

# Optimización conjunta de variables de respuesta en la producción de grillos para el sector alimenticio

**Luis Eladio Rodríguez González**

✉ lurodriguez@itcr.ac.cr

**Mauricio Barrientos Johanson**

✉ barrientosjohanson@estudiantec.cr

**Yeudy Cardona Solís**

✉ yeudiantonio190398@gmail.com

**Kendra Barrantes Orozco**

✉ kenbarrantes@estudiantec.cr

## Introducción

En los últimos años, las tendencias alimentarias actuales en proteínas alternativas y los esfuerzos realizados por organizaciones de investigación y organizaciones no gubernamentales, como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), han llamado la atención de las personas sobre el potencial de los alimentos comestibles a base de insectos o los mismos en sí (Dossey et al., 2016).

En el 2009, cuando la población mundial era aproximadamente de 6.841 millones (Banco Mundial 2019), la FAO emitió un informe estipulando los pasos necesarios para mantener la seguridad alimentaria de los más de 9.100 millones de habitantes que tendrá el planeta Tierra para el 2050 (FAO 2009). La preocupación más eminente es asegurar la producción de alimentos necesarios para mantener una población que, para ese entonces, se traducirá en una producción anual de carne que

alcance 470 millones de toneladas (Tripathi et al. 2019).

De la misma manera, es bien sabido el efecto negativo que tiene para el medio ambiente la producción de carne, sea de res, cerdo o pollo, ya que, por ejemplo, dentro de los grandes grupos que emite mayores gases de efecto invernadero se encuentra el sector ganadero, con un 18% en su equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). La ganadería es también una de las principales causas de la degradación de suelos y recursos hídricos. Por esta razón, se han comenzado a buscar nuevas e innovadoras alternativas que suplan las necesidades alimenticias con un menor aporte de contaminación. Una solución la representan los insectos, como los grillos, los cuales son altos en proteína, hierro, vitamina B12, zinc y aportan poca grasa.

Se ha informado que el número de nuevas empresas basadas en insectos aumentó significativamente entre 2010 y 2015 (Dossey et al., 2016). En América Latina, Bermúdez-Serrano (2020) analizó las actividades empresariales actuales y reportó un total de 28 empresas productoras de insectos como alimento en la región, de las cuales tres empresas se clasifican como “cultivadores profesionales de insectos”, y el resto son más bien pequeñas e incipientes proyectos empresariales. Los países con más

emprendimientos identificados en la región son: México, quien lidera la lista con 13 emprendimientos, Costa Rica con 4 y Brasil con 3 empresas (Bermúdez-Serrano, 2020).

Ahora bien, en vista de toda la información anteriormente descrita, nace la importancia de conocer más y mejor, y apoyar este tipo de emprendimiento sobre la producción y desarrollo de grillos en nuestra región con la finalidad de lograr el máximo rendimiento (sobrevivencia) de los mismos. Para ello se aplica el diseño de experimentos, el cual es un método



## Rzeszów en Polonia siembran árboles para la habitabilidad urbana en tiempos de cambio climático

Rzeszów es reconocida como una de las ciudades más verdes y sostenibles de Polonia, gracias a su enfoque en el diseño y la preservación del ecosistema, especialmente en tiempos de creciente sensibilidad hacia el cambio climático, según Magdalena Chodownik de EuroNews.

<https://es.euronews.com/2023/07/26/polonia-rzeszow-siembrar-arboles-para-la-habitabilidad-urbana-en-tiempos-de-cambio-climatic>

sistemático utilizado en estadística aplicada para evaluar las numerosas alternativas posibles en una o varias variables del diseño de cuidado de estos insectos. Cabe destacar que este también permite manipular varios factores de entrada para determinar el tipo de efecto para obtener el resultado deseado o mejorado.

De esta forma; el presente estudio es el resultado de un trabajo preliminar de análisis para el

proceso de producción de grillos en la Zona Norte del país, gracias a la vinculación realizada por medio del CTEC (Cooperación para la Transferencia de Tecnología y Educación Continua) del Tecnológico de Costa Rica.

Técnicamente consistió en realizar un diseño factorial de tres factores de entrada con una réplica, en dos niveles cada uno aplicado a la maximización de 2 variables de respuesta (Rendimiento y Peso).

En otras palabras, se combinaron la edad de los grillos al ingresar a producción, la cantidad de grillos en el contenedor de producción y el tiempo de cosecha para formar la harina; en la búsqueda de la mejor combinación que aumente la supervivencia de los grillos (variable de rendimiento) y que los mismos tengan el mayor peso posible (variable de peso).

**Figura 1.** Imagen de harina de grillo con fines ilustrativos



**Fuente:** Tomado de: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2020/02/05/cita-ucr-apoya-a-emprendedores-para-producir-y-exportar-polvo-de-grillo.html> el 01 de junio 2023

## Materiales y métodos

Se procedió a visitar la empresa "INORTH" ubicada en Muelle de San Carlos para observar cómo se llevaba a cabo el proceso de desarrollo de los grillos en los tres contenedores habilitados para la actividad, los cuales se encuentran divididos de la siguiente manera: uno dedicado únicamente a la producción de grillos, el cual es donde se desarrollan y se cosechan; otro donde se lleva a cabo toda la parte logística de la empresa y, por último, el contenedor donde se realiza el proceso de manufactura para consumo (secado y triturado).

Como problemática se estableció el determinar el factor y los niveles que generan una mayor significancia en la supervivencia de los grillos, logrando

un peso objetivo para la etapa de cosecha

El primer factor es el ingreso de los insectos a engorde (12 a 15 días), el segundo se denomina "llenado", que abarca el lote de grillos de 70 000 y 100 000 unidades, y el último, llamado "cosecha", se determinó en dos niveles de 40 a 45 días para continuar con el proceso de manufactura.

Visto el problema a tratar en el estudio, se trazó un plan a través del software minitab (Diseño de Experimentos) que permitiera identificar la maximización del factor más influyente, tanto en el peso de los grillos como en el rendimiento (sobrevivencia).

Se procedió a utilizar los datos que ya el dueño de la empresa tenía

recolectados. El proceso incluye la espera a que los grillos pasen por el periodo de incubación, que va de los 0 a 4 días, luego se transportaron a otra estación donde comienzan un proceso de desarrollo, y es aquí donde los grillos pasan la mayor parte de su juventud que va de los 4 a los 12 días. Por último, se continuó con la etapa de engorde, que va de los 12 a los 40-45 días. Finalmente, entre los 40 y/o 45 los grillos son recolectados para su posterior procesamiento.

Se plantearon dos variables de respuesta, las cuales fueron el rendimiento y peso. Para este caso el rendimiento es el porcentaje de supervivencia de los grillos por caja, y la variable de respuesta de peso sería el peso por caja de grillos. Como dato importante a mencionar,

el peso se calcula por caja debido a que, si se calculara por grillo, existiría un porcentaje de error muy alto, además de que el trabajo se volvería muy extenuante.

Los factores seleccionados fueron los siguientes: entrada, llenado y cosecha. Para comprender un poco mejor este apartado, la entrada sería la edad en la cual entran los grillos, el llenado sería la cantidad

de grillos que entran por caja y, por último, la cosecha sería a los días que se recolectan los grillos para su respectivo proceso.

### Resultados

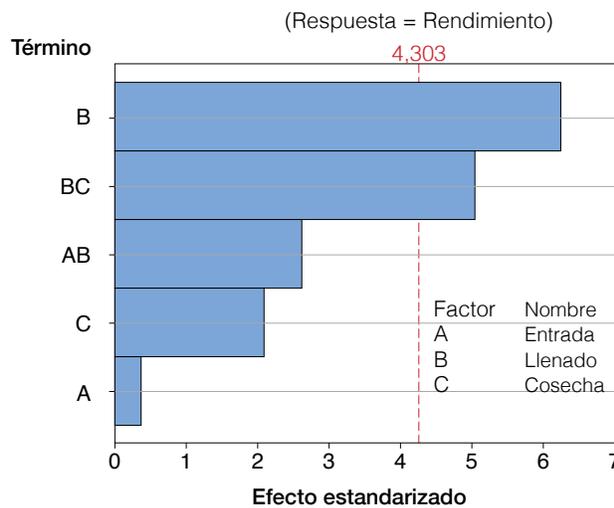
A continuación, se muestran los resultados más relevantes del estudio.

### 1. Determinación de efectos significativos

Como parte inicial del estudio, se detalla el resultado del diagrama de Pareto de efectos estandarizados que muestra los efectos de los factores de entrada utilizados que, luego del análisis de datos, resultaron significativos. Esto para ambas variables de respuesta definidas para el estudio, es decir, el rendimiento y el peso.

**Figura 2.** Resultado de efectos significativos en la variable de respuesta rendimiento

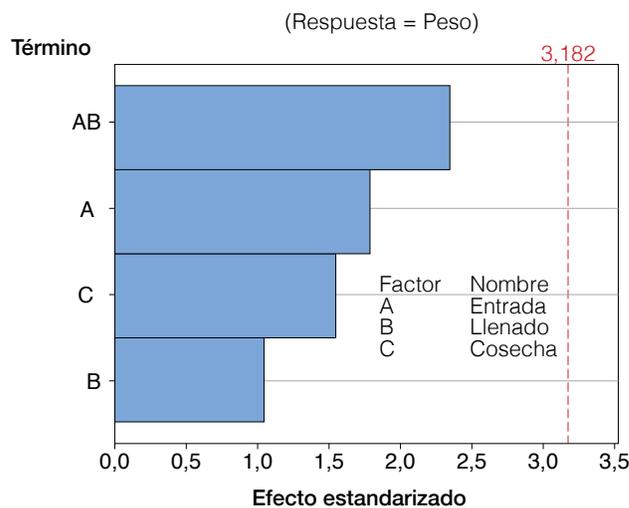
### Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



**Nota:** Cálculos realizados con valores proporcionados por la empresa

**Figura 3.** Resultado de efectos significativos en la variable de respuesta peso

### Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



**Nota:** Cálculos realizados con valores proporcionados por la empresa

## 2. Análisis de interacciones

Como resultado de la evaluación de efectos significativos en cada variable de respuesta fue necesario verificar la interacción llenado – cosecha solamente para la variable del

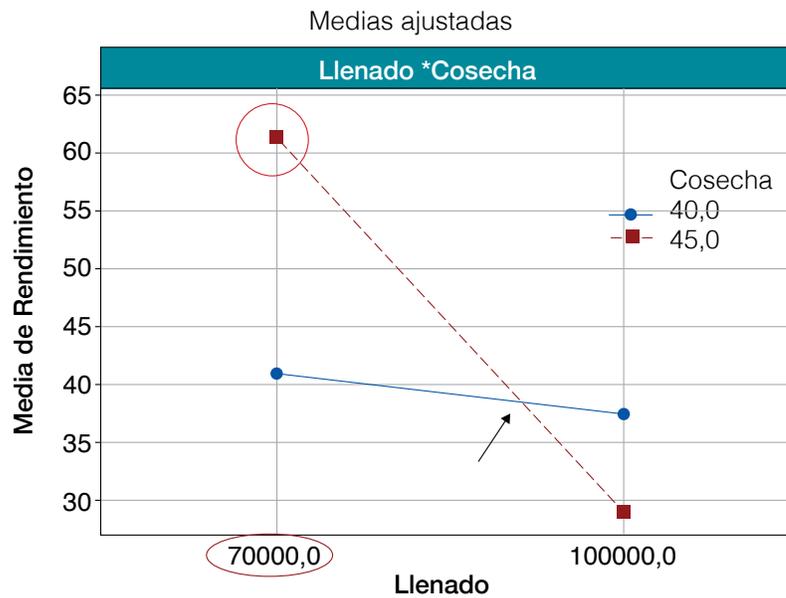
rendimiento, ya que las interacciones de peso no son significativas para el resultado.

Esta gráfica muestra las medias de los niveles de un factor en el eje X y una línea separada para

cada nivel del otro factor. Esta indica que la relación entre el llenado y el rendimiento depende del valor del tiempo de cosecha.

Figura 4. Resultado de interacciones significativas

## Gráfica de interacción para Rendimiento



**Nota:** Cálculos realizados con valores proporcionados por la empresa

## 3. Optimización conjunta de respuestas

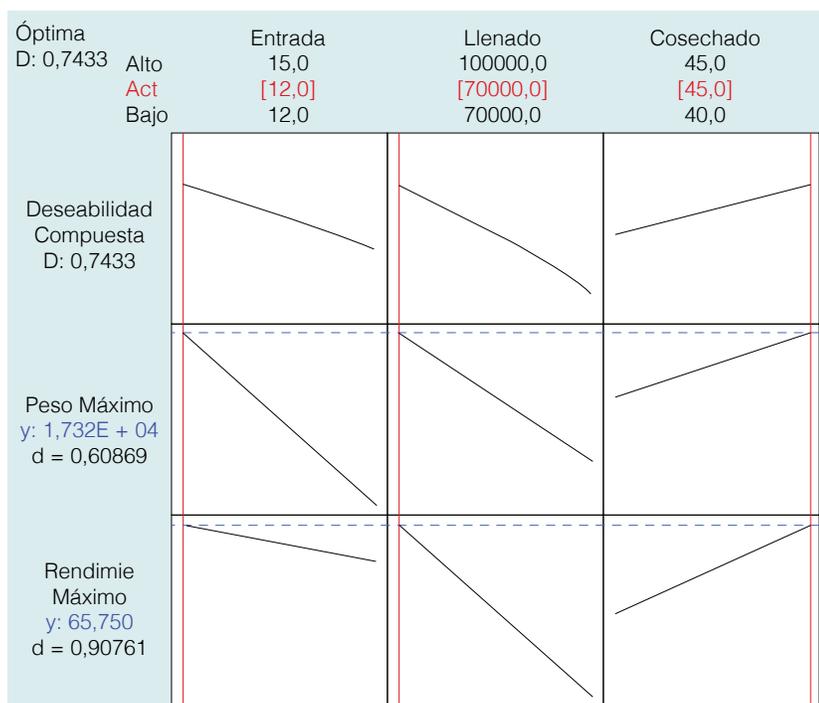
Se evalúa qué tan bien la combinación de variables satisface las metas que se definieron para

las respuestas (en ambos casos la maximización de su valor).

El valor de deseabilidad conjunta de las respuestas para lograr el objetivo de maximización de rendimiento y peso indica que la combinación de

variables es aceptable (0.7433) en comparación con el valor óptimo = 1. Adicionalmente se muestra la combinación (resaltada en color rojo) que reflejará los mejores resultados para cada factor.

**Figura 5.** Valores para optimización de las respuestas



**Nota:** Cálculos realizados con valores proporcionados por la empresa

#### 4. Contorno de las respuestas

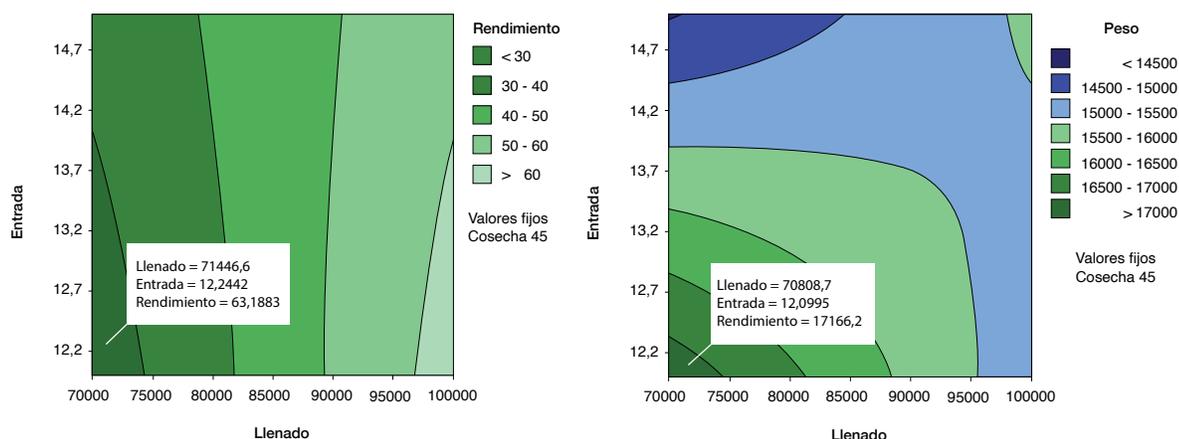
Se graficó la relación entre cada respuesta ajustada y dos variables continuas en ambos casos con el fin de mostrar una vista bidimensional en la que todos los puntos que

tienen el mismo valor de respuesta se conectan para producir líneas de contorno.

Se marcan las zonas dentro de las cuales se pueden obtener los mejores resultados para la

combinación de factores mostrados, considerando en ambos casos el valor de cosecha en 45 días.

**Figura 6.** Gráficas de contorno para las respuestas



**Nota:** Cálculos realizados con valores proporcionados por la empresa

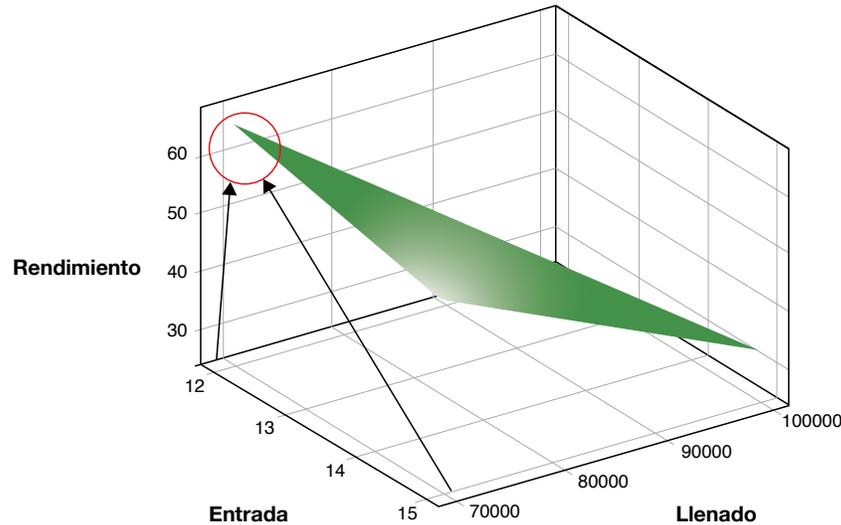
## 5. Comportamiento del rendimiento dentro de los niveles utilizados

Se muestra la relación tridimensional en dos dimensiones,

con las variables en los ejes X y Y, y la variable de respuesta (z) representada por una gráfica superficie uniforme. La combinación de entrada

temprana y llenado a nivel bajo como mejor alternativa se reitera en el resultado de esta gráfica.

Figura 7. Gráficas de superficie para el rendimiento



**Nota:** Cálculos realizados con valores proporcionados por la empresa

## Conclusiones

El factor del tiempo de llenado y la interacción llenado-cosecha son significativas para la variable de respuesta del rendimiento.

Los efectos analizados en el estudio para la variable de peso no son relevantes para determinar su comportamiento.

La cosecha a los 45 días en combinación a un nivel bajo de llenado al inicio obtiene los mejores valores de rendimiento en la producción de grillos.

La deseabilidad conjunta de las respuestas para lograr el objetivo de maximización de rendimiento y peso es aceptable (0.7433)

El rendimiento contribuye de mejor manera para lograr el objetivo de maximizar ambas respuestas, alcanza un valor de 65,7%.

La variable de peso obtiene una deseabilidad del 0,60 y aporta

un valor superior a 17 000 y muy cercano a la meta deseada de 20 000 gramos.

Las gráficas de contorno y superficie demuestran los valores óptimos con detalle de las zonas de influencia.

## Referencias

FAO. (2009). Formulación y Análisis detallado de Proyectos. (Departamento de Cooperación Técnica) Recuperado el Julio de 2017, de Deposito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/008/a0323s/a0323s06.htm>.

Banco Mundial. (2019). Población, total | Data. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?end=2009&start=2009&view=bar>

Bermúdez-Serrano, I.M., 2020. Challenges and opportunities for the development of an edible insect food industry in Latin America. *Journal of Insects as Food and*

Feed 6: 537-556 <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0009>

Dossey, A.T., Tatum, J.T. and McGill, W.L. (2016). Modern insect based food industry: current status, insect processing technology and recommendations moving forward. En: Dossey, A.T., Morales-Ramos, J. and Rojas, M.G. (eds.) *Insects as sustainable food ingredients*. Academic Press, pp. 113-152. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00005-3>

Tripathi A.D., Mishra R., Maurya K.K., Singh R.B., Wilson D.W. (2019). Estimates for world population and global food availability for global health. En: Singh RB, Watson RR and Takahashi T, editors. *The Role of Functional Food Security in Global Health*. 1st edition. Academic Press, p. 3-24.