



**Uso de prototipos experimentales en la producción microganadera entomofágica de precisión.  
oportunidad de innovación en la protección y promoción de la seguridad alimentaria.**

Isabel Lagunes-Gómez<sup>1</sup>, Verónica López-Domínguez<sup>1</sup>, Josimar Muñoz-Delgado<sup>1,2</sup>, Israel Viveros-Torres<sup>1</sup>, Maria Luisa Siliceo-Rodríguez<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Academia de Ciencias Básicas, Tecnológico Nacional de México Campus Alvarado, Escolleras Norte S/N, Col. La Trocha, Alvarado 95250, Veracruz. México.

<sup>2</sup>Maestría en Ingeniería Mecatrónica, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de los Valles, Carretera Guadalajara - Ameca Km. 45.5, Col. Ameca Centro, Ameca 46600, Jalisco, Mexico.

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico Superior de Xalapa. Sección 5ª Reserva Territorial, Colonia Santa Bárbara, Xalapa 91000, Veracruz, México.

\*Autor de correspondencia: [maluisasili@hotmail.com](mailto:maluisasili@hotmail.com)

Recibido 11 de agosto de 2020; aceptado 26 de septiembre de 2020

**RESUMEN**

Para contribuir al combate de la inseguridad alimentaria, que afecta a cerca de 2,000 millones de personas en el mundo, y del hambre, que afecta a cerca de 690 millones (FAO, FIDA, OMS, PMA, y UNICEF, 2020); basados en el reconocimiento de la contribución de los insectos a la seguridad alimentaria (FAO, 2013), y de las Tecnologías para mejorar su producción mediante mecanización y automatización, como ámbitos clave (FAO, 2013); decidimos identificar oportunidades en el uso potencial de prototipos experimentales en la microganadería entomofágica de precisión, urbana y periurbana.

Como estrategia para la detección de oportunidades de innovación y la búsqueda estructurada de soluciones específicas, se empleó la Teoría de la Solución de Problemas Inventivos (TRIZ). Contrastamos el *actual grado de desarrollo* (El Editor, 2009) contra las Leyes de Evolución de los Sistemas Técnicos (Aguilar-Zambrano, Valencia, Martínez, Quiceno, y Sandoval, 2012). Como resultado, se identificaron cinco Sistemas Técnicos Referentes (STR) y se encontraron oportunidades de innovación en la reingeniería de distribución de espacios para optimizar el manejo y en la integración de funciones actualmente dispersas en los distintos STR. Además, se definieron ocho funciones básicas: monitoreo y control de temperatura, control de luminosidad, separación por tamaños, ventilación, extracción de desechos, alimentación, hidratación, y monitoreo y control de humedad.

Los hallazgos constituyen requerimientos para el diseño de un prototipo experimental de granja que busca mejorar las prácticas de producción aplicando sistemas electrónicos y automatizados de control en las variables que inciden en su eficiencia. El principal beneficio potencial de este prototipo es su contribución al desarrollo de una fuente sostenible de proteínas de origen animal y de nutrientes de alta calidad, con una tasa eficiente de conversión alimento-carne, con bajas emisiones de gases efecto invernadero, y con menor dependencia de agua y tierra, respecto a la ganadería convencional: la entomofagia (FAO, 2013).

**PALABRAS CLAVE:** Producción, microganadera, entomofágica, prototipo

### **ABSTRAC**

To contribute to the fight against food insecurity, which affects about 2 billion people in the world, and hunger, which affects about 690 million (FAO, IFAD, WHO, WFP, and UNICEF, 2020); based on the recognition of the contribution of insects to food security (FAO, 2013), and of Technologies to improve their production through mechanization and automation, as key areas (FAO, 2013); We decided to identify opportunities in the potential use of experimental prototypes in precision, urban and peri-urban entomophagic micro-livestock farming.

As a strategy for the detection of innovation opportunities and the structured search for specific solutions, we used the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ). We contrast the current degree of development (El Editor, 2009) against the Laws of Evolution of Technical Systems (Aguilar-Zambrano, Valencia, Martínez, Quiceno, and Sandoval, 2012). As a result, five Reference Technical Systems (STR) were identified and opportunities for innovation were found in the reengineering of space distribution to optimize management and in the integration of functions currently dispersed in the different STRs. In addition, eight basic functions were defined: temperature monitoring and control, brightness control, size separation, ventilation, waste extraction, feeding, hydration, and humidity monitoring and control.

The required results for the design of an experimental farm prototype that seeks to improve production practices by applying electronic and automated control systems in the variables that affect its efficiency. The main potential benefit of this prototype is its contribution to the development of a sustainable source of protein of animal origin and high quality nutrients, with an efficient feed-meat conversion rate, with low greenhouse gas emissions, and with less dependency. of water and land, compared to conventional livestock: entomophagy (FAO, 2013)

**KEY WORDS:** Production, micro-livestock, entomophagic, prototype

## INTRODUCCIÓN

Si bien la alimentación adecuada o los medios para obtenerla es un Derecho Humano reconocido desde 1948 en la Declaración Universal de Derechos Humanos y en diversos instrumentos internacionales como el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC), la Cumbre Mundial sobre la Alimentación (CMA), las Directrices sobre el derecho a la alimentación (FAO, 2019) y Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible y en su momento los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM); prevalecen condiciones que hacen suponer que el mundo no está bien encaminado para alcanzar el objetivo de hambre cero (FAO et al., 2020) fijado para 2030 en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

A nivel internacional se estima que un tercio de las muertes infantiles puede atribuirse a la desnutrición, se prevé que la demanda de alimentos aumente en un 60% a medida que la población crezca hasta los 9,700 millones antes de 2050 (FAO, 2016), se observa que desde 2014 el número de personas que padecen hambre aumenta lentamente (FAO et al., 2020) y que si la tendencia reciente continua el número de personas

afectadas por el hambre superará los 840 millones de personas para 2030 (FAO et al., 2020).

La preocupación se agrava si consideramos que, a decir del informe *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019. Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía* (FAO, FIDA, OMS, PMA, y UNICEF, 2019), en la actualidad la inseguridad alimentaria se agrava por factores como conflictos sociales, la variabilidad climática, los fenómenos meteorológicos extremos, la desaceleración y el debilitamiento de la economía, pandemias, plagas, y el crecimiento de la población; este contexto además ocasiona que las dietas saludables sean cinco veces más costosas que las dietas que solo satisfacen las necesidades energéticas mediante alimentos amiláceos, reduce la cantidad y la calidad de las dietas e incrementa el riesgo de diversas formas de malnutrición (FAO et al., 2020).

En el caso particular de México, los cuatro últimos periodos de gobierno se han desarrollado a la par de dos proyectos internacionales enfocados a promover el desarrollo, los ODM y los ODS. En la figura 1 se puede observar la política de combate al hambre y la inseguridad alimentaria en estos periodos. Entre las estrategias existieron programas de apoyo alimentario, el desarrollo

de capacidades, la promoción de mecanismos de participación y autogestión social y comunitaria, y la incorporación de tecnologías en la agroindustria.

**Figura 1. Política de combate al hambre y la inseguridad alimentaria en México, 2001-2024**

Proyecto	Objetivo	Administración	Objetivo del PND
Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (2000-2015)	Objetivo 2: Poner fin al hambre	Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024	2.1 Brindar atención prioritaria a grupos históricamente discriminados mediante acciones que permitan reducir las brechas de desigualdad sociales y territoriales 2.3: Promover y garantizar el derecho a la alimentación nutritiva, suficiente y de calidad 3.8: Desarrollar de manera sostenible e incluyente los sectores agropecuario y acuícola-pesquero en los territorios rurales, y en los pueblos y comunidades indígenas y afroamericanas
		Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018	2.1: Garantizar el ejercicio efectivo de los derechos sociales para toda la población (Meta México Incluyente) Programa Nacional México Sin Hambre 2014-2018.
Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) (2015-2030)	Objetivo 1: Erradicar la pobreza extrema y el hambre	Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012	17: Abatir la marginación y el rezago que enfrentan los grupos sociales vulnerables para proveer igualdad en las oportunidades que les permitan desarrollarse con independencia y plenitud. 20: Promover el desarrollo sano e integral de la niñez mexicana garantizando el pleno respeto a sus derechos, la atención a sus necesidades de salud, alimentación, educación y vivienda, y promoviendo el desarrollo pleno de sus capacidades.
		Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006.	1: Mejorar los niveles de educación y bienestar de los mexicanos. 3: Impulsar la educación para el desarrollo de las capacidades personales y de iniciativa individual y colectiva.

Fuente: Anexo XVIII-Bis del PND 2019-2024 (Secretaría de Gobernación, 2019). Sitio Oficial e-congreso (Cámara de Diputados, 2020)

A pesar de estos esfuerzos, según el último dato reportado en el Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (SIODS), el 20.05% de la población padece inseguridad alimentaria moderada o severa, mientras que el 3.59% de la población tiene una

ingesta de alimentos por debajo del nivel mínimo de proteínas necesarias para considerarla nutrida (Gobierno de México, 2020) y a decir de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2018, el 55.5% de los hogares en México se identifica con inseguridad

alimentaria (INSP e INEGI, 2019). Como se puede observar en la figura 2, al interior del país la población en condición de inseguridad alimentaria se distribuye asimétricamente. Para el caso del estado de Veracruz, el

porcentaje de la población que padece inseguridad alimentaria moderada o severa es el 22.21 (Gobierno de México, 2020).

**Figura 2. Proporción de la población con inseguridad alimentaria moderada o severa**

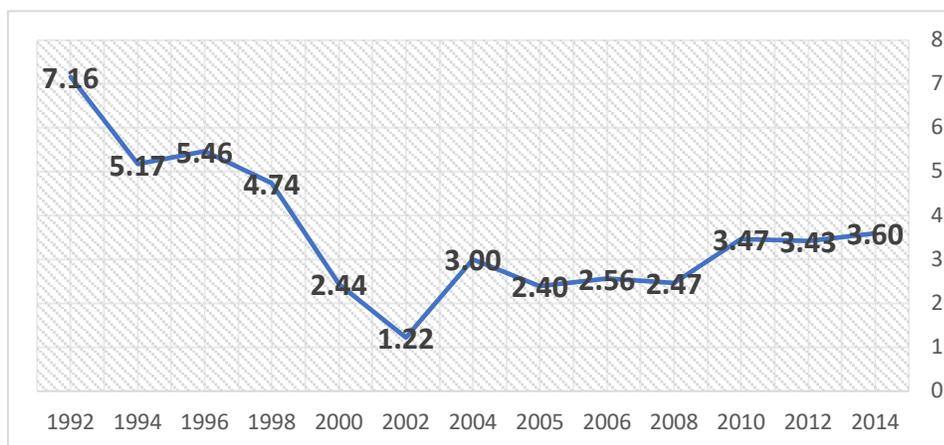


Fuente: Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Gobierno de México, 2020)

En lo que corresponde a la proporción de la población cuya ingesta de alimentos está por debajo del nivel mínimo de proteínas requeridas para considerarla nutrida, indicador introducido en México para evaluar de manera complementaria el cumplimiento del ODS 2 Hambre cero, se observa que la tendencia que se observaba decreciente entre 1992 (7.16) y 2002 (1.22)

se ha tornado creciente y según el último dato publicado es de 3.6 (ver figura 3)

**Figura 3. Proporción de la población por debajo del nivel mínimo de proteínas en México**



Fuente: Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Gobierno de México, 2020)

Como se puede observar, a pesar de la importancia que se ha concedido al combate al hambre y a la inseguridad alimentaria en diversos instrumentos de planeación y normativos, tanto a nivel internacional como nacional, aún nos encontramos distantes de alcanzar la meta de hambre cero y persisten condiciones que hacen suponer que esta no se alcanzará para el 2030. Para tratar de acortar estas brechas además se han establecido estrategias de seguimiento como los informes anuales que dan cuenta del estado de la seguridad alimentaria en el mundo editados por FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, en los que se ha identificado la transformación de los sistemas alimentarios en saludables, sostenibles e inclusivos como un área de interés complementaria en el combate al hambre y la

mala nutrición. Es por ello que en 2021 se realizará la *Cumbre sobre los sistemas alimentarios* con el objetivo de sensibilizar a la opinión pública mundial y entablar compromisos y medidas mundiales en pro de las personas, del medio ambiente, el clima y de nuestro futuro en común (ONU, s/f).

En este sentido, el informe *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020* (FAO et al., 2020), además de tener presente los impactos de la inseguridad alimentaria en las enfermedades crónico-degenerativas como retraso del crecimiento, bajo rendimiento, malnutrición, anemia, que a su vez implican mayor demanda en servicios de salud; enfatiza la necesidad de adoptar dietas saludables y sistemas alimentarios que incluyan consideraciones de

sostenibilidad reduciendo sus costos ambientales (FAO et al., 2020). Pues a decir de la Organización de Naciones Unidas (ONU, s/f) el cambio climático es a la vez causa y efecto de la producción de los sistemas alimentarios, en tanto: el 29 % de las emisiones de gases de efecto invernadero se genera en la cadena de suministro de los alimentos de la granja a la mesa; representan hasta el 80 % de la pérdida de biodiversidad, el 80 % de la deforestación y el 70 % de toda el agua dulce que se utiliza; y el sector ganadero genera más gases de efecto invernadero que el sector del transporte (ONU, 2006). Frente a esta problemática diversos actores consideran que la entomofagia pueden proporcionar gran parte de los requerimientos nutricionales necesarios a las personas de países en donde el consumo de alimentos está muy limitado (Fleta Zaragoza, 2018), y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) reconoce que ofrece una fuente sostenible de proteínas de origen animal y nutrientes de alta calidad, con una tasa eficiente de conversión alimento-carne, con bajas emisiones de gases efecto invernadero, y con menor dependencia de agua y tierra en su producción, respecto a la ganadería convencional (FAO, 2013).

En este contexto, este estudio es congruente con el objetivo 2 de la Agenda para el Desarrollo Sostenible 2030 y constituye una iniciativa para transformar los sistemas alimentarios para hacerlos más sostenibles, demanda impulsada por la *Cumbre sobre los sistemas alimentarios* y por el informe *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020*. Nuestro objetivo es explorar oportunidades de innovación en la protección y promoción de la seguridad alimentaria mediante el uso de prototipos experimentales en la producción microganadera entomofágica de precisión en zonas urbanas y periurbanas, aplicando sistemas electrónicos y automatizados de control en las variables que inciden en su eficiencia. El principal beneficio de esta propuesta es su contribución al desarrollo de una fuente sostenible de proteínas de origen animal y de nutrientes de alta calidad: la entomofagia.

## TEORÍA

En la sustentación teórica, el problema central de estudio es la seguridad alimentaria, que se alcanza cuando todas las personas en todo momento tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana (FAO,

2020). Por su parte la entomofagia, alternativa de solución planteada, se define como una práctica alimentaria de los humanos que consiste en comer insectos y se practica principalmente en regiones de Asia, África y América Latina (FAO, 2013). A decir de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013; Huis et al., 2013) se consumen más de 1,900 especies de insectos comestibles, cantidad que continua en aumento conforme avanza la investigación en el ramo.

La eficiencia de la alternativa de solución planteada se respalda desde los estudios sobre la composición de los alimentos, que buscan identificar y determinar sus características químicas y los mecanismos mediante los cuales los componentes químicos ejercen influencia sobre la salud y la enfermedad (Greenfield y Southgate, 2003). Con apoyo de estos estudios se ha determinado que la entomofagia es de importancia potencial como una de las vías para atender la seguridad alimentaria y el hambre, sobre todo si partimos de considerar que “Los insectos, en su conjunto, representan la mayor biomasa animal del planeta” (Arango Gutiérrez, 2005, p. 33); que existen estudios que demuestran que la carne de algunos insectos posee una alta eficiencia nutricional

(Fleta Zaragoza, 2018; Huis et al., 2013; Ramos-Elorduy y Pino M., 2001); y además presentan una alta digestibilidad (Fleta Zaragoza, 2018). Además de estos beneficios, los insectos son muy eficientes en la tasa de conversión alimento-carne y tienen un reducido impacto ambiental durante su ciclo de vida (FAO, 2013). Por tasa de conversión alimento-carne se entiende la cantidad de alimento que se necesita para producir un incremento de 1 kg en el peso. A decir de la FAO la tasa de los insectos es extremadamente eficiente, ya que en promedio pueden convertir 2 kg de alimento en 1 kg de masa de insecto, mientras que el ganado requiere 8 kg de alimento para producir 1 kg (FAO, 2013). Esta carne es rica en proteínas y vitaminas A, C, D y B (tiamina, riboflavina y niacina) (Fleta Zaragoza, 2018; Ramos-Elorduy y Pino M., 2001), tiene alto contenido en minerales como sodio, potasio, fósforo y calcio (Fleta Zaragoza, 2018), e incluso se compara y en algunos casos supera a los alimentos convencionales ricos en micronutrientes (Ramos-Elorduy y Pino M., 2001). Estas proteínas presentan una alta digestibilidad que oscila entre un 33% y un 95%; por encima del 60% se considera a un alimento como “concentrado proteínico” (Fleta Zaragoza, 2018).

Entre las diferentes especies con distinto valor nutricional, que también requieren diferentes ambientes para su reproducción, en México destacan: *Tenebrio molitor*, saltamontes (Orthoptera), Gusanos de Maguey y Escamoles. En este estudio, particularmente, es de nuestro interés el *Tenebrio molitor*, ya que es una especie de fácil manejo, con una tasa de conversión atractiva alimento-carne, y que posee un alto valor nutricional por la gran cantidad de proteínas que contiene y los beneficios que pueden tener para la salud gracias a la presencia de péptidos bioactivos (Zepeda Bastida, Herrera-Soto, Soto-Simental, Ocampo López, y Ayala Martínez, 2020).

A decir de la Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica los insectos forman parte del “microganado” también conocido como “miniganado” o “ganado no convencional”, que puede incluir a pequeños vertebrados e invertebrados autóctonos y por sus características puede criarse fácilmente en entornos urbanos (SCDB, 2011). La “microganadería entomológica” (Apolo-Arévalo y Lannacone, 2016; Losada Luna, Gutierrez Garaviz, y Angarita Maldonado, 2019) comprende la cría intensiva de insectos, en cautiverio y bajo condiciones controladas

sin afectar el ambiente (Apolo-Arévalo y Lannacone, 2016) y es adecuada para realizar en el hogar (SCDB, 2011). Por “granja de insectos” (Proteinsecta, 2020) o granja microganadera entendemos un espacio o herramienta utilizada para facilitar la cría, reproducción y engorde de insectos (Proteinsecta, 2020) de nuestro interés, en forma sostenible (SCDB, 2011), para su consumo como alimento rico en nutrientes. Este espacio es reducido en contraposición con otras granjas de animales donde se requiere de grandes extensiones de terreno y naves (Proteinsecta, 2020).

Finalmente, este estudio se aborda desde la perspectiva de la electrónica, concretamente desde la aplicación del diseño y modelado, programación estructurada, sistemas de control y la automatización en la Agricultura urbana y periurbana (AUP) para para el desarrollo de prototipos experimentales de granjas producción microganadera entomofágica de precisión.

La agricultura urbana y periurbana (AUP) incluye los productos de las actividades agropecuarias, pesqueras y forestales, así como los servicios ecológicos que proporcionan, que se lleva a cabo en pequeñas superficies como solares y terrazas que se ubican dentro de los límites o en los alrededores de las ciudades (FAO, 1999).

Un programa se define como “una serie de órdenes o instrucciones ordenadas con una finalidad concreta que realizan una función determinada”(Moreno Pérez, 2014, p. 12). Por su parte, el paradigma (Sánchez-García, Urías-Ruiz, y Gutiérrez-Herrera, 2015) de la Programación Estructurada se caracteriza por el uso de estructuras de control con entrada única y salida única (Cueva Lovelle, García Fuente, López Pérez, Luengo Díez, y Alonso Requejo, 1994).

Un sistema de control es un sistema que ante unos objetivos determinados responde con una serie de actuaciones (Ñeco García, Reinoso García, García Aracil, y Aracil Santoja, 2003) para que opere bajo parámetros definidos previamente (Carrillo Paz, 2011). Según Ñeco García, Reinoso García, García Aracil, y Aracil Santoja (2003) los elementos de un sistema de control son: variable(s) a controlar, planta o sistema, sensor, señal de referencia, actuador, y controlador. A la variable a controlar se le conoce también como como señal de salida y constituye la señal que deseamos que adquiera valores determinados. La planta o sistema es el conjunto de elementos que realizan una determinada función. El sensor permite captar el valor de la variable a controlar en determinados instantes de tiempo. La

señal de referencia, es la consigna o valor que deseamos que adquiera la señal de salida. El actuador actúa sobre el sistema modificando la señal de salida. El controlador o regulador es el elemento que comanda al actuador en función del objetivo de control.

La Automatización se refiere a minimizar la intervención humana en los procesos de gobierno directo en la producción (Córdoba Nieto, 2006), es decir, comprende la transferencia de tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos electrónicos.

La Agricultura de Precisión (AP) es un concepto que comprende la gestión basada en el reconocimiento de la variabilidad en los procesos de producción. Requiere el uso de las tecnologías para estimar, evaluar y entender dichas variaciones, estimar necesidades, y predecir con más exactitud (Lago González et al., 2011) e incluso controlar variables que inciden en la producción.

## **PARTE EXPERIMENTAL**

Este estudio es de tipo exploratorio, y servirá de base para la realización de un proyecto factible, o modelo operativo viable para atender un problemas previamente identificado (Dubs de Moya, 2002): la inseguridad alimentaria por deficiencias en el acceso universal a

alimentos de adecuada calidad nutricional y por el alto costo ambiental de la producción de fuentes tradicionales de proteína animal (Huis et al., 2013). Con relación a los métodos y materiales empleados para alcanzar el objetivo que se ha propuesto, la investigación que brinda apoyo para identificar el problema, determinar el estado de la técnica, y realizar el diagnóstico de necesidades y la identificación de oportunidades de innovación para la atención de la problemática; es de tipo análisis documental.

Como estrategia para detectar oportunidades de innovación y realizar la búsqueda estructurada de soluciones específicas en el diseño de Sistemas Técnicos (ST), ocuparemos la Teoría de la Solución de Problemas Inventivos (TRIZ). A decir de esta metodología, los ST presentan un desarrollo lógico evolutivo, cuyo propósito es alcanzar la idealidad, a través del mejoramiento de su desempeño, y su estado evolutivo puede determinarse según su nivel de cumplimiento de las *leyes de evolución* (Aguilar-Zambrano, 2012).

Se realizó una búsqueda por palabras clave y operadores booleanos en Google Patents, PATENTSCOPE de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual y en

el Sistema de Información de la Gaceta de la Propiedad Industrial (SIGA) del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Las coincidencias se evaluaron contra las *leyes de evolución* (leyes estáticas, que permiten evaluar la completitud estructural y funcional del sistema; las leyes cinemáticas, que permiten observar el sistema en una visión espacio-temporal para analizar su evolución tecnológica; y las leyes dinámicas, que establecen una proyección del sistema en el futuro) (Aguilar-Zambrano et al., 2012) de los ST, y realizada la verificación de cumplimiento y a partir de la comprensión de lo que los clientes y los usuarios esperan que haga el ST, se procedió a identificar oportunidades de innovación y se definieron los requerimientos funcionales.

## RESULTADOS

En el actual grado de desarrollo se identificaron cinco Sistemas Técnicos Referentes (STR) en Google Patents, mientras que en PATENTSCOPE y SIGA no se encontraron coincidencias (ver figura 4). Estos STR se evaluaron contra las *leyes de evolución* (Aguilar-Zambrano et al., 2012) de los ST para determinar su estado evolutivo, encontrándose áreas de oportunidad para la innovación electrónica en el cumplimiento de las leyes estáticas y cinemáticas. Como resultado se

encontraron oportunidades de innovación en la reingeniería de distribución de espacios para optimizar el manejo y en la integración de funciones actualmente dispersas en los distintos STR. Aplicando la metodología TRIZ, estas oportunidades se tradujeron en ocho funciones básicas o requerimientos funcionales (monitoreo y control de temperatura, control de

luminosidad, separación por tamaños, ventilación, extracción de desechos, alimentación, hidratación, y monitoreo y control de humedad) que servirán de base para el trabajo futuro diseño, construcción y evaluación de un prototipo de granja experimental para producción microganadera entomofágica; así como sus propiedades esenciales y deseables y los parámetros de control

**Figura 4. Sistemas Técnicos Referentes identificados en el actual grado de desarrollo**

Sistema Técnico Referente	Descripción
Mini Space Farm-A Food Regenerative System in the Long-Term Space Mission (United States Patent Núm. US20110296756A1, 2011)	Consiste en un método para producir de alimentos en misiones espaciales a largo plazo mediante el reciclaje eficiente de todos los desechos biológicos de humanos, animales y plantas en el entorno de la vida humana espacial. Esta Mini granja busca obtener autosuficiencia alimentaria, para que la misión no dependa del reabastecimiento de la tierra, mediante la cría de seis tipos de animales (larvas-gusanos de mosca doméstica, gusano de la harina, Superworm, Tubifex, cladocerano, y lombriz de tierra).
Systems and Methods for Rearing Insect Larvae (United States Patent Núm. US20130319334A1, 2013).	Consiste en un sistema para criar larvas que incluye una pluralidad de bandejas de cultivo con tapa adaptada para recibir larvas, entregar alimento y agua a las larvas de manera automática. Las bandejas están dispuestas en al menos una pila, cada pila comprende múltiples niveles de bandejas.
Equipo de cría de larvas de insectos y sistemas auxiliares (World Intellectual Property Organization Patent Núm. WO2015173450A1, 2015).	La invención consiste en un equipo integral de desarrollo y crecimiento de insectos, preferentemente saprófagos, Comprende un reactor de digestión de larvas, un sistema de alimentación, un sistema de aireación y un sistema de extracción de sólidos.
Method for insect breeding (World Intellectual Property Organization Patent Núm. WO2016/166465 A1, 2016).	Se refiere a un método para criar insectos en un entorno controlado desde la etapa de huevo o juvenil hasta la etapa de larva con una madurez predefinida. Comprende fases de crecimiento durante las cuales se almacenan alternando las fases de crecimiento con secuencias operativas de sincronización, concentración y dilución en las que se lleva a cabo al menos una operación de cría. Los insectos se clasifican y se distribuyen en contenedores separados, según categorías de tamaño o madurez, Los contenedores se agrupan entre sí para constituir unidades básicas de cría que comprenden un numero predefinido de contenedores, una unidad básica comprende solo insectos de la misma categoría.
Process for rearing insects (United States Patent Núm. US2018/0077912 A1, 2018).	Que comparte inventores y características con la patente Method for insect breeding (World Intellectual Property Organization Patent Núm. WO2016/166465 A1, 2016)

Fuente: Elaboración propia con base en (World Intellectual Property Organization Patent Núm. WO2016/166465 A1, 2016; United States Patent Núm. US2018/0077912 A1, 2018; World Intellectual Property Organization Patent

Núm. WO2015/173450 A1, 2015; United States Patent Núm. US2013/0319334 A1, 2013; United States Patent Núm. US2011/0296756 A1, 2011)

## CONCLUSIONES

Este documento forma parte de los trabajos de validación conceptual (nivel TRL 2) del proyecto de investigación *Prototipo experimental para la producción microganadera entomofágica de precisión*.

Después de verificar el grado de desarrollo de los STR y de la comprensión de lo que los clientes y los usuarios esperan de la tecnología de producción alimentaria, identificada como ámbito clave por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013; FAO et al., 2020); se concluye que existen áreas de oportunidad para el desarrollo de innovación tecnológica, por lo que como trabajo futuro se considera factible proceder a la prueba de concepto para realizar análisis detallados.

El principal motivo por el que se desarrolla esta investigación es su conveniencia social y ambiental; en

respuesta al agravamiento de la inseguridad alimentaria (FAO et al., 2019), que ocasiona que las dietas saludables sean cinco veces más costosas que las dietas que solo satisfacen las necesidades energéticas mediante alimentos amiláceos, reduce la cantidad y la calidad de las dietas e incrementa el riesgo de diversas formas de malnutrición (FAO et al., 2020); atiende el llamado de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO et al., 2020) a la transformación de los sistemas alimentarios mediante alternativas de agricultura sostenible y busca desarrollar tecnología de producción alimentaria que reduzcan los *costos ocultos<sup>1</sup> de las dietas*; y contribuye a reducción de los costos de la producción de alimentos variados y nutritivos mediante el incremento de niveles de tecnología y el control de los riesgos de producción alimentaria. Es conveniente mencionar también que como beneficio adicional de esta alternativa

---

<sup>1</sup> Es conveniente considerar que actualmente, las formas tradicionales de producción de proteína animal por ganadería intensiva y sobrepastoreo constituyen una fuente importante de desechos nocivos para el medio ambiente, entre ellos emisiones de gases efecto invernadero que contribuyen al cambio climático extremo, además de generar

deforestación. Por lo cual, es importante explorar nuevas fuentes de generación de proteína animal, particularmente la ganadería de insectos, debido a su bajo costo ambiental y a que los recursos que requieren para su producción son mínimos en comparación con la ganadería tradicional.

alimentaria se obtiene como subproducto abono a partir de excrementos de insecto (Arias, 2018).

Finalmente, si bien la entomofagia resultar de particular interés para países en desarrollo en los que vive el 98% de las personas que padece desnutrición (FAO, 2016), lo que comprueba que las condiciones de vida deficitarias por limitaciones al acceso a alimentos de calidad son mayores en ellos; el reto principal está quizá en su aceptación social, en concientizar y promover sus beneficios como opción alimentaria, ya que a pesar de su potencial nutricional es una opción alimentaria poco conocida. Por lo demás, debido a su bajo costo económico y ambiental, y a su alta capacidad nutricional es una estrategia con destacado potencial para el combate a la inseguridad alimentaria y la malnutrición mediante programas de apoyo alimentario, desarrollo de capacidades, y como mecanismos de participación y autogestión social y comunitaria.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Zambrano, J. A., Valencia, M. V., Martínez, M. F., Quiceno, C. A., y Sandoval, C. M. (2012). Uso de la Teoría de Solución de Problemas Inventivos (TRIZ) en el análisis de productos de apoyo a la movilidad para detectar

oportunidades de innovación. *Ingeniería y Competitividad*, 14(1), 137–151. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323571011>

Apolo-Arévalo, L., y Lannacone, J. (2016). Crianza del grillo (*Acheta domestica*) como fuente alternativa de proteínas para el consumo humano. *Scientia*, 17(17). doi: 10.31381/scientia.v17i17.389

Arango Gutiérrez, G. P. (2005). Los insectos: Una materia prima alimenticia promisorio contra la hambruna. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 33–37. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520106>

Arias, J. P. (2018). Nuevos abonos a partir de excrementos de insecto: El caso del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*). *Ingeniería y Región*, 19, 1–10. doi: 10.25054/22161325.1840

Cámara de Diputados. (2020). Planes nacionales de desarrollo. Recuperado el 30 de septiembre de 2020, de Sitio Oficial e-congreso website: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/compila/pnd.htm>

- Carrillo Paz, A. J. (2011). *Sistemas Automáticos de Control Fundamentos Básicos de Análisis y Modelado*. Venezuela: Fondo Editorial UNERMB. Recuperado de [http://150.185.9.18/fondo\\_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA%20DE%20CONTROL%20%201.pdf](http://150.185.9.18/fondo_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA%20DE%20CONTROL%20%201.pdf)
- Comparat, S., Hubert, A., Berro, F., y Levon, J.-G. (2016). *World Intellectual Property Organization Patent Núm. WO2016/166465 A1*. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/WO2016166465A1/en>
- Comparat, S., Hubert, A., Berro, F., y Levon, J.-G. (2018). *United States Patent Núm. US2018/0077912 A1*. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/US20180077912A1/ja>
- Córdoba Nieto, E. (2006). Manufactura y automatización. *Ingeniería e Investigación*, 26(3), 120–128. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0120-56092006000300014&lng=en&isoyt=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-56092006000300014&lng=en&isoyt=es)
- Cueva Lovelle, J. M., García Fuente, M. del P. A., López Pérez, B., Luengo Díez, M. C., y Alonso Requejo, M. (1994). *Introducción a la programación estructurada y orientada a objetos con Pascal*. Recuperado de <http://di002.edv.uniovi.es/cueva/publicaciones/libros/IPEYOO.pdf>
- El Editor. (2009). Ni Estado del Arte ni State of the Art. *Formación universitaria*, 2(3), 1–1. doi: 10.4067/S0718-50062009000300001
- FAO. (1999). Cuestiones de la agricultura urbana. En *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9901sp2.htm>
- FAO. (2013). *La Contribución de los Insectos a la Seguridad Alimentaria, los Medios de Vida y el Medio Ambiente* (p. 4). Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3264s/i3264s00.pdf>
- FAO. (2016). *Trabajo estratégico de la FAO para contribuir a la erradicación del hambre y la malnutrición* (Núm. I6431EN/1/11.16). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i6431s.pdf>
- FAO. (2019). *Quince años de implementación de las Directrices sobre el derecho a la alimentación. Revisión de los avances hacia el cumplimiento de*

- la *Agenda 2030*. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/right-to-food/resources/resources-detail/es/c/1238129/>
- FAO. (2020). Conceptos Básicos. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (Pesa) Centroamérica. En *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/es/>
- FAO, FIDA, OMS, PMA, y UNICEF. (2019). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019. Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía*. Roma.
- FAO, FIDA, OMS, PMA, y UNICEF. (2020). *Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables*. Roma. Recuperado de <https://doi.org/10.4060/ca9699es>
- Fleta Zaragoza, J. (2018). Entomofagia: ¿una alternativa a nuestra dieta tradicional? *Sanidad Militar*, 74(1), 41–46. doi: 10.4321/s1887-85712018000100008
- Font, A. F., VELASCO, S. R., GOBBI, P., GALIÑANES, A. L., y MORCILLO, A. L. (2015). *World Intellectual Property Organization Patent Núm. WO2015/173450 A1*. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/WO2015173450A1/es?q=WO2015%2f173450+A1-Equipo+de+cr%C3%ADa+de+larvas+de+insectos+y+sistemas+auxiliares>
- Gobierno de México. (2020). Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En *Objetivos de Desarrollo Sostenible, México*. Recuperado de <http://agenda2030.mx/index.html?lang=es#/home>
- Greenfield, H., y Southgate, D. A. T. (2003). *Datos de composición de alimentos. Obtención, gestión y utilización*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/009/y4705s/y4705s.pdf>
- Huis, A. van, Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Giulia, M., y Vantomme, P. (2013).

- Edible insects: Future prospects for food and feed security*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- INSP, y INEGI. (2019). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018. Presentación de resultados*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ensanut/2018>
- Lago González, C., Sepúlveda Peña, J. C., Barroso Abreu, R., Fernández Peña, F. Ó., Maciá Pérez, F., y Lorenzo, J. (2011). Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. *Idesia (Arica)*, 29(1), 59–69. doi: 10.4067/S0718-34292011000100009
- Losada Luna, O. F., Gutierrez Garaviz, J., y Angarita Maldonado, W. L. (2019). *Grianza: Microganadería Sustentable. Resultados Proyecto de Investigación*. Neiva, Colombia.: Servicio Nacional de Aprendizaje. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/341833383\\_GRIANZA\\_Microganaderia\\_Sustentable\\_-\\_Resultados\\_Proyecto\\_de\\_Investigacion](https://www.researchgate.net/publication/341833383_GRIANZA_Microganaderia_Sustentable_-_Resultados_Proyecto_de_Investigacion)
- Moreno Pérez, uan C. (2014). *Programación*.
- Newton, G. L., y Sheppard, D. C. (2013). *United States Patent Núm. US2013/0319334 A1*. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/US20130319334A1/en?q=US20130319334A1+%22Systems+and+Methods+for+Rearing+Insect+Larvae%22>
- Ñeco García, R. P., Reinoso García, O., García Aracil, N., y Aracil Santoja, R. (2003). *Apuntes de sistemas de control*. ECU. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/biblioitsav/titulos/62263>
- ONU. (2006, noviembre 29). La ganadería produce más gases contaminantes que el transporte [ONU noticias]. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2006/11/1092601>
- ONU. (s/f). Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios de 2021. En *Desarrollo Sostenible*. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/food-systems-summit-2021/>
- Proteinsecta. (2020). Granjas de insectos. Recuperado el 3 de octubre de 2020, de <https://www.proteinsecta.es/granja-de-insectos/>
- Ramos-Elorduy, J., y Pino M., J. M. (2001). Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de

- México. *Revista de la Sociedad Química de México*, 45(2), 66–76. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstractypid=S0583-76932001000200006yln=esynrm=isoytln=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstractypid=S0583-76932001000200006yln=esynrm=isoytln=es)
- Sánchez-García, J. E., Urías-Ruiz, M., y Gutiérrez-Herrera, B. E. (2015). Análisis de los problemas de aprendizaje de la programación orientada a objetos. *Ra Ximhai*, 11(4), 289–304. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46142596021>
- SCDB. (2011). *Alternativas de medios de vida para el uso no sostenible de la carne de animales silvestres. Informe elaborado por el Grupo de enlace del CDB sobre la carne de animales silvestres*. Montreal, Quebec, Canada. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-60-es.pdf>
- Secretaría de Gobernación. Anexo XVIII-Bis al Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. , Gaceta Parlamentaria de la Cámara de Diputados § Año XXII (2019).
- Zepeda Bastida, A., Herrera-Soto, I. A., Soto-Simental, S., Ocampo López, J., y Ayala Martínez, M. (2020). Producción y usos de Tenebrio molitor. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 6(12), 1–4. doi: 10.29057/icap.v6i12.5712
- Zhang, M. (2011). *United States Patent Núm. US2011/0296756 A1*. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/US20110296756A1/en?q=US20110296756A1+%22A+Food+Regenerative+System+in+the+Long-Term+SpaceMission%22>