1542/peds.2019-0999>
- Bhattacharya, A., Sun, D., Rahman, M., y Fernandes, G. (2007). Different ratios of eicosapentaenoic and docosahexaenoic omega-3 fatty acids in commercial fish oils differentially alter pro-inflammatory cytokines in peritoneal macrophages from C57BL/6 female mice. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 18(1), 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2006.02.005>
- Borella, L., Salogni, C., Vitale, N., Scali, F., Moretti, V. M., Pasquali, P., y Alborali, G. L. (2020). Motile aeromonads from farmed and wild freshwater fish in northern Italy: An evaluation of antimicrobial activity and multidrug resistance during 2013 and 2016. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 62(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s13028-020-0504-y>
- Browdy, C. L., Ray, A. J., Leffler, J. W., y Avnimelech, Y. (2012). Biofloc-based aquaculture systems. *Aquaculture Production Systems*, 278, 307. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch12>

- Chen, J., Jayachandran, M., Xu, B., y Yu, Z. (2019a). Sea bass (*Lateolabrax maculatus*) accelerates wound healing: A transition from inflammation to proliferation. *Journal of Ethnopharmacology*, 236, 263-276. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.03.012>
- Chen, J., Jayachandran, M., Zhang, W., Chen, L., Du, B., Yu, Z., y Xu, B. (2019b). Dietary supplementation with sea bass (*Lateolabrax maculatus*) ameliorates ulcerative colitis and inflammation in macrophages through inhibiting Toll-like receptor 4-linked pathways. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(12), 2907. <https://doi.org/10.3390/ijms20122907>
- Chen, J., Bai, W., Cai, D., Yu, Z., y Xu, B. (2021). Characterization and identification of novel anti-inflammatory peptides from Baijiao sea bass (*Lateolabrax maculatus*). *LWT*, 147, 111521. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111521>
- Chen, J., Jayachandran, M., Bai, W., y Xu, B. (2022). A critical review on the health benefits of fish consumption and its bioactive constituents. *Food Chemistry*, 369, 130874. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130874>
- Chi, C. F., Hu, F. Y., Wang, B., Li, Z. R., y Luo, H. Y. (2015). Influence of amino acid compositions and peptide profiles on antioxidant capacities of two protein hydrolysates from skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) dark muscle. *Marine Drugs*, 13(5), 2580-2601. <https://doi.org/10.3390/md13052580>
- CONAGUA, S. (2020). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-2-22-a.pdf>
- Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2022). Ríos y Lagos. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/ecosismex/rios-y-lagos>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2018). Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050. http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Cuadernillos/33_Republica_Mexicana/33_RMEX.pdf
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social CONEVAL. (2022). Medición Multidimensional de la Pobreza. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/MMP_2018_2020/Pobreza_multidimensional_2016_2020_CONEVAL.pdf
- Denny Joseph, K. M., y Muralidhara. (2015). Combined oral supplementation of fish oil and quercetin enhances neuroprotection in a chronic rotenone rat model: relevance to Parkinson's disease. *Neurochemical Research*, 40(5), 894-905. <https://doi.org/10.1007/s11064-015-1542-0>
- Ebeling, J. M., y Timmons, M. B. (2012). Recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Production Systems*, 1, 245-277. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch11>
- FAO. (2021). El Plan de Acción de la FAO sobre la resistencia a los antimicrobianos 2021-2025. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb5545es>
- FAO. (2022). The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards blue transformation. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Smith, M.D., y Tveterås, R. (2020). A global blue revolution: aquaculture growth across regions, species, and countries. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 107-116. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111>
- Govzman, S., Looby, S., Wang, X., Butler, F., Gibney, E. R., y Timon, C. M. (2021). A systematic review of the determinants of seafood consumption. *British Journal of Nutrition*, 126(1), 66-80. <https://doi.org/10.1017/S0007114520003773>
- Hambrey, J. (2017). The 2030 agenda and the sustainable development goals: the challenge for aquaculture development and management. FAO Fisheries and Aquaculture Circular, (C1141). <https://www.fao.org/3/i7808e/i7808e.pdf>
- Hemamalini, N., Shanmugam, S. A., Kathirvelpandian, A., Deepak, A., Kaliyamurthi, V., y Suresh, E. (2022). A critical review on the antimicrobial resistance, antibiotic residue and metagenomics-assisted antimicrobial resistance gene detection in freshwater aquaculture environment. *Aquaculture Research*, 53(2), 344-366. <https://doi.org/10.1111/are.15601>
- Henriksson, P. J., Rico, A., Troell, M., Klinger, D. H., Buschmann, A. H., Saksida, S., ... y Zhang, W. (2018). Unpacking factors influencing antimicrobial use in global aquaculture and their implication for management: a review from a systems perspective. *Sustainability Science*, 13(4), 1105-1120. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0511-8>
- Huang, P. H., Chen, J. Y., y Kuo, C. M. (2007). Three different hepcidins from tilapia, *Oreochromis mossambicus*: analysis of their expressions and biological functions. *Molecular Immunology*, 44(8), 1922-1934. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2006.09.031>
- Instituto Mexicano de la Competitividad (IMCO). (2021). Discurso y realidad: el despacho eléctrico en México durante la actual administración. https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2021/05/24052021_Discurso-y-realidad-del-despacho-ele%CC%81ctrico-en-Me%CC%81xico-en-la-actual-administracio%CC%81n_Documento.pdf
- Kang, H. K., Seo, C. H., y Park, Y. (2015). Marine peptides and their anti-infective activities. *Marine Drugs*, 13(1), 618-654. <https://doi.org/10.3390/md13010618>
- Lee, J. K., Jeon, J. K., y Byun, H. G. (2014). Antihypertensive effect of novel angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide from chum salmon (*Oncorhynchus keta*) skin in spontaneously hypertensive rats. *Journal of Functional Foods*, 7, 381-389. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.01.021>
- Lopes, P. A., Bandarra, N. M., Martins, S. V., Martinho, J., Alfaia, C. M., Madeira, M. S., ... y Prates, J. A. (2017). Markers of neuroprotection of combined EPA and DHA provided by fish oil are higher than those of EPA (*Nannochloropsis*) and DHA (*Schizochytrium*) from microalgae oils in Wistar rats. *Nutrition & Metabolism*, 14(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12986-017-0218-y>
- Lulijwa, R., Rupia, E. J., y Alfaro, A. C. (2020). Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 640-663. <https://doi.org/10.1111/raq.12344>
- Masser, M. P. (2012). In-pond raceways. En J. H. Tidwell (Ed.), *Aquaculture Production Systems* (pp. 387-394). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch15>
- Mohan, D., Mente, A., Dehghan, M., Rangarajan, S., O'Donnell, M., Hu, W., ... y Yusuf, S. (2021). Associations of fish consumption with risk of cardiovascular disease and mortality among individuals with or without vascular disease from 58 countries. *JAMA Internal Medicine*, 181(5), 631-649. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2021.0036>
- Preena, P. G., Swaminathan, T. R., Kumar, V. J. R., y Singh, I. S. B. (2020). Antimicrobial resistance in aquaculture: A crisis for

- concern. *Biologia*, 75(9), 1497-1517. <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00456-4>
- Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., y Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: current status and future perspectives. *Aquaculture*, 433, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.048>
- Salama, M. F., Abbas, A., Darweish, M. M., El-Hawwary, A. A., y Al-Gayyar, M. M. (2013). Hepatoprotective effects of cod liver oil against sodium nitrite toxicity in rats. *Pharmaceutical Biology*, 51(11), 1435-1443. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.796564>
- Santos, L., y Ramos, F. (2018). Antimicrobial resistance in aquaculture: current knowledge and alternatives to tackle the problem. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 52(2), 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.03.010>
- Stentford, G. D., Bateman, I. J., Hinchliffe, S. J., Bass, D., Hartnell, R., Santos, E. M., ... y Tyler, C. R. (2020). Sustainable aquaculture through the One Health lens. *Nature Food*, 1(8), 468-474. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0127-5>
- Tigchelaar, M., Leape, J., Micheli, F., Allison, E. H., Basurto, X., Bennett, A., ... y Wabnitz, C. C. (2022). The vital roles of blue foods in the global food system. *Global Food Security*, 33, 100637. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100637>
- Troell, M., Jonell, M., y Crona, B. (2019). The role of seafood in sustainable and healthy diets. The EAT-Lancet Commission report through a blue lens. https://eatforum.org/content/uploads/2019/11/Seafood_Scoping_Report_EAT-Lancet.pdf
- United Nations. (2015). Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015 (A/70/L. 1). https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Ten Key Messages. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_key_messages.pdf
- van der Zee, B. (2022). More than 400 weather stations beat heat records in 2021. <https://www.theguardian.com/world/2022/jan/07/heat-records-broken-all-around-the-world-in-2021-says-climatologist>
- Wang, H. H., Hung, T. M., Wei, J., y Chiang, A. N. (2004). Fish oil increases antioxidant enzyme activities in macrophages and reduces atherosclerotic lesions in apoE-knockout mice. *Cardiovascular Research*, 61(1), 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.cardiores.2003.11.002>
- World Health Organization. (2019). Taking a multisectoral one health approach: a tripartite guide to addressing zoonotic diseases in countries. Food & Agriculture Org. <https://www.fao.org/3/ca2942en/CA2942EN.pdf>
- Xu, L., Dong, W., Zhao, J., y Xu, Y. (2015). Effect of marine collagen peptides on physiological and neurobehavioral development of male rats with perinatal asphyxia. *Marine Drugs*, 13(6), 3653-3671. <https://doi.org/10.3390/md13063653>
- Yang, S. Y., Lee, S., Pyo, M. C., Jeon, H., Kim, Y., y Lee, K. W. (2017). Improved physicochemical properties and hepatic protection of Maillard reaction products derived from fish protein hydrolysates and ribose. *Food Chemistry*, 221, 1979-1988. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.145>
- Zheng, L., Yu, H., Wei, H., Xing, Q., Zou, Y., Zhou, Y., y Peng, J. (2018). Antioxidative peptides of hydrolysate prepared from fish skin gelatin using ginger protease activate antioxidant response element-mediated gene transcription in IPEC-J2 cells. *Journal of Functional Foods*, 51, 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.08.033>



Artículo de investigación

Hábitos alimentarios y actividad física en población escolar con normopeso, sobrepeso, obesidad y resistencia a la insulina

Eating habits and physical activity in a school population with normal weight, overweight, obesity and insulin resistance

Berenice Sánchez Caballero

Zyanya Reyes Castillo

Lourdes Barajas García

Instituto de Investigaciones en Comportamiento Alimentario y Nutrición (IICAN), Universidad de Guadalajara, México

Lidia García Ortiz

División de Ciencias de la Salud, Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara, México

Elia Herminia Valdés Miramontes 

Instituto de Investigaciones en Comportamiento Alimentario y Nutrición (IICAN), Universidad de Guadalajara, México

Recibido: 12-07-2022

Aceptado: 29-07-2022

Resumen

La obesidad infantil representa un factor de riesgo que predispone al desarrollo de trastornos metabólicos como la resistencia a la insulina, alteración que aumenta el riesgo de padecer diabetes mellitus tipo 2 (DM2) a temprana edad. En México la prevalencia de obesidad infantil corresponde al 35.6%. El objetivo de este trabajo fue determinar los hábitos alimentarios de niños en edad escolar con normopeso, sobrepeso y obesidad con resistencia a la insulina. Se determinó el índice de masa corporal (IMC) de 1600 niños con edad de 8-10 años habitantes de Jalisco, México. Del total de niños diagnosticados con obesidad, 30 presentaron resistencia a la insulina. Con base en ello, se eligió una muestra aleatoria de 30 niños con normopeso y 30 con sobrepeso, además de los 30 que presentaron obesidad con resistencia a la insulina. A los 90 participantes se les aplicó un cuestionario de hábitos alimentarios diseñado por la Confederación Nacional de Pediatría de México para la población infantil. Los datos obtenidos en el cuestionario de hábitos alimentarios fueron analizados mediante frecuencias. Se aplicó una prueba de Chi cuadrada para asociar la frecuencia de hábitos alimentarios con el IMC y género. Se observaron diferencias estadísticamente significativas en la frecuencia de algunos hábitos de acuerdo al IMC. Mayor proporción de niños reportó un consumo bajo (0-2 veces por semana) de alimentos considerados poco saludables. El género y el estado nutricional mostraron asociación con la frecuencia de hábitos alimentarios y actividad física.

Palabras clave: niños, edad escolar, hábitos alimentarios, normopeso, obesidad, resistencia a la insulina

Abstract

Childhood obesity represents a risk factor that predisposes to the development of metabolic disorders such as insulin resistance, an alteration that increases the risk of developing type 2 diabetes mellitus (DM2) at an early age. In Mexico the prevalence of childhood obesity has been reported to be 35.6%. The objective of this study was to determine the eating habits of school-age children with normal weight, overweight and obesity with insulin resistance. The body mass index (BMI) of 1600 children aged 8-10 years living in Jalisco, Mexico was determined. Of the total number of

children diagnosed with obesity, 30 presented insulin resistance. Based on this, a random sample of 30 children with normal weight and 30 with overweight was chosen, in addition to the 30 who presented obesity with insulin resistance. A questionnaire on eating habits designed by the National Confederation of Pediatrics of Mexico for children was applied to the 90 participants. The data obtained from the eating habits questionnaire were analyzed using frequencies. A chi square test was applied to associate the frequency of eating habits with BMI and gender. Statistically significant differences were observed in the frequency of some habits according to BMI. A higher proportion of children reported a low consumption (0-2 times per week) of foods considered unhealthy. Gender and nutritional status showed an association with the frequency of eating habits and physical activity.

Keywords: children, school age, eating habits, normal weight, obesity, insulin resistance.

Introducción

Aproximadamente 40 millones de niñas y niños en edad escolar presentan obesidad en el mundo (OMS, 2019). En 2018, la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad en la población mexicana de 5 a 11 años de edad fue de 35.6%, con 18.1% de sobrepeso y 17.5% de obesidad (ENSANUT, 2019). Estos datos son relevantes ya que si la obesidad se presenta en los primeros años de vida de un niño, existe una alta probabilidad de persistencia en la edad adulta, así como la asociación con otras enfermedades no transmisibles en etapas tempranas (Fisberg et al., 2016). La obesidad se considera una de las causas más comunes del desarrollo de diversas alteraciones metabólicas como la resistencia a la insulina en niños; sin embargo, hay pocos estudios en este tipo de población, por lo que se considera necesaria la realización de más estudios que evalúen la prevalencia de resistencia a la insulina en infantes para prevenir complicaciones a largo plazo (Flich et al., 2021).

Los hábitos alimentarios se desarrollan durante la infancia, por lo que desarrollar preferencias alimentarias saludables a una edad temprana puede prevenir enfermedades crónico degenerativas y predecir una vida saludable en la edad adulta (De Cosmi et al., 2017; Oyarce Merino et al., 2016). Los hábitos alimentarios pueden ser definidos como una serie de acciones que determinan el comportamiento del ser humano en relación con los alimentos; desde la selección hasta la forma en que se come o se sirve un alimento, en donde se involucran factores fisiológicos, psicológicos, culturales, religiosos, éticos, sociales y económicos, así como por la disponibilidad de los alimentos, gustos y aversiones individuales (Bosqued Estefanía y Royo Bordonada, 2017).

Los hábitos alimentarios que incluyen alimentos con elevado valor energético, alta disponibilidad de alimentos ultra procesados, así como una disminución de la actividad física y aumento de horas dedicadas a ver la televisión o jugar videojuegos, son los factores de riesgo que más se asocian a la obesidad y enfermedades cardiovasculares (ECV) en los niños (López- Hernandez et al., 2020; Vicedo et al., 2016). Sin embargo, la tendencia al desarrollo de obesidad en niñas y niños tiene un origen multifactorial que hace más complejo su entendimiento (Brown et al., 2015). A pesar del gran incremento a nivel mundial de la obesidad infantil, los factores determinantes de este padecimiento han sido menos abordados en la población infantil que en la adulta (Salvo et al., 2021).

La obesidad infantil se asocia a trastornos metabólicos importantes, siendo la resistencia a la insulina (RI) la más destacada, pues esta conduce a hiperglucemia y aumenta el riesgo de padecer DM2, síndrome metabólico (SM) o eventos cardiovasculares prematuros (Barajas-García et al., 2021; Flich et al., 2021). Esta situación ha generado el interés por estudiar la RI y su relación con los hábitos alimentarios en edades pediátricas, y de esta forma identificar a temprana edad el riesgo a presentar problemas patológicos que serán irreversibles en la edad adulta (Llewellyn et al., 2016).

Métodos

Participantes

Se determinó el IMC de 1600 niños de ambos sexos, de 8-10 años de edad que al momento del estudio estuvieran registrados en escuelas primarias públicas ubicadas en municipios de la zona sur del estado de Jalisco, México. De todos los participantes, 762 (47.63%) se diagnosticaron con normopeso, 229 (14.31%) con sobrepeso y 609 (38.07%) con obesidad. Al total de los niños que presentaron obesidad se les determinó la RI, de los cuales 30 (1.88%) presentaron esta condición. La muestra a la cual se le aplicó el cuestionario de hábitos alimentarios estuvo conformada por 90 niños: 30 con normopeso, 30 con sobrepeso y 30 con obesidad, diagnosticados además con RI. La selección de los niños con normopeso y sobrepeso fue al azar, mientras que los niños con obesidad que presentaron RI correspondió al total de los que presentaron esta condición en el estudio, por lo que se decidió que el número de participantes de los grupos con normopeso y sobrepeso fuera equivalente al grupo de obesidad con RI.

Se obtuvo la autorización de los padres de familia para que sus hijos participaran en el estudio mediante la firma de un consentimiento informado. Además, se obtuvo el asentimiento de las niñas y los niños mediante la firma de una carta en la que confirmaban su participación, de acuerdo a los principios de la Declaración de Helsinki y de la Ley General de Salud (Comisión Nacional de Bioética, 2019; SSA, 2019).

Procedimiento

Evaluación antropométrica. Con el consentimiento de los padres y autoridades escolares, así como el asentimiento de los participantes, se procedió a la obtención de datos antropométricos. Personal capacitado y estandarizado determinó el peso y talla. Se obtuvo el IMC/E mediante la fórmula $\text{Peso}/\text{Talla}^2$ y se comparó el resultado con las tablas del IMC para la edad (IMC/E) de la OMS

(2019). Se clasificaron con normopeso a quienes se ubicaron entre los percentiles 15 y 85 ($15 \leq p < 85$), con sobrepeso entre los percentiles 85 y 97 ($85 \leq p < 97$) y con obesidad a quienes estuvieron en los percentiles ≥ 97 (WHO, 2019).

Diagnóstico de resistencia a la insulina. Para determinar la presencia de RI, se realizó un análisis bioquímico a los niños con obesidad. Tras un ayuno de 12 horas, se les extrajo una muestra de sangre venosa para determinar la concentración sanguínea de glucosa e insulina, la cual se depositó en tubos sin anticoagulante; posteriormente se centrifugaron a 3,500 rpm por 15 minutos. La determinación de glucosa se realizó mediante el kit de determinación cuantitativa de glucosa (Glucosa-TR, Spinreact) de acuerdo a las instrucciones proporcionadas por el fabricante. Para la determinación de la insulina se utilizó la prueba de Elisa tipo sándwich en fase sólida (Human Insulin ELISA Kit, Sigma-Aldrich) y se determinó la absorbancia de las muestras a 450nm mediante el equipo de micro-Elisa (Titertek Multiskan™).

Se consideró que los participantes presentaban RI cuando los valores del *Homeostasis Model Assesment* (HOMA) HOMA-IR fueron ≥ 3.4 . Este modelo de homeostasis se obtuvo con la ecuación: $HOMA-IR = [(glucosa \text{ en ayuno (mmo/dL)}) (insulina \text{ en ayuno (}\mu U/mL)) / 22.5]$ (García Cuartero et al., 2017).

Identificación de hábitos alimentarios y actividad física en niños. Para identificar los hábitos alimentarios y actividad física de los niños, se aplicó el cuestionario de “Hábitos alimentarios y actividad física en edad escolar” propuesto por la Confederación Nacional de Pediatría de México y utilizado en el Hospital Nacional de Pediatría para el diagnóstico y tratamiento de niños con obesidad (Ruíz-Martínez et al., 2011). El cuestionario fue aplicado a los niños en horario escolar. Cabe mencionar que se utilizaron 11 de los 20 ítems que se consideraron más relevantes.

Análisis estadístico. El IMC, el sexo y los datos del cuestionario fueron analizados mediante el programa SPSS versión 23.0. Las variables cuantitativas se expresan como media \pm desviación estándar (DE), mientras que las variables cualitativas se muestran como porcentajes (%) y frecuencias absolutas (*n*). Se empleó la prueba Chi-cuadrada para asociar la frecuencia de los hábitos alimentarios y de actividad física con respecto al género y al IMC (grupos: normopeso, sobrepeso, obesidad con RI).

Resultados

La edad promedio de los participantes fue de 9 ± 1 años. Del total de participantes (*n* = 90), el 55.6% fueron niñas y el 44.4% fueron niños.

En la Figura 1 se muestran las frecuencias absolutas y relativas de los hábitos alimentarios y actividad física. Con relación al consumo de alimentos considerados como saludables, la mayoría de la población reportó una frecuencia de consumo moderado a alto de frutas y verduras. Respecto al consumo de frutas, el 34.5%

reportó una frecuencia de consumo de 3-4 veces por semana y el 46% reportó una frecuencia de consumo de 5-7 veces por semana. Por otro lado, en cuanto al consumo de verduras, el 36% reportó una frecuencia de consumo de 3-4 veces por semana y el 30.2% reportó una frecuencia de consumo de 5-7 veces por semana. Al analizar la frecuencia de consumo de alimentos considerados como poco saludables, la mayoría de los participantes (74.2%) reportaron una frecuencia de consumo bajo (0-2 veces por semana) de frituras, sin embargo, más de la mitad de los participantes (52.8%) consumieron de 3-7 veces por semana jugos o bebidas azucaradas entre comidas.

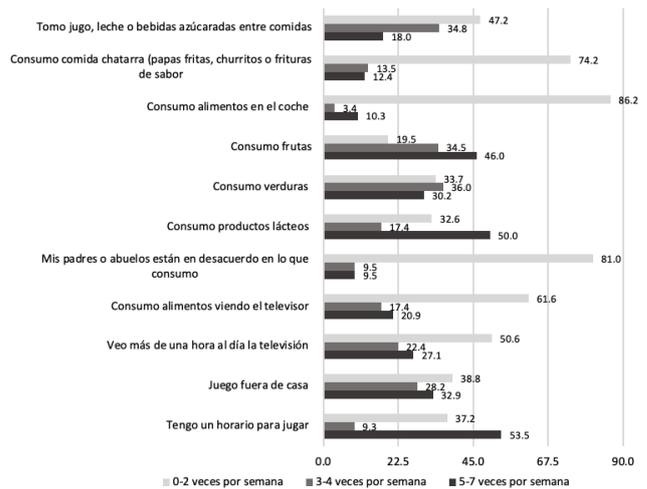


Figura 1. Frecuencia (en porcentaje) de los hábitos alimentarios y actividad física de los niños participantes.

En la Tabla 1 se muestra el análisis de frecuencia de consumo en base al género. En estos resultados no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los hábitos alimentarios relacionados con el consumo de alimentos saludables o no saludables entre niñas y niños. En el consumo de productos lácteos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.09$), sin embargo, se observó un consumo mayor (5-7 veces por semana) en niños que en niñas (56.4% vs 44.7%). Con relación a la actividad física, si bien no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.09$), se refirió que los niños juegan fuera de casa con mayor frecuencia (5-7 veces por semana) en comparación con las niñas (42.1% vs. 25.5%). Respecto al consumo de alimentos en el coche se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.01$), ya que los niños reportaron una mayor frecuencia (5-7 veces por semana) que las niñas (21.1% vs. 2.0%). De forma similar, los niños reportan tener un horario de juego con mayor frecuencia (5-7 veces por semana) en comparación a las niñas (68.4% vs 41.7%) y estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($p=0.04$).

Tabla 1. Hábitos alimentarios de los niños en base al género.

Hábitos alimentarios	Niños			Niñas			P
	n	%	95% IC	n	%	95% IC	
Tomo jugo, leche o bebidas azucaradas entre comidas							
0-2 veces por semana	23	57.5	38.8-71.1	20	40.0	25.9-54.0	0.27
3-4 veces por semana	12	30.0	15.1-44.8	19	38.0	24.0-51.9	
5-7 veces por semana	5	12.5	17.9-23.2	11	22.0	10.1-33.8	
Consumo alimentos chatarra (papas fritas, churritos o frituras con sabor)							
0-2 veces por semana	33	82.5	67.0-92.9	34	68.0	54.6-81.3	0.31
3-4 veces por semana	4	10.0	0.28-19.7	8	16.0	5.4-26.5	
5-7 veces por semana	3	7.5	1.03-16.0	8	16.0	5.4-26.5	
Consumo alimentos en el coche							
0-2 veces por semana	30	75.0	58.0-86.9	47	94.0	84.2-99.7	0.01
3-4 veces por semana	1	2.5	-2.5-7.5	2	4.0	-1.6-9.6	
5-7 veces por semana	9	22.5	7.0-32.9	1	2.0	-2.0-6.0	
Consumo frutas							
0-2 veces por semana	7	17.5	5.1-29.8	10	20.0	85.2-31.4	0.68
3-4 veces por semana	16	40.0	21.8-53.1	15	30.0	16.8-43.1	
5-7 veces por semana	17	42.5	24.1-55.8	25	50.0	33.6-62.3	
Consumo verduras							
0-2 veces por semana	14	35.0	17.3-47.6	17	34.0	18.6-45.3	0.97
3-4 veces por semana	15	37.5	19.5-50.4	18	36.0	20.4-47.6	
5-7 veces por semana	11	27.5	13.0-41.9	15	30.0	16.8-43.1	
Consumo productos lácteos							
0-2 veces por semana	14	35.0	19.5-50.4	15	30.0	15.1-40.8	0.09
3-4 veces por semana	3	7.5	-1.0-16.0	13	26.0	11.7-36.2	
5-7 veces por semana	23	57.5	38.8-71.1	22	44.0	27.8-56.1	
Mis padres o mis abuelos están en desacuerdo con lo que consumo							
0-2 veces por semana	35	87.5	70.1-94.8	38	76.0	56.8-83.1	0.40
3-4 veces por semana	2	5.0	-2.0-12.0	7	14.0	2.6-21.3	
5-7 veces por semana	3	7.5	-1.0-16.0	5	10.0	1.3-18.6	
Consumo alimentos viendo el televisor							
0-2 veces por semana	25	62.5	44.1-75.8	30	60.0	43.8-72.1	0.24
3-4 veces por semana	4	10.0	0.28-19.7	11	22.0	10.1-33.8	
5-7 veces por semana	11	27.5	10.9-39.0	9	18.0	54.8-26.5	
Veo más de una hora al día la televisión							
0-2 veces por semana	20	50.0	31.3-63.6	26	52.0	33.6-62.3	0.32
3-4 veces por semana	12	30.0	13.0-41.9	9	18.0	5.4-26.5	
5-7 veces por semana	8	20.0	16.8-43.1	15	30.0	16.8-43.1	
Juego fuera de casa							
0-2 veces por semana	33	26.3	10.9-39.0	25	50.0	31.69-60.3	0.09
3-4 veces por semana	24	31.6	15.1-44.8	13	26.0	11.7-36.2	
5-7 veces por semana	28	42.1	24.1-55.8	12	24.0	11.7-36.2	
Tengo un horario para jugar							
0-2 veces por semana	11	27.5	10.9-39.0	23	46.0	29.7-58.2	0.04
3-4 veces por semana	2	5.0	-2.0-12.0	6	12.0	2.6-21.3	
5-7 veces por semana	27	67.5	49.5-80.4	21	42.0	25.9-54.0	

IC=Intervalo de confianza

En la Tabla 2 se muestra la asociación de hábitos alimentarios y actividad física de acuerdo al IMC (normopeso, sobrepeso, obesidad con RI). Se presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.007$) en la frecuencia de consumo de jugo, leche o bebidas azucaradas entre comidas: los niños con obesidad y RI fueron los que presentaron el mayor consumo con una frecuencia de 3-4 veces por semana. De forma contraria, el consumo frecuente de frutas (5-7 veces por semana) fue mayor en el grupo con normopeso (65.5%), en comparación a los grupos con sobrepeso (34.5%) y obesidad con RI (37.9%); estos resultados fueron estadísticamente significativos ($p=0.001$). Por su parte, en el consumo de verduras se presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.02$), siendo el grupo con sobrepeso el que tiene una mayor frecuencia de consumo (34.5%) de 5-7 veces por semana que los grupos de normopeso y obesidad con RI (28.6% vs. 27.6%), respectivamente.

Por otro lado, el 18.5% de los niños con normopeso, el 10.3% con sobrepeso y ningún niño del grupo con obesidad con RI, reportaron que sus padres o abuelos están en desacuerdo con lo que comen de 5-7 veces a la semana; estos resultados fueron estadísticamente significativos ($p=0.03$). Otro aspecto destacado fue la frecuencia con que los niños ven la televisión; sólo el 18.5% de los niños con normopeso reportó ver la televisión por más de una hora con una frecuencia de 5-7 veces por semana; mientras que el 13.8% del grupo con sobrepeso reportó la misma frecuencia y por último, el mayor porcentaje se observó en el grupo de niños con obesidad y RI en el cual el 48.3% reportó la misma frecuencia de 5-7 veces por semana; estos resultados fueron estadísticamente significativos ($p=0.001$).

Discusión

Respecto al consumo de alimentos considerados como saludables, el 46% de los niños reportó consumir frutas con una frecuencia de 5 a 7 veces por semana y sólo 19.5% dijo consumirlas de 0 a 2 veces por semana. Un estudio sobre el consumo de frutas en niños escolares de Perú, mostró un consumo mayor de estas comparado con el nuestro, ya que el 60% de los escolares reportó una frecuencia de consumo de 5-7 veces por semana (Aparco et al., 2016). Estudios han reportado que los niños y niñas cuyas madres trabajan fuera de casa más horas a la semana registran un menor consumo de alimentos saludables en comparación con los niños cuyas madres pasan más tiempo con sus hijos (Mora Vergara et al., 2022).

En cuanto a la frecuencia de consumo de frutas y verduras de acuerdo al IMC/E, el 93.5% de los niños con normopeso reportó un consumo de 5-7 veces por semana; el 68.5% de los participantes con sobrepeso reportaron un consumo de frutas y verduras de 5-7 veces por semana. En un estudio realizado por Medina Montaña et al. (2012) se mencionó que el 78.3% de niños con sobrepeso consumieron frutas y verduras más de 3 veces por semana, porcentaje similar al reportado por participantes con peso saludable (76.6%) del presente estudio.

En nuestro estudio el 30.2% de los niños refirió consumir verduras entre 5 y 7 veces por semana, otro estudio realizado sobre hábitos alimentarios en niños mexicanos mencionó que el 18.4% de ellos consumía verduras diariamente. Cabe destacar que dicho estudio se realizó en la zona centro del país lo que puede implicar que la accesibilidad a las verduras puede ser diferente a la del sur del estado de Jalisco, ubicado en el occidente de México (Ruíz-Martínez et al., 2012). Por otro lado, un estudio realizado en Perú, mostró que el 35% de los niños consumen verduras frescas diariamente y el 12% dijo que nunca las habían probado (Aparco et al., 2016). El consumo de verduras frescas en la población mexicana y de algunos habitantes de América del Sur no cumple con la recomendación del consumo diario (la mayoría de los países no cumple con las recomendaciones diarias) (Sánchez-García et al., 2014). Un estudio sobre hábitos alimentarios y deportivos realizado en Pamplona, España, con niños de 6 a 12 años de edad, reveló un bajo consumo de frutas y verduras, ya que el 73.1% consumía menos de una porción por día de verduras y el 67.2% consumía menos de dos porciones de frutas por día (Santiago et al., 2014). Esto pone de manifiesto la complejidad en la interacción de los factores que intervienen en la adquisición y desarrollo de hábitos alimentarios así como la importancia de un buen diagnóstico; además, existe evidencia de que la disponibilidad de los alimentos es un factor determinante para la elección y el consumo de los mismos, por lo que las personas que tienen más acceso a alimentos variados y nutritivos, tendrán un mejor estado nutricional.

La mayoría de los participantes (74.2%) del presente estudio reportaron un consumo de comida considerada poco saludable, como por ejemplo frituras y churritos, 0-2 veces por semana, además, se presentó un mayor consumo de estos alimentos en niñas que en niños. Al comparar estos resultados con los obtenidos por otro estudio en niños mexicanos, los autores reportaron un consumo de frituras de 68% con una frecuencia de 2 o más veces por semana; otro estudio realizado en México publicó que el 75.3% de niños consumen comida chatarra 2 o más veces por semana (Alvear-Galindo et al., 2013; Sánchez-García et al., 2014). Estos datos muestran una frecuencia de consumo de alimentos poco saludables similar a nuestros resultados.

Los resultados de la frecuencia de consumo de jugos o bebidas azucaradas entre comidas, arrojaron que el 52.8% de los niños tiene un consumo de moderado a alto (3-7 veces por semana) de estos alimentos. En otro estudio similar realizado con 173 niños escolares en una zona marginada de la Ciudad de México, se encontró que el 48% consumía diariamente al menos uno o más jugos industrializados, refrescos u otros tipos de bebidas (Alvear-Galindo et al., 2013), por lo que es necesario implementar estrategias que disminuyan el consumo de estas bebidas en población infantil para prevenir enfermedades en su vida adulta.

Tabla 2. Hábitos alimentarios de los niños en base al IMC.

Hábitos alimentarios	Peso Saludable			Sobrepeso			Obesidad y RI			P
	n	%	95% IC	n	%	95% IC	n	%	95% IC	
Tomo jugo, leche o bebidas azucaradas entre comidas										
0-2 veces por semana	20	66.6	45.0-81.6	15	50.0	31.0-8.9	8	26.6	9.8-43.4	0.007
3-4 veces por semana	5	16.6	2.5-30.8	8	26.6	9.8-43.4	18	60.0	41.3-78.6	
5-7 veces por semana	5	16.6	2.5-30.8	7	23.3	7.2-39.4	4	13.3	0.42-26.2	
Consumo comida chatarra (papas fritas, churritos o frituras con sabor)										
0-2 veces por semana	20	66.6	45.0-81.6	25	83.4	69.1-97.4	22	73.3	56.5-90.1	0.28
3-4 veces por semana	7	23.3	7.2-39.4	2	6.6	-2.8-16.1	3	10.0	1.3-21.3	
5-7 veces por semana	3	10.0	-1.3-21.3	3	10.0	-1.3-21.3	5	16.6	2.5-30.8	
Consumo alimentos en el coche										
0-2 veces por semana	25	83.3	60.6-92.7	25	83.3	64.8-95.1	28	93.3	83.8-102.8	0.53
3-4 veces por semana	2	6.6	-2.8-16.1	1	3.3	-3.4-10.1	0	0.0	---	
5-7 veces por semana	3	10.0	-1.3-21.3	4	13.3	0.42-26.2	2	6.6	-2.8-16.1	
Consumo frutas										
0-2 veces por semana	9	30.0	12.6-47.4	3	10.0	-1.3-21.3	5	16.6	2.5-30.8	0.001
3-4 veces por semana	1	3.3	-3.4-10.1	17	56.6	34.3-72.2	13	43.3	24.5-62.1	
5-7 veces por semana	20	66.6	45.0-81.6	10	33.3	15.4-51.2	12	40.0	18.3-54.9	
Consumo verduras										
0-2 veces por semana	16	53.3	31.0-68.9	4	13.3	0.42-26.2	10	33.3	15.4-51.2	0.02
3-4 veces por semana	5	16.6	2.5-30.8	16	53.3	31.0-68.9	11	36.6	18.3-54.9	
5-7 veces por semana	9	30.0	9.8-43.4	10	33.3	15.4-51.2	9	30.0	9.8-43.4	
Consumo productos lácteos										
0-2 veces por semana	13	43.3	21.3-58.6	9	30.0	12.6-47.4	7	23.3	7.2-39.4	0.50
3-4 veces por semana	6	20	2.5-30.8	5	16.6	2.5-30.8	5	16.6	2.5-30.8	
5-7 veces por semana	11	36.6	15.4-51.2	16	53.3	34.3-72.2	18	60.0	37.8-75.4	
Mis padres o mis abuelos están en desacuerdo con lo que como										
0-2 veces por semana	19	63.3	37.8-75.4	26	86.6	69.1-97.4	28	92.9	73.7-99.5	0.03
3-4 veces por semana	6	20.0	2.5-30.8	1	3.3	-3.4-10.1	2	6.6	-2.8-16.1	
5-7 veces por semana	5	16.6	2.5-30.8	3	10.0	-1.3-21.3	0	0.0	---	
Consumo alimentos viendo el televisor										
0-2 veces por semana	13	43.3	21.3-58.6	21	70.0	48.7-84.5	22	73.3	52.6-87.4	0.12
3-4 veces por semana	6	20.0	4.8-35.1	5	16.6	2.5-30.8	4	13.3	0.42-26.2	
5-7 veces por semana	11	36.6	15.4-51.2	4	13.3	0.42-26.2	4	13.3	0.42-26.2	
Veo más de una hora al día la televisión										
0-2 veces por semana	21	70.0	45.0-81.6	14	46.6	24.5-62.1	11	36.6	18.1-54.9	0.001
3-4 veces por semana	3	10.0	-1.3-21.3	12	40.0	21.3-58.6	4	13.3	0.42-26.2	
5-7 veces por semana	6	20.0	2.5-30.8	4	13.3	0.42-26.2	15	50.0	27.7-65.6	
Juego fuera de casa										
0-2 veces por semana	14	46.6	24.5-62.1	8	26.6	9.8-43.4	13	43.3	21.3-58.6	0.19
3-4 veces por semana	11	36.6	15.4-51.2	9	30.0	12.6-47.4	5	16.6	2.5-30.8	
5-7 veces por semana	5	16.6	2.5-30.8	13	43.3	21.3-58.6	12	40.0	18.3-54.9	
Tengo un horario para jugar										
0-2 veces por semana	16	53.3	31.0-68.9	6	20.0	4.8-35.1	11	36.6	18.3-54.9	0.08
3-4 veces por semana	1	3.3	-3.4-10.1	5	16.6	2.5-30.8	2	6.6	-2.8-16.1	
5-7 veces por semana	13	43.3	21.3-58.6	19	63.3	41.3-78.6	17	56.6	34.3-72.2	

IC= Intervalo de confianza, RI= Resistencia a Insulina

Con respecto a la actividad física, encontramos que los niños tienden a jugar fuera de casa de forma más frecuente (5-7 veces por semana) en comparación con las niñas (42% vs. 25%). De forma similar, los niños reportaron seguir un horario de juego con mayor frecuencia (5-7 veces por semana) en comparación a las niñas (68% vs 41%). Resultados similares se reportaron en los estudios realizados por Aparco et al. (2016) en Lima, Perú donde participaron 824 escolares de 6-10 años de ambos sexos y por Santiago et al. (2014) en población infantil de España donde participaron 3,061 niños y niñas con edades de 6-10 años. Ambos estudios refieren que las niñas practican menos deportes que los niños y tienen mayor nivel de sedentarismo. Los hábitos adoptados en edades muy tempranas persisten durante la edad adulta, por lo que esta disminución de actividad física se ve reflejada en años posteriores. La ENSANUT (2018) reportó que la prevalencia de sobrepeso y obesidad es mayor en mujeres (76.8%) que en hombres (73%), mismo que coincide con el porcentaje de realización de actividad física donde el 32.5% de las mujeres encuestadas reportan que realizan menos de 150 minutos por semana de actividad física en comparación con el 24.8% de los hombres. Se ha mencionado que una de las causas de la disminución de actividad física al aire libre en niñas es por la época de violencia que se está viviendo en México actualmente. Por lo que es necesario buscar estrategias de realización de actividad física en lugares seguros como las escuelas o en lugares donde los niños puedan ser acompañados por los padres.

En el presente estudio, el mayor porcentaje de niños con obesidad consume 3-4 veces por semana jugos o bebidas azucaradas entre comidas. Estos resultados son similares a los obtenidos por Medina Montaña et al. (2012), quienes reportaron que el 60% de niños con obesidad consume refrescos y bebidas azucaradas dos veces por semana. Otro estudio realizado en Argentina reportó que un 79.7% de los niños con obesidad consumía refrescos de manera regular (Padilla, 2011). Por su parte, Machado et al. (2018) reportaron que el 34.6% de niños con sobrepeso u obesidad consumen muy frecuentemente este tipo de bebidas. Esto revela que el consumo de bebidas azucaradas tales como refrescos, bebidas de fruta y bebidas de sabor dulce está relacionado con un mayor IMC (Nissensohn et al., 2018; Ramírez-Vélez et al., 2017).

El presente estudio también reveló que los niños con obesidad pasan más horas al día frente a la televisión. Estudios han demostrado que pasar varias horas frente al televisor o dispositivo electrónico incrementa el riesgo de padecer sobrepeso u obesidad (Arocha Rodulfo, 2019; Dutra et al., 2015).

La totalidad de los participantes con obesidad reportaron que sus padres o abuelos están de acuerdo con lo que consumen. Lo anterior puede estar relacionado con el hecho de que los hábitos alimentarios de los padres o abuelos influyen en la conducta alimentaria desde edades tempranas (Molina et al., 2021; Ruíz-Martínez, 2012).

Finalmente, se ha demostrado que la etiología de la obesidad es multifactorial y su estudio es complejo;

prueba de ello es que no se ha frenado el incremento y la prevalencia de obesidad en todo el mundo. Identificar los hábitos alimentarios en los niños resulta de interés tanto para investigadores de salud pública como para investigadores de otras disciplinas. Su estudio debe ser abordado desde una perspectiva genética, nutricional, económica, social, clínica, biológica, psicológica, entre otras.

Referencias

- Alvear-Galindo, M., Yakamoto-Kimur, L., Morán-Alvarez, C., Solís-Díaz, M., Torres-Durán, P., Juárez-Oropeza, M., Acuña-Sánchez, M., y Ferreira-Hermosillo, A. (2013). Consumo alimentario dentro y fuera de la escuela. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 51(4), 450-455. <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2013/im134r.pdf>
- Aparco, J. P., Bautista-Olórtegui, W., Astete-Robilliard, L., y Pillaca, J. (2016). Evaluación del estado nutricional, patrones de consumo alimentario y de actividad física en escolares del Cercado de Lima. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 33, 633-639. <https://rpmpesp.ins.gob.pe/index.php/rpmpesp/article/view/2545/2573>
- Arocha Rodulfo, J. (2019). Sedentarismo, la enfermedad del siglo XXI. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis*, 31(5), 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.arteri.2019.04.004>
- Barajas-García, L., Valdés-Miramontes, E., Reyes Castillo, Z., y Enciso Ramírez, M. (2021). Prevalencia de síndrome metabólico en población infantil del Sur de Jalisco, México. *Journal of Behavior and Feeding*, 2(1), 8-16. <https://doi.org/10.32870/jbf.v2i1.22>
- Brown, C. L., Halvorson, E. E., Cohen, G. M., Lazoric, S., y Skelton, J. A. (2015). Addressing childhood obesity: opportunities for prevention. *Pediatric Clinics of North America*, 62(5):1241-61. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2015.05.013>
- Comisión Nacional de Bioética. (2019). Declaración Helsinki, antecedentes y posición de la Comisión Nacional de Bioética. (03 de junio de 2019). <http://www.conbioetica-mexico.salud.gob.mx/descargas/pdf/helsinki.pdf>
- De Cosmi, V., Scaglioni, S, y Agostoni C. (2017). Early taste experiences and later food choices. *Nutrients*, 9(2), 107. <https://doi.org/10.3390/nu9020107>
- Dutra, G., Kaufmann, C., Pretto, A., y Albernaz, E. (2015). Television viewing habits and their influence on physical activity and childhood overweight. *Journal de Pediatria*, 91(4), 346-351. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2014.11.002>
- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino. 2016. Instituto Nacional de Salud Pública. (23 de mayo de 2019). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/209093/ENSANUT.pdf>
- Fisberg, M., Maximino, P., Kain, J., y Kovalskys, I. (2016). Obesogenic environment - intervention opportunities. *Journal de Pediatria*, 92(3), 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2016.02.007>
- Fliet, S., González-Gil, E., Miguel-Berges, M., y Moreno Aznar, L. A. (2021). Food portion sizes, obesity, and related metabolic complications in children and adolescents. *Nutrición Hospitalaria*, 38(1):169-176. <https://doi.org/doi.org/10.20960/nh.03118>
- García Cuartero, B., García Lacalle, C., Jiménez Lobo, C., González Vergaz, A., Calvo Rey, C., Alcázar Villar, M. J., y Díaz Martínez, E. (2007). Índice HOMA y QUICKI, insulina y péptido C en niños sanos. Puntos de corte de riesgo cardiovascular. *Anales de Pediatria*, 66(5), 481-90. <https://doi.org/10.1016/j.anepe.2007.05.004>

- org/10.1157/13102513
- Llewellyn, A., Simmonds, M., Owen, C. G., y Woolacott, N. (2016). Childhood obesity as a predictor of morbidity in adulthood: a systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, 17(1), 56-67. <https://doi.org/10.1111/obr.12316>
- López-Hernández, L., Pérez-Ros, P., Fargueta, M., Elvira, L., López-Soler, J., y Pablos, A. (2020). Identificación de predictores del índice de grasa visceral en la población obesa y con sobrepeso para controlar la obesidad: un estudio de intervención aleatorizado. *Obesity Facts*, 13(3), 403-414. <https://doi.org/10.1159/000507960>
- Machado, K., Teylechea, P., Bermúdez, A., Lara, J., Geymonat, M., Girardi, F., García, M., Vecchio, S., y Pérez, C. (2018). Consumo de bebidas en niños de cuarto año escolar y su relación con sobrepeso-obesidad. *Archivos de Pediatría del Uruguay*, 89(1), 26-33. <https://doi.org/10.31134/ap.89.s1.3>
- Medina Montaña, R., Moreno Pérez, V., y Romero-Velarde, E. (2012). Comparación del consumo de alimentos durante el horario escolar en niños de 6 a 11 años de edad con sobrepeso u obesidad y con peso saludable. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 13(3). <https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/310>
- Molina, P., Gálvez, P., Stecher, M. J., Vizcarra, M., Coloma, M. J., y Schwingel A. (2021). Influencias familiares en las prácticas de alimentación materna a niños preescolares de familias vulnerables de la Región Metropolitana de Chile. *Atención Primaria*, 53(9), 102-122. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2021.102122>
- Mora Vergara, A., López Espinoza, A., Martínez Moreno, A. G., Bernal Gómez, S., Martínez Rodríguez, T., y Hun Gamboa, N. (2022). Determinantes socioeconómicos y sociodemográficos asociados al consumo de frutas y verduras de las madres de familia y los hogares de escolares de Jalisco. *Nutrición Hospitalaria*, 39(1), 111-117. <https://doi.org/10.209060/nh.03668>
- Nissensohn, M., Fuentes Lugo, D., y Serra-Majem, LL. (2018). Sugar-sweetened beverage consumption and obesity in children's meta-analyses: wrong answers to right questions. *Nutrición Hospitalaria*, 35(1), 474-488. <https://doi.org/10.20960/nh.1492>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2019. Obesidad y sobrepeso (12 de julio de 2019). <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Oyarce Merino, K., Valladares Vega, M., Elizondo-Vega, R., y Obregón, A. M. (2016). Conducta alimentaria en niños. *Nutrición Hospitalaria*, 33(6), 1461-1469. <https://doi.org/10.20960/nh.810>
- Padilla, I. S. (2011). Prevalence of overweight/obesity and factors associated with the preventive-predictive value in the school children aged 6 to 11 in Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina. *Salud Colectiva*, 7(3), 377-388. <https://doi.org/10.18294/sc.2011.272>
- Ramírez-Vélez, R., Fuerte-Celis, J. C., Martínez-Torres, J. y Correa-Bautista, J. E. (2017). Prevalencia y factores asociados al consumo de bebidas azucaradas en escolares de 9 a 17 años de Bogotá, Colombia: Estudio FUPRECOL. *Nutrición Hospitalaria*, 34(2), 422-430. <https://doi.org/10.20960/nh.250>
- Bosqued Estefanía, M. J., y Royo Bordonada, M. A. (2017). Hábitos alimentarios: adquisición y modificación. En M. A. Royo Bordonada (Ed.), *Nutrición en Salud Pública* (pp. 83-98). Escuela Nacional de Sanidad, Instituto de Salud Carlos III.
- Ruiz-Martínez, E., Álvarez-Martínez, I., Ruiz-Jaramillo, M. C. (2012). Hábitos de alimentación en niños con sobrepeso y obesidad. *Pediatría de México*, 14(3), 124-131. <https://www.medigraphic.com/pdfs/conapeme/pm-2012/pm123f.pdf>
- Salvo, D., Parra, D. C., Jáuregui, A., Reséndiz, E., García-Olvera, A., Velazquez, D., Aguilar-Farias, N., Colón-Ramos, U., Hino, A. A., Kohl III, H. W., Pratt, M., Ramirez Varela, A., Ramirez-Zea, M. y Rivera, J. A. (2021). Capacity for childhood obesity research in Latin American and US Latino populations: State of the field, challenges, opportunities, and future directions. *Obesity Reviews*, 22(3), 1-14. <https://doi.org/10.1111/obr.13244>
- Sánchez-García, R., Reyes-Morales, H., y González-Unzaga, M. A. (2014). Preferencias alimentarias y estado nutricional en niños escolares de la Ciudad de México. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México*, 71(6), 358-366. <https://doi.org/10.1016/j.bmhmx.2014.12.002>
- Santiago, S., Cuervo, M., Zazpe, I., Ortega, A., García-Perea, A. y Martínez, J. A. (2014). Situación ponderal, hábitos alimentarios y deportivos en población castellano-manchega de 6 a 12 años. *Anales de Pediatría*, 80(2), 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2011.07.009>
- Secretaría de Salud. (2019). Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud. (24 de mayo de 2019). <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/rlgsmis.html>
- Visiedo, A., Sainz de Baranda, P., Crone, D., Aznar, S., Pérez-Llamas, F., Sánchez-Jiménez, R., Velázquez, F., Berná-Serna, J., y Zamora, S. (2016). Programas para la prevención de la obesidad en escolares de 5 a 10 años: revisión de la literatura. *Nutrición Hospitalaria*, 33, 814-824. <https://doi.org/10.20960/nh.375>
- World Health Organization. (2019). The WHO Child Growth Standards. Growth reference data for 5-19 years. (04 de junio de 2019). https://www.who.int/growthref/who2007_bmi_for_age/en/



Artículo de investigación

Survey on the use of hydroponic greenhouses in the classroom. Effects on students' eating habits

Encuesta sobre el uso de invernaderos hidropónicos en el aula. Efectos en los hábitos alimentarios de los estudiantes

Lorenzo Guasti

Giammarco Bei

Instituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa (INDIRE), Firenze, Italia

Recibido: 26-04-2022

Aceptado: 01-07-2022

Abstract

During a research study focused on the application of the Bifocal Modelling methodology to the use of hydroponic greenhouses in schools to study plant growth and the identification of variables that contribute to plant health, a positive impact on students' eating habits was found. Following this finding, a survey was conducted to quantify the impact of this activity on students' perceptions of vegetables grown in the classroom. The results are positive and indicate that incorporating the management of a vegetables garden or hydroponic greenhouse into the curriculum can have positive effects on the eating habits of the students.

Keywords: STEM, modelling, makers, education, hydroponic greenhouse

Resumen

Durante una investigación enfocada a la aplicación de la metodología de Modelado Bifocal al uso de invernaderos hidropónicos en escuelas para estudiar el crecimiento vegetal y la identificación de variables que contribuyen a la salud de las plantas, se encontró un impacto positivo en los hábitos alimentarios de los estudiantes. Tras este hallazgo, se realizó una encuesta para cuantificar el impacto de esta actividad en las percepciones de los estudiantes sobre las verduras cultivadas en el aula. Los resultados son positivos e indican que incorporar al programa escolar el manejo de una huerta o invernadero hidropónico puede tener efectos positivos en los hábitos alimentarios de los estudiantes.

Palabras clave: STEM, modelado, movimiento “maker”, educación, invernadero hidropónico

Introduction

For the past four years, the National Institute for Documentation, Innovation and Educational Research (INDIRE) has been conducting several cycles of scientific research in about 30 schools of the Italian School System (Fuhrmann et al., 2021), investigating the benefits of using hydroponic greenhouses to teach science subjects, understanding the importance of modeling through the application of the Bifocal Modeling Methodology.

As reported in Ammentorp (2019), hydroponic gardening systems are a good solution to implement in schools. Hydroponics does not use soil. Plants grow in mineral-rich water, with a simple stand to hold the roots. Plants are grown mostly indoors, using sunlight or more often an LED lighting system. There are different types of hydroponic systems, each with its own pros and cons. Some people choose to build their own hydroponic gardens, or there are kits that can be purchased. The flexibility, ease, and affordability of setting up hydroponic gardens is one of its many advantages. The system very often consists of relatively inexpensive DIY (Do It Yourself) models. They are simple to use and maintain, and there is a wide variety of plants that can grow in the system year-round, including fruits, vegetables, flowers, herbs, among others. Hydroponics is also a technique that stimulates sensitivity towards ecology, since it is characterized by low water consumption; also, being an agricultural technique free of pesticides, pollutants, and heavy metals that can be found in the soil, it raises awareness on the quality of vegetables or fruits produced (Peckenpaugh, 2001).

Bifocal Modeling is an inquiry-driven science learning framework that trains students to correctly perform physical experiments, measuring variables, and creating related analogic or computer models (Blikstein et al., 2014, 2016; Fuhrmann et al., 2013, 2014, 2018). During Bifocal Modeling activities, students can observe scientific phenomena such as plant growth, heat conduction, ink diffusion through physical experimentation and design of analogic or computer models. Then they can compare the measured and simulated data gathered from these distinct empirical and virtual modalities.

The Italian School System

Referring to the Italian National Curriculum and trying as much as possible to accommodate the teachers' needs relative to their standard teaching methods, we defined a set of activities centered on the topic of plant growth in a hydroponic greenhouse correlated with mathematical modeling activities. The main theme of the research was for the kids to understand the pattern of plant growth by building a mathematical model. However, at the same time, the students learned about food quality, the presence of pesticides in the soil, and the amount of water needed to grow a plant. The literature has documented that using a hydroponic system in the classroom for educational purposes has been useful in introducing students to healthy eating habits, sustainable food systems, and community environmental issues (Carver & Wasserman, 2012).

Why investigate food-related aspects

As was previously mentioned, the main research focused on analyzing the acquisition of STEM skills while performing a science experiment and through modeling the observed phenomenon. However, as often happens, in addition to the main findings, we found evidence regarding other aspects, particularly the approach to nutrition, and we consider these "side effects" positive.

The reason of investigating the possible positive effects associated with working with plants in the classroom, stems from the hypothesis that this kind of activity can counteract problems that can be found in children as shown, for example, by the work of Traversa et al. (2017). These authors surveyed 1708 children from 6 to 11 years old and found that most of them (>75%) thought that fruits and vegetables are available all year round and are not seasonal. In addition, most students (>75%) showed difficulty in recognizing herbs by their smell. In addition, Traversa et al. (2017) argue that to prevent foodborne illnesses, it is critical to engage children in educational experiences designed to introduce them to how food is produced and to learn the correct behaviors to apply when eating fruits and vegetables.

As also Laurie et al. (2017) argued in the survey they conducted in 90 schools in South Africa, involving teachers, educators, students, garden administrators and garden workers, that activities related to growing vegetables increase students' and educators' attitudes toward vegetable and fruit consumption compared to those who do not engage in these activities. In fact, the behavior of students and educators toward growing and eating vegetables and fruits was generally positive: 68.4% of students and 86.4% of educators said they would gladly eat vegetables every day. According to educators, the specific role of actively participating in growing fruits and vegetables in nutrition education is a determining factor in learning healthy eating and nutrition (19.2%) and learning a healthy lifestyle (15.9%). Most people analyzed in the survey agreed that both vegetables (81.8% educators; 84.1% learners) and fruits (92.3% educators; 89.9% learners) taste good. Overall, 86.4% of educators and 68.6% of learners acquired the notion that it is important to eat vegetables every day, while 93.2% of educators and 84.5% of learners claimed that it is possible to eat fruit every day.

Methods

Participants and settings

A questionnaire was sent to all the 30 kindergartens and primary and secondary schools that completed the main research cycle. Teachers were chosen because they were available and willing to collaborate in the research. Seven classes, with 140 students aged 5-13 involved, accepted to have the questionnaires applied to them and answer the questions. The responding institutions included one kindergarten, four primary, and two lower secondary schools.

Design of learning materials

A DIY system was designed to facilitate the economic aspect of having a hydroponic greenhouse in the classroom, since buying a greenhouse would have been

too expensive for a school budget. To help teachers, we provided all the necessary information and materials for the successful development of the classroom experiment:

- General introduction: created to inform students and teachers about hydroponic systems.
- Lesson plan: designed to support teachers and based on the Bifocal Modeling framework.
- A manual: written for the assemblage of the DIY hydroponic greenhouse and the experiment.

The Hydroponic Greenhouse was created from recycled material following the DIY approach. It consisted of a waterproof tank with plain or nutrient-rich water. A polystyrene board with holes in it floated on the water. A plastic cup with a perforated sponge was put inside each hole to grow the plants. Daylight or a LED lamp were used as the light source.

Finally, teachers were provided with a basic mathematical digital model made with Scratch, a popular block programming system especially designed for young students (<https://scratch.mit.edu>), to begin working with students on modeling plant growth. This portion of the work will not be explored further in this article as it was the subject of the main research (Fuhrmann et al., 2021).



Figure 1. Instructional materials and manuals provided to students and teachers to build a hydroponic greenhouse in the classroom.

Instructional sequence

The time pattern of classroom activities was similar for primary and secondary schools. The activities were divided into ten weeks and four phases. The instructional materials had the same design for both levels, although teachers were free to customize them according to the academic and grade level of the students. The instructional activities were inspired by the Bifocal Modeling (Bliksten et al., 2012) approach that was the subject of the main research. The lesson plan was co-designed with the teachers and tailored to the specific needs of the class and grade level.

The activity took place in four phases, which were extensively documented and the results published by the research group (Fuhrmann et al., 2021):

1. First, students were taught what a hydroponic greenhouse is and then the class was organized into working groups of 4 or 5 students. Then a Classroom Experiment began. The groups, helped by the teacher, were asked to **build the hydroponic greenhouse** and eventually customize it. The greenhouses were

placed in a protected location, seeds were planted, and finally the day-to-day growth of the plants was observed by all groups.

2. As the plants started to grow, the students began **measuring different variables** and recording the data collected on a journal. They were also asked to observe the well-being of the plants and analyze it in terms of plant quality (healthy, sick, etc.).
3. After the observational phase of plant growth, the main research focused on the **construction and study of a paper or mathematical model** that would optimally describe plant growth according to the main variables involved.
4. The last step of the activity was to **compare the measured data with the data produced by the model** and make the necessary considerations as to whether the model appropriately described reality or whether it needed to be improved. This could be done with elementary models made from paper drawings and icons, making qualitative predictions. If, on the other hand, the model was a software, the results obtained were compared quantitatively.

As a side project, thanks to the feedback from the teachers involved, we thought it would be useful to also investigate the positive repercussions of this research on the students' perceptions of conscious cultivation, the quality of the food we eat, and the presence of harmful substances in the irrigation water.

The Questionnaire

Since we had not initially planned a methodology for observing and documenting aspects related to nutrition, we decided to re-contact all the teachers who had participated in the research and provide a short questionnaire to confirm the information observed in class. The purpose of the questionnaire was to verify whether the topic of nutrition was addressed in the classroom during the experimentation with the greenhouse and what were the students' reactions to the possibility of eating vegetables grown hydroponically.

Questions for the teachers were:

1. During the experimentation with the Hydroponic Greenhouse, did the teacher in the classroom talk about nutrition topics?
2. Was nutrition addressed because students spontaneously showed interest in the topic?
3. What themes emerged after the implementation of the hydroponic greenhouse in the classroom?
4. With the hydroponic greenhouse, have you grown an edible plant?
5. Have you eaten the cultivated plant/vegetables?
6. What reaction did you register in the students?
7. Do you think experimenting with the hydroponic greenhouse in the classroom has improved students' awareness of food-related issues?

Results

Overall, the questionnaire, responded by teachers of seven schools, provided positive indications that conducting classroom experiments involving plant growth helps students to be more sensitive to issues related to food and nutrition.

From questions 1 and 2, we realized that most of the teachers (71.4%) talked in class about food-related subjects, starting with a topic suggested by the teachers themselves. Occasionally (14.3%), students were the ones who introduced the theme. Answers to question 3 showed that having a hydroponic greenhouse in the classroom raised many ecological, economic, and social issues. The topics that were covered were numerous and are shown in Figure 2.

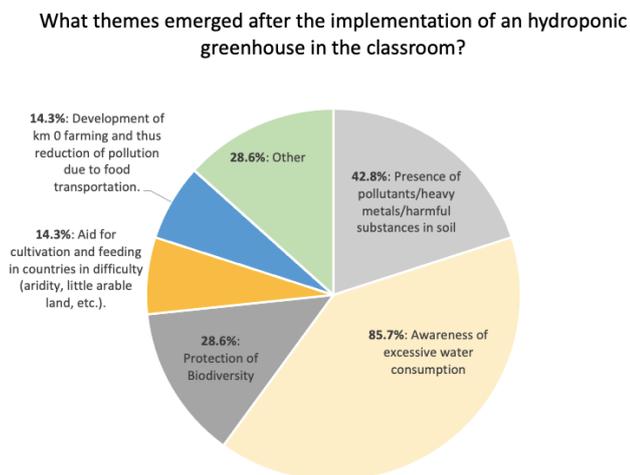


Figure 2. Themes approached in the classroom after the implementation of educational activities associated with hydroponic greenhouses.

Although we found from responses to question 4 that all but one of the schools (85.7%) grew edible plants, question 5 revealed that in no school (0%) they ate the vegetables they grew. The reason is that, as a matter of internal school rules, it is forbidden to eat anything that does not come from certified suppliers or is made by the family of the student, such as breakfast. In the comments to the questionnaire, we read that the in one school where teachers and students would have been happy to eat the salad, they had problems with the cultivation system and the plants did not reach the necessary ripeness: *“Unfortunately, the cultivated plants did not grow despite care. The students were waiting to be able to eat the salad they had grown, and with the agreement of the parents, we had already brought olive oil in the classroom to season it. However, since we could not consume the salad, we “fell back” on bread and oil. In the afternoons, around 4 p.m., we started snacking on leftover bread from the cafeteria and fruit. It was a viable alternative, as well as a pleasant habit”*. This is why question 6 was unanimously answered (100%) indicating that there was no reaction by the students.

To question 7, asking if the experimentation had improved students’ awareness on food-related issues, most teachers responded affirmatively (57.1%), whereas a lower number explicitly answered “no” (28.6%).

Conclusions

Although our main research was not centered on the impact of the hydroponic greenhouse on students’ eating habits, the results of our questionnaire report a positive effect in most cases. Teachers considered that implementing a hydroponic greenhouse in the classroom was a positive experience, since it was a good opportunity to talk about edible vegetables, sustainable

agriculture, the fight to reduce pollution, and sensitivity toward healthy food production. We consider that these types of interventions are definitely a positive first step necessary to obtain changes in children and teenager eating behaviors in the long term. A national survey carried out in 2016 in 489 schools in the United States revealed that 42% of school nutrition directors reported that students ate more fruits and vegetables after the addition of a school garden (Lloyd, 2019).

Unfortunately, more and more young children are eating a very limited variety of food (Birch & Fisher, 1998). It happens for a great many reasons, including the limited parental time available to prepare food and the availability of packaged and processed food at very cheap prices. This creates a limitation in menu variety and is associated with unhealthy habits. On the other hand, it is increasingly more common to find schools adopting hydroponic greenhouses or gardens to foster a positive attitude toward nature, ecology and respect for nature and sustainable development, as happened in a program that took place in a middle school in Brooklyn, N.Y. (Lloyd, 2019). Here the students built a hydroponic farm in a classroom and started to provide food box services to community members (i.e., they sold part of their harvest to a small number of customers at reduced prices), also contributing to raise awareness on food justice themes in underserved neighborhoods.

Our research made a small contribution in teaching students an alternative way of growing vegetables, introducing them to new kinds of food in a playful way and enticing them to taste what was produced. Unfortunately, the Covid-19 emergency greatly limited the number of schools involved in this project, since laboratory teaching was suspended, however we believe that in the future the number will grow significantly. For this reason, the research group we are working with is planning a second tranche of experiments with the greenhouse; this time the questionnaire on eating habits will be delivered along with the main questionnaire, so that the number of schools surveyed will be larger.

References

- Ammentorp, L. (2019). Hydroponic gardens as a learning tool with preservice teachers. In C. Meidl & L. Ammentorp (Eds.), *Impactful practices for early childhood teacher educators* (pp. 87-96). Rowman & Littlefield Publishers.
- Birch, L. L., & Fisher, J. O. (1998). Development of eating behaviors among children and adolescents. *Pediatrics*, *101*(Supplement_2), 539-549.
- Blikstein, P. (2014). Bifocal modeling: promoting authentic scientific inquiry through exploring and comparing real and ideal systems linked in real-time. In A. Nijholt (Ed.), *Playful user interfaces* (pp. 317-352). Springer
- Blikstein, P., Fuhrmann, T., & Salehi, S. (2016). Using the bifocal modeling framework to resolve “Discrepant Events” between physical experiments and virtual models in biology. *Journal of Science Education and Technology*, *25*(4), 513-526. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9623-7>
- Fuhrmann, T., Salehi, S., & Blikstein, P. (2013). Meta-modeling knowledge: Comparing model construction and model interaction in bifocal modeling. In *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children* (pp. 483-

- 486). ACM. <https://doi.org/10.1145/2485760.2485810>
- Fuhrmann, T., Salehi, S., & Blikstein, P. (2014). A tale of two worlds: Using bifocal modeling to find and resolve “discrepant events” between physical experiments and virtual models in biology. In J. L. Polman, E. A. Kyza, D. K. O’Neill, I. Tabak, W. R. Penuel, A. S. Jurow, K. O’Connor, T. Lee, & L. D’Amico (Eds.). *Learning and Becoming in Practice: The International Conference of the Learning Sciences (ICLS) 2014, Vol. 2* (pp. 863-870). International Society of the Learning Sciences. <https://repository.isls.org//handle/1/1206>
- Fuhrmann, T., Schneider, B., & Blikstein, P. (2018). Should students design or interact with models? Using the Bifocal Modelling Framework to investigate model construction in high school science. *International Journal of Science Education*, 40(8), 867-893. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1453175>
- Fuhrmann, T., Guasti, L., Niewint, J., & Macedo L. (2021). Applying the bifocal modeling framework in the Italian school system: “Making-Science” with special needs students. In *ATEE Spring Conference 2020-2021 Book of Abstracts* (p. 179). Firenze University Press. https://publicatt.unicatt.it/retrieve/handle/10807/188042/332294/2021_ATEE_Garavaglia_Petti_Triacca_BOA.pdf
- Blikstein, P., Fuhrmann, T., Greene, D., & Salehi, S. (2012). Bifocal modeling: mixing real and virtual labs for advanced science learning. In *Proceedings of the 11th International Conference on Interaction Design and Children* (pp. 296-299). ACM. <https://doi.org/10.1145/2388676.2388729>
- Laurie, S. M., Faber, M., & Maduna, M. M. (2017). Assessment of food gardens as nutrition tool in primary schools in South Africa. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 30(4), 80-86. <https://doi.org/10.1080/16070658.2017.1271609>
- Lloyd, R. (2019, July 7). *How hydroponic school gardens can cultivate food justice, year-round*. <https://choice.npr.org/index.html?origin=https://www.npr.org/sections/thesalt/2019/07/07/737789983/how-hydroponic-school-gardens-can-cultivate-food-justice-year-round?t=1655197736726>
- Peckenpaugh, D. J. (2001). Classroom hydroponics. *Green Teacher*, 65, 20-25.
- Traversa, A., Adriano, D., Bellio, A., Bianchi, D. M., Gallina, S., Ippolito, C., Romano, A., Durelli, P., Pezzana, A., & Decastelli, L. (2017). Food safety and sustainable nutrition workshops: educational experiences for primary school children in Turin, Italy. *Italian Journal of Food Safety*, 6(1), 6177. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2017.6177>



Journal of Behavior and Feeding

Publicación periódica del Instituto de Investigación
en Comportamiento Alimentario y Nutrición
Avenida Enrique Arreola Silva No. 883, Colonia
Centro, C.P. 49000 Ciudad Guzmán, Jalisco,
México. Tel. +52 3415752222, ext. 46102