

Aplicación del diseño por mezclas en la industria alimentaria

Erika Jannice Puente Ramírez¹, Roberto Romero López¹, Manuel Iván Rodríguez Borbón¹, Héctor Alejandro Trejo Mandujano¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Introducción

La investigación científica es utilizada para la búsqueda de conocimientos y soluciones a diferentes problemas, uno de sus elementos clave es la experimentación y es fundamental para dar una explicación a una causa presentada ante algún fenómeno. La experimentación se basa en el método científico, en el cual el experimento es un procedimiento que trata de comprobar una hipótesis relacionada con un determinado fenómeno, mediante el análisis de diferentes variables. Los modelos de diseños de experimentos tienen como objetivo averiguar si determinados factores influyen en la variable de interés.

En este proyecto se estudiará el diseño de experimentos por mezcla, como método para la optimización de procesos, logrando como resultado final la satisfacción del cliente basándose en la calidad de los productos como respuesta.

Antecedentes

En los últimos años, la competitividad en el mercado industrial ha tenido un crecimiento exponencial debido a la globalización. Este proceso, genera que las industrias se esmeren en cubrir las exigencias de sus clientes ante un producto o servicio. Traducido al lenguaje industrial de

producción, el nivel de conformidad del cliente al realizar una compra cuyo término es conocido como la satisfacción del cliente, ha incrementado debido a diversos factores como el desarrollo tecnológico, la implementación de normas y nuevas necesidades.

La satisfacción del cliente implica que los productos sean de calidad; es decir, que sean capaces de cumplir con las especificaciones definidas por ellos mismos. Para cumplir con esto es necesario conocer los requerimientos del cliente, por lo que a partir de esta necesidad surge el concepto VOC (por las siglas en inglés *voice of the customer*) que significa la voz del cliente. Según George, Rowlands, Price & Maxey (2005), el propósito de esta herramienta es averiguar el motivo por el que los clientes se preocupan, definir prioridades y metas de acuerdo a lo que el cliente requiere y determinar de qué manera se puede cumplir con esos requerimientos.

Una vez que las empresas tienen ese enfoque bien definido, invierten en el área de diseño grandes cantidades de capital, con el fin de mejorar la calidad y ahorrar dinero; sin embargo, el principal objetivo es cumplir con los requerimientos del cliente

para lo cual se requiere tener procesos más robustos. La satisfacción del cliente es la principal razón por la que el diseño, la investigación del producto, investigación de necesidades, el diseño de experimentos, análisis de resultados y el uso de distintas herramientas, etc., son actualmente de extrema importancia en las empresas.

Un diseño de experimentos según George, Rowlands, Price, & Maxey (2005) es una de las mejores herramientas utilizadas para la reducción de la variabilidad en los procesos. Permite conocer parámetros óptimos en los cuales debe operar el proceso, identificar aquellos factores que producen un gran impacto en la variable de respuesta, así como aquellos que no son tan significativos, sin embargo, si se conocen y se mejoran es posible brindar mayor calidad al producto. Se hace mención del concepto de la variabilidad, ya que los procesos por su naturaleza presentan causas de variación, ya sean comunes o especiales. Sin embargo, si un proceso presenta un nivel alto de variabilidad, indica que sus productos pueden presentar mayores defectos, lo cual conllevaría a no cumplir con la satisfacción del cliente. Es por eso que se requiere reducir la variación existente para ofrecer un producto de mayor calidad.

De acuerdo con lo antes mencionado, el diseño de experimentos permite al investigador conocer los factores que influyen en un proceso y así determinar con qué parámetros se debe de trabajar. En este tipo de análisis, de acuerdo con Box, Hunter & Hunter (2008) hay tres problemas con los que un investigador se enfrenta, los cuales son:

1. Complejidad: Analiza la interacción que se presenta entre los diferentes factores, así como su influencia sobre una respuesta determinada.
2. Error experimental: Es la variabilidad que se presenta en un experimento bajo condiciones similares y es inevitable.
3. Confusión entre correlación y causalidad

Los diseños de experimentos se clasifican de acuerdo a la complejidad del problema. Algunos de ellos son el diseño factorial a dos niveles, diseño fraccionario, diseño factorial completo y diseño de mezclas (Box, Hunter, & Hunter, 2008).

Los diseños de mezclas se utilizan ampliamente en las industrias y en particular en la fabricación de productos de consumo (Zhang, Wong, & Peng, 2012). Muchos productos se hacen mediante la mezcla de dos o más componentes, las propiedades de estos típicamente dependen de las proporciones relativas de los componentes (Kaya, Piepel, & Caniyilmaz, 2013). El diseño de experimentos por mezclas ha sido utilizado para optimizar procesos; con el uso de esta herramienta es posible identificar los parámetros adecuados para cada proceso. Con base en la revisión de literatura, se encontró que el diseño de experimentos por mezclas ha sido utilizado en diversas áreas de la industria, como la alimentaria, la de la construcción, farmacéutica, entre otras.

En la industria alimentaria, se desea encontrar la mezcla adecuada de componentes o ingredientes para la

elaboración de un producto final, y esto está reportado en varios estudios, por ejemplo en el estudio de Gaviria, Restrepo, & Suárez, (2010) se analiza la viscosidad de los lácteos, como variable de respuesta, el objetivo es definir una mezcla óptima de los ingredientes estabilizantes que componen la bebida láctea llamada Kumis; otro ejemplo de esta industria es en los jugos según Kochupurakkal Shiby, Radhakrishna, & Singh, (2013) al igual que en el artículo de Gordillo, Guerrero Medina, Izáziga, & Laguna, (2012); helados según Rojas, Tripaldi, & Pérez, (2012); galletas según Mejía, Macavilca, Velázquez, & Palacios, (2013); barras energéticas según Saltos & Bayas, (2010), entre otros. Todos estos ejemplos tienen en común la necesidad de una mezcla óptima de los ingredientes con el objetivo de ofrecer un producto de buena calidad y que satisfagan las necesidades de los clientes.

Por otro lado, en la industria de la construcción es donde más se han encontrado aplicaciones, por ejemplo el estudio de las mezclas de micro-pavimento, que entre sus características principales se pueden mencionar que suministra la resistencia necesaria a las fuerzas abrasivas del tránsito vehicular (Robati, Carter, & Perraton, 2013). Otros estudios reportan el análisis de componentes de mezclas relacionados con materiales asfálticos tal como el estudio realizado por Fei, Jiang, & Hsu, (2012), al igual que Chunping, (2011) y Yan-zhu, (2010). Estos estudios tienen en común la optimización de parámetros para cumplir con las especificaciones requeridas, duración, resistencia, menos defectos en cuanto al producto final, entre otros.

Asimismo, dentro del campo de la química también se han aplicado este tipo de diseños de experimentos con la finalidad de optimizar parámetros, tal es el caso del estudio de Lee & Jean, (2012), en el cual el caso de estudio era la generación eficiente de hidrógeno y oxígeno en diferentes electrodos, por lo que se analizaron los factores de control que se presentaban en el proceso. Entre otros ejemplos se tienen los trabajos que aplican el diseño de mezclas de helio y oxígeno como el de Smith, Bell, & Auchterloni, (1984), la mejora de las características de deformación y resistencia de la arena granular mediante mezclas de fibras cortas y flexibles de Nozoe, Kaneko, & Hashizume, (2013) y otros ejemplos como lo mencionan Bahraminejad, Basri, & Isa, (2011) y según Sharma, Hsu, & Verma, (2008).

Se han presentado casos de estudio que aplican este diseño de experimentos en áreas como farmacéutica como lo menciona Yanfang Huang & Shao Li, (2007) en su artículo. También en el área de biología como lo muestra Niedz & Evens, (2011) en su artículo, y esto ha provocado que los procesos que manejan se mejoren y por consecuencia ofrezcan productos que satisfagan las necesidades de los clientes.

Planteamiento del Problema

El problema que se presenta en diferentes empresas de sector industrial tal como de construcción, alimentaria, química, entre otras, es que muchos de los procesos que manejan no son lo suficientemente robustos. En varios procesos de mezclas, como la elaboración de alimentos, mezclas para construcción, creación de medicamentos,

etc. no se cuenta con los parámetros adecuados para trabajar y esto ocasiona pérdida de material e inclusive producto final, por no cumplir con las especificaciones requeridas del cliente.

El diseño de mezclas permite encontrar soluciones a esta clase de problemática en las industrias; tal como se mostró en la revisión de la literatura, muchas empresas han tenido éxito al encontrar los parámetros óptimos de sus procesos, a partir de la determinación de las proporciones de cada componente de la mezcla y así ofrecer un producto de calidad al cliente. Sin embargo, esta herramienta no es utilizada debido a que no se conocen sus características, y tampoco hay una metodología clara para su aplicación.

Objetivos

Aplicar la herramienta de diseño de experimentos por mezclas para la optimización de parámetros en un proceso del sector alimentaria.

Identificar el proceso

Aplicar el diseño de mezclas a un proceso, en el cual se desconozcan los parámetros que se requieren para una mezcla que den como resultado un producto de calidad.

Determinar parámetros para lograr procesos de calidad.

Hipótesis

El uso de la herramienta diseño de experimentos por mezcla en un proceso productivo permite identificar los

parámetros óptimos para disminuir la variación de la variable de respuesta.

Justificación

Este proyecto está enfocado a la optimización de parámetros de procesos utilizando el diseño por mezclas. Uno de los problemas a los que se enfrentan muchas empresas en la actualidad sector industrial, construcción, alimenticia, etc., es la falta de optimización en sus procesos y de determinación exacta de los componentes a utilizar, así como la falta de herramientas que les ofrezca resultados precisos para sus procesos particulares, ya que no todas las herramientas pueden ser aplicados a todos los tipos de procesos, ya que cada proceso tiene características que deben ser analizadas de modo específico. Es por eso que en este proyecto se propone analizar el diseño por mezclas para identificar sus características de tal forma que sea posible resolver este tipo de problemas. El diseño de mezclas es considerado un diseño especial en donde la respuesta depende solamente de las proporciones relativas de factores y no de una cantidad absoluta (Napolitano, 2013). Este tipo de diseños están dirigidos a mejorar la calidad, resistencia y durabilidad de los productos.

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el producto final, así como la forma más apropiada para realizar la mezcla con el fin de obtener los mejores resultados. Por lo que ofrece un método diferente para mejorar los productos, determinando las proporciones exactas de sus componentes.

Alcances y Limitaciones

Este proyecto está enfocado a la investigación del diseño de mezclas, la cual es utilizada para la optimización de parámetros en los procesos industriales, y así lograr productos de buena calidad.

El alcance del proyecto es comprender como funciona la herramienta, así como su aplicación a un proceso productivo del sector industrial. Dentro de la aplicación se analizan los factores que intervienen en el proceso e identificar la manera de mejorar el proceso para ofrecer un producto de calidad.

Otro de los alcances es la obtención del conocimiento para la toma de decisiones ante cualquier otro proceso que se desee mejorar dentro de una empresa.

Este proyecto tiene un enfoque teórico, pero al mismo tiempo presenta un ejemplo de aplicación para comprender su funcionamiento en la práctica. Las limitaciones con las que cuenta el proyecto en cuanto al ejemplo de aplicación, son el tiempo para realizar el experimento, la información proporcionada ya que por políticas de la empresa esta no puede ser mostrada fuera de la empresa por ser confidencial.

Revisión de Literatura

Diseño de experimentos

Dentro del sector industrial, es muy común la realización de experimentos con la intención de que al hacer algún cambio en los factores que influyen en los procesos se puedan detectar las variaciones y así evitar problemas de calidad en los productos (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004).

Un experimento se define como una prueba o ensayo, según Montgomery, (1991) un experimento diseñado es una prueba en donde se induce un cambio en la variable de entrada de un proceso o sistema, con el fin de observar e identificar las causas que provocaron un cambio en la variable de salida. Entiéndase variable de salida como variable de respuesta, que es aquella característica que presenta un producto que se desea mejorar mediante un diseño de

experimentos (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004).

El diseño de experimentos consiste en planear un conjunto de pruebas experimentales, de manera que los datos obtenidos se puedan analizar estadísticamente para obtener una conclusión válida de un proceso (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004). En cambio, según Chacín (2000) define el diseño de experimentos como una secuencia de pasos que garantizan que los datos obtenidos hagan posible un análisis objetivo, el cual permitirá llegar a una interpretación y conclusión válida en el estudio. Ambas definiciones tienen un enfoque similar, buscan el análisis estadístico de los datos. Sin embargo, Chacín, (2000) hace un énfasis mayor a la definición anterior, ya que menciona que es necesario planificar el diseño de manera que

la información que se obtenga este acorde a los objetivos establecidos en un principio.

En su libro “Diseño de experimentos” Kuehl, (2001) menciona una lista de aspectos que el investigador puede desarrollar para la planificación del diseño, algunos son:

- Objetivos específicos del experimento;
- Identificar los factores que influyen y cuáles de ellos varían y cuales permanecen constantes;
- Las características a medir;
- Procedimientos para realizar la prueba;
- Número de repeticiones del experimento.

Según Montgomery, (1991) el diseño experimental tiene como objetivo desarrollar un proceso consistente o robusto, es decir que este lo menos afectado por las fuentes de variabilidad externas; es un medio de importancia crítica en el medio de la ingeniería para mejorar el rendimiento en un proceso de manufactura. Su uso puede dar como resultado productos con mayor confiabilidad y mejor funcionamiento en el campo de aplicación, así también menores costos y tiempos de desarrollo del producto.

Kuehl, (2001) señala que el tipo de experimentos que utilizan los investigadores de las áreas de ingeniería, biología, medicina, agricultura, entre otras, es el experimento comparativo, ya que este adjetivo implica que se establezca más de un conjunto de circunstancias en el

experimento y que se comparen entre si las respuestas a las diferentes circunstancias.

Conceptos básicos

Los conceptos básicos que componen un diseño de experimentos son: tratamiento, unidad experimental y error experimental.

Según Kuehl, (2001) un tratamiento es definido como un conjunto de circunstancias creadas por un experimento y la definición que marca Chacín, (2000) es similar puesto que define al tratamiento como un conjunto particular de condiciones experimentales que deben imponerse sobre las unidades experimentales de un experimento.

La unidad experimental según Kuehl, (2001) es una entidad física o el sujeto expuesto a un tratamiento independientemente de otras unidades.

El error experimental según Kuehl (2001) describe la variación entre las unidades experimentales tratadas de manera idéntica e independiente y como menciona Chacín (2000) existen dos fuentes principales de error experimental:

- Variabilidad inherente del material experimental a la cual se le aplican los tratamientos.
- Falta de uniformidad en la conducción física del experimento.

Principios básicos del diseño de experimentos

Existen tres principios básicos en el diseño de experimentos, que son: aleatorización, repetición y bloqueo.

Aleatorización: Consiste en hacer corridas experimentales, tanto la asignación del material experimental como el orden de las pruebas individuales en orden aleatorio, este principio aumenta la posibilidad de que la independencia de los errores se cumpla.

Repetición o réplica: Es la repetición del experimento básico, es decir correr más de una vez un tratamiento o combinación de factores.

Análisis por bloques: Es una técnica que se usa para incrementar la precisión del experimento, es decir nulificar o tomar en cuenta en forma adecuada los factores que puedan afectar la respuesta dada (Montgomery, 1991) (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004).

Clasificación de los diseños experimentales

Según Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, (2004) hay cinco aspectos que influyen en la selección de un diseño experimental, estos son:

1. El objetivo del experimento;
2. El número de factores a controlar;
3. El número de niveles que se prueban en cada factor;
4. Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta);
5. El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

Los puntos mencionados anteriormente no son independientes entre sí, pero se mencionan de forma separada, ya que al

cambiar alguno de ellos, cambia el diseño experimental a utilizar.

El objetivo del experimento es un criterio general de la clasificación de los diseños experimentales, y los otros cuatro son útiles para subclasificarlos. Con base en esto, los diseños se pueden clasificar como:

- Diseños para comparar dos o más tratamientos
- Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre la respuesta
- Diseños para determinar el punto óptimo de operación del proceso
- Diseños para la optimización de una mezcla
- Diseños para hacer el producto insensible a factores no controlables

En la Figura 1, se presenta la clasificación de los diseños de experimentos de acuerdo con su objetivo. Para este proyecto se utilizará el diseño de mezclas, que son una clase especial de experimentos de superficie de respuesta en las que el producto bajo investigación consta de varios componentes o ingredientes. Los diseños para estos experimentos son útiles, porque muchas de las actividades de diseño y desarrollo en situaciones industriales involucran formulaciones o mezclas.

En estas situaciones, la respuesta es una función de las proporciones de los diferentes ingredientes en la mezcla. La respuesta depende de las proporciones relativas de los componentes. Las cantidades de los componentes, medidas o

unidades de peso, volumen u otras unidades, se suman para obtener un total común. En contraste, también es considerado un diseño factorial, ya que la

respuesta varía dependiendo de la cantidad de cada factor (variable de entrada).

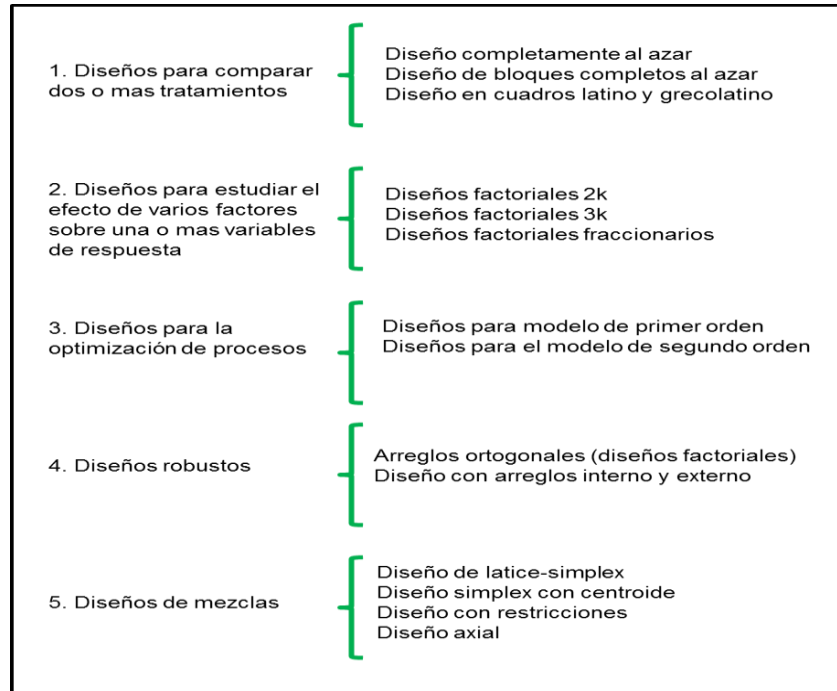


Figura 1 Clasificación de los diseños experimentales. Fuente: (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2004)

Otra definición que se tiene de esta clase de experimentos según Kuehl, (2001) es que están conformados por dos o más factores que son los ingredientes de la mezcla, en la que los porcentajes de cada uno deben sumar el 100% del total de la mezcla, por lo que los niveles de un factor no son independientes de los niveles de otros.

La variación en las proporciones de los ingredientes de las mezclas puede afectar las propiedades del producto final y por consecuencia la calidad del mismo. Es por eso que el diseño de mezclas es importante analizar, pero este se concentra más en la relación de la variable de respuesta medida

con las proporciones relativas de cada ingrediente presente en el producto, que en las cantidades totales de los factores.

Muchos productos alimenticios son analizados por medio de diseño de experimentos de mezclas, tal es el caso del trabajo según Lawless, Threlfall, & Meullenet, (2013) que muestra un análisis de los tratamientos de los jugos evaluados y un comparativo de ellos una vez analizados sus componentes, para conocer cuál es de mayor consumo; otros productos como es el caso de los materiales para la construcción muestran el éxito que han tenido al usar esta herramienta, tal es el caso del diseño de

mezclas asfálticas que en Estados Unidos se utilizan, de acuerdo a Putman & Kline, (2012) existen más de 20 métodos diferentes y se puede apreciar la calidad de sus carreteras y de construcciones, entre otros. Asimismo, otros productos comerciales se forman con mezclas de dos o más ingredientes, tal es el caso del papel periódico según Cobas, Felissia, & Monteoliva, (2013) el objetivo del estudio fue definir la proporción de madera juvenil y madura que se pueden optimizar para la producción de este. Algunos otros ejemplos son:

- Telas con mezcla de fibras de algodón y poliéster;
- Concreto formado con agua, arena y cemento;
- Fórmulas de fertilizantes con nitrógeno, fósforo y potasio.

En este diseño cuando se tienen dos componentes, el espacio factorial para el diseño incluye todos los valores de los dos componentes que se encuentran en el segmento de línea $x_1 + x_2 = 1$, donde cada componente está acotado por 0 y 1. Si se tienen tres componentes, el espacio muestral es un triángulo cuyos vértices corresponden a formulaciones de componentes puros, es decir mezclas consistentes en 100% de un solo componente (Montgomery, 1991).

Diseños de tratamientos para mezclas

El diseño de mezclas se divide en cuatro tipos que son: simplex, simplex con

centroide, vértices extremos y mixto, los cuales tienen diferentes características que facilitan la optimización de parámetros, dependiendo del producto o proceso que se trate.

Diseño simplex

Estos se componen de una malla de coordenadas de diseño construidas de manera que permiten estimar las ecuaciones polinomiales de la superficie de respuesta.

Diseño simplex con centroide

Este tipo de diseño es un diseño en el sistema de coordenadas simplex que se compone de mezclas que contienen 1, 2, 3... o k componentes en proporciones iguales. Un ejemplo de aplicación según Yoshiara, Madeira, & Delarozza, (2012) al variar el disolvente o mezcla utilizada, la extracción de diferentes isoflavonas se optimizó utilizando el diseño de la mezcla-centroide simplex. Las isoflavonas juegan un papel importante en la salud, ya que disminuye el riesgo de contraer enfermedades del corazón, alivia síntomas de menopausia, protege contra problemas de próstata, entre otros.

Diseño simplex con centroides ampliado

Las combinaciones de la mezcla para los diseños simplex y simplex con centroides se encuentran en las orillas del espacio de factores simplex y con la excepción de un punto centroide que contiene la mezcla de todos los componentes. Es posible obtener mezclas más completas si se aumentan los diseños centroides simplex con mezclas sobre los ejes del espacio de factores.

Materiales y Métodos

La metodología a utilizar en la realización de este proyecto es el DMAIC que consta de cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Se eligió esta metodología porque consiste en una serie de pasos que nos permiten tener un control y orden en el proyecto. La Figura 2 muestra la metodología a seguir para este proyecto.

Para este proyecto es primordial contar con el permiso por parte de la

gerencia de la empresa para la aplicación del diseño de experimentos por mezcla a uno de sus productos o procesos, y es necesario presentar un plan de trabajo en el cual se describan los recursos que se van a requerir para trabajar con el proyecto.

Para el análisis de los datos es necesario contar con una computadora o laptop con el paquete de cómputo estadístico Minitab 16[®] así como Microsoft Office.

Resultados

Para este proyecto se espera la implementación de la herramienta de diseño de experimentos por mezclas en una empresa del sector alimentario, ya que se ha visto que muchas empresas alimentarias, al igual que otros sectores, han tenido éxito al determinar las proporciones de los componentes de una mezcla para optimizar la variable de respuesta en un proceso y ofrecer así productos que cumplan con los requerimientos y satisfagan las necesidades del cliente.

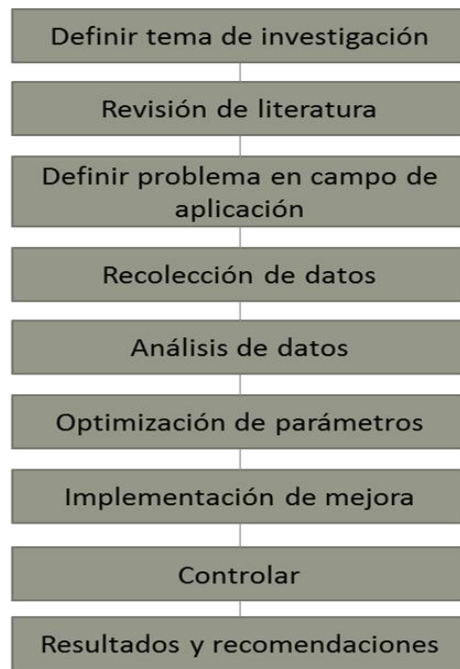


Fig. 2 Metodología propuesta

Referencias

- Bahraminejad, B., Basri, S., & Isa, M. (2011). Hydrogen detection in organic gas mixtures based on analyzing the transient response. *Emerald*, 8.
- Box, G., Hunter, J., & Hunter, W. (2008). *Estadística para investigadores Diseño, innovación y descubrimiento*. Barcelona: Reverté.
- Chacín, F. (2000). *Diseño y análisis para generar superficies de respuesta*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Chunping, W. (2011). The influencing factors of volume index on mix design of asphalt mixture. *IEEE*, 4.
- Cobas, A., Felissia, F., & Monteoliva, S. (2013). Optimization of the Properties of Poplar and Willow Chemimechanical Pulps by a Mixture Design of Juvenile. "Juvenile poplar refiner pup," *BioResources*, 12.
- Fei, Y., Jiang, M., & Hsu, F. (2012). Product design parameters optimization using constrained mixture design and combinatorial fusion analysis. *IEEE*, 8.
- Gaviria, P., Restrepo, D. A., & Suárez, H. (2010). UTILIZACIÓN DE HIDROCOLOIDES EN BEBIDA LÁCTEA TIPO KUMIS. *Vitae 17.1*, 29-36.
- George, M., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket*. United States of America: Mc Graw Hill.
- Gordillo, C., Guerrero Medina, N., Izáziga, N., & Laguna, B. (2012). Efecto de la proporción de naranja, papaya y piña en la aceptabilidad sensorial de un nectar mixto. *Agroindustrial Science*, 7.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2004). *Análisis y diseño de experimento*. México: Mc Graw Hill.
- Kaya, Y., Piepel, G., & Caniyilmaz, E. (2013). Development of a Rubber-Based Product Using a Mixture Experiment: A Challenging Case Study. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 28.
- Kochupurakkal Shiby, V., Radhakrishna, K., & Singh, A. (2013). Development of whey-fruit-based energy drink mixes using. *EBSCO*, 8.
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos*. México: Thomson Learning .
- Lawless, L., Threlfall, R., & Meullenet, J.-F. (2013). APPLYING A MIXTURE DESIGN FOR CONSUMER OPTIMIZATION OF BLACK CHERRY, CONCORD GRAPE AND POMEGRANATE JUICE BLENDS. *Journal of Sensory Studies*, 12.
- Lee, S.-J., & Jean, M.-D. (2012). Experimental optimization of parameter design for generation of hydrogen/oxygen mixtures by water electrolysis. *IEEE*, 4.
- Mejía, C., Macavilca, E., Velázquez, J., & Palacios, B. (2013). Formulación y evaluación de galletas enriquecidas con micronutrientes y proteínas de origen animal y vegetal. *Infinitum*, 11.
- Montgomery, D. C. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Napolitano, H. (n.d.). Diseño de experimentos. *Journal Article*.
- Niedz, R., & Evens, T. (2011). Mixture screening and mixture-amount designs to determine plant growth regulator effects on shoot regeneration from grapefruit (*Citrus paradisi macf.*) epicotyls. *In Vitro Cell.Dev.Biol.*, 14.
- Nozoe, S., Kaneko, K., & Hashizume, Y. (2013). Optimum Mixture Design of Granular Materials Reinforced. *AIP Publishing LLC*, 5.
- Putman, B., & Kline, L. (2012). Comparison of Mix Design Methods for Porous Asphalt Mixtures. *American Society of civil engineers*, 10.

Robati, M., Carter, A., & Perraton, D. (2013). Repeatability and reproducibility of micro-surfacing mixture design tests and effect of aggregates surface areas on test results. *Australian Journal of Civil Engineering*, 17.

Rojas, C., Tripaldi, P., & Pérez, A. (2012). Diseño experimental y métodos de desición multicriterio para optimizar la composición del helado mantecado. *Scientia Agropecuaria*, 10.

Saltos, H., & Bayas, A. (2010). Aplicación de un Diseño Experimental de Mezclas en el Desarrollo de una “Barra Energética” con base en el Salvado de Palmito de Pejibaye. *Revista Tecnológica ESPOL*, 8.

Sharma, P., Hsu, J.-H., & Verma, A. (2008). Implementing mixture design to predict magnetic properties of hybrid-bonded magnets. *IEEE*, 4.

Smith, D., Bell, W., & Auchterloni, L. (1984). Microwave cavity of improved design for gas breakdown studies and its application to helium-oxygen mixtures. *IEEE*, 7.

Yanfang Huang, X., & Shao Li, B. (2007). Application of Mixture Designs for Detection and. *IEEE*, 5.

Yan-zhu, P. (2010). Study on design method of open-graded mixture. *IEEE*, 4.

Yoshiara, L., Madeira, T., & Delaroza, F. (2012). Optimization of soy isoflavone extraction with different solvents. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 10.

Zhang, C., Wong, W., & Peng, H. (2012). DUAL-OBJECTIVE OPTIMAL MIXTURE DESIGNS. *Australian & New Zealand Journal of statistics*, 13.