CAPÍTULO VI

INTEGRACIÓN DESCRIPTIVA DE DISEÑOS EXPERIMENTALES EMPLEADOS EN LA AGRICULTURA: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

Aarón Montiel Rosales.

Doctorante en Ciencias de la Ingeniería. Alumno-Investigador del TecNM / ITS de Misantla. Misantla-México. Correo electrónico: ar.chimedes@hotmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3064-0274>.

Carlos Yossio Nakase Rodríguez.

Doctor en Administración y Desarrollo Empresarial, Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica. Profesor-Investigador del TecNM / ITS de Misantla. Misantla-México. Correo electrónico: cynakaser@itsm.edu.mx. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2288-6434>.

Félix David Murillo Cuevas.

Doctor en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable, El Colegio de la Frontera Sur. Profesor-Investigador del TecNM / IT de Úrsulo Galván. Úrsulo Galván-México. Correo electrónico: felix.mc@ugalvan.tecnm.mx. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5078-6724>.

Gregorio Fernández Lambert.

Doctor en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Profesor-Investigador del TecNM / ITS de Misantla. Purísima del Rincón-México. Correo electrónico: gfernandezl@itsm.edu.mx. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4259-296X>.

Resumen

La determinación del diseño experimental en campos agrícolas, es una etapa crítica en el estudio del comportamiento de productos de origen vegetal. En esta etapa, el investigador define e.g., la(s) variable(s) de desempeño, la(s) unidad(es) de medida, la(s) variable(s) controlable(s) e incontrolable(s), ya sea endógenas o exógenas, material(es) y método(s); que empleará para analizar el comportamiento del producto vegetal ante diversos escenarios. Una configuración eficiente del diseño experimental permitirá garantizar que el campo experimental mapee el comportamiento de la(s) variable(s) de interés. La selección del tipo de diseño de experimentos está delimitada, por la cantidad de los recursos disponibles para el estudio, e.g., tiempo, dispo-

nibilidad de materiales, personal y/o presupuesto económico. Aunado a esto, al ser un estudio sobre “seres vivos” ya sea bajo condiciones controladas o a campo abierto, el estudio sin lugar a duda es afectado por la temporalidad y por factores ambientales incontrolables. Por lo que, una adecuada selección del tipo de experimento es crucial, debido a que el investigador esta interesado en conocer si la variabilidad de uno o más factores y/o sus interacciones influyen significativamente, o no, sobre la variable de respuesta; y con ello estadísticamente probar la hipótesis bajo estudio. A partir de lo anteriormente expuesto, el presente estudio aborda una revisión literaria de Diseño de Experimentos, que han sido empleados en el estudio de productos de origen vegetal; el estudio considera una revisión y análisis de los últimos 5 años (2016-2021), se emplean bases de datos como Scopus, Google Scholar y paginas web de instituciones de rigurosa literatura científica. Los hallazgos, muestran que los DOE’s empleados bien pueden ser catalogados como no probabilísticos y probabilísticos, e.g., aleatorios, robustos, factoriales, factoriales fraccionarios. Es el alcance del presente estudio, sentar las bases para futuras investigaciones que consideren identificar la variabilidad de los factores agrícolas.

Palabras clave: agricultura, diseño de experimentos, fuente de variación, variabilidad.

DESCRIPTIVE INTEGRATION OF EXPERIMENTAL DESIGNS EMPLOYED IN AGRICULTURE: A LITERATURE REVIEW

Abstract

The determination of the experimental design in agricultural fields is a critical stage in the study of the behavior of products of plant origin. At this stage, the researcher defines e.g., the performance variable(s), the unit(s) of measurement, the controllable and uncontrollable variable(s), whether endogenous or exogenous, material(s) and method(s); that it will use to analyze the behavior of the plant product in various scenarios. An efficient configuration of the experimental design will ensure that the experimental field maps the behavior of the variable(s) of interest. The selection of the type of design of experiments is delimited by the number of resources available for the study, e.g., time, availability of materials, personnel, and/or economic budget. Added to this, being a study on "living beings" either under controlled conditions or in the open field, the study is undoubtedly affected by temporality and by uncontrollable environmental factors. Therefore, an adequate selection of the type of experiment is crucial, because the researcher is interested in knowing whether the variability of one or more factors and/or their interactions significantly influence, or not, the response variable; and thereby statistically test the hypothesis under study. Based on the above, this study addresses a literary review of Design of Experiments, which have been used in the study of products of plant origin; the study considers a review and analysis of the last 5 years (2016-2021), using databases such as Scopus, Google Scholar and websites of institutions with rigorous scientific literature. The findings show that the DOE’s used can well be classified as non-probabilistic and probabilistic, e.g., random, robust, factorial, fractional factorial. It is the scope of this study to lay the groundwork for future research that considers identifying the variability of agricultural factors.

Keywords: agriculture, design of experiments, source of variation, variability.

Identificación del Proyecto

Capítulo resultado del proyecto de Investigación “Evaluación del impacto en la flora y fauna, de la vinaza de etanol tratada en el suelo para cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) a baja escala, mediante Diseño Experimental apoyado con Lógica Difusa”, en desarrollo; con financiamiento del Tecnológico Nacional de México de la Convocatoria 2021: Proyectos de desarrollo tecnológico e innovación para estudiantes.

Introducción

Derivado del crecimiento poblacional, así como de la tendencia en la dieta del cliente, la seguridad alimentaria exigida por el consumidor y factores de interrupción en la oferta de alimentos, se ha propiciado un incremento de la demanda de productos frescos, nutritivos y sanos en todo el planeta. En tal sentido, el sector económico primario se ha visto en la necesidad de eficientizar su cadena alimentaria para cumplir con las exigencias del nuevo mercado a través de diversas herramientas. Al respecto Jha et al. (2019), resaltan que las malas prácticas agrícolas se reflejan en enfermedades de los cultivos, inadecuado uso y control de pesticidas.

Arana et al. (2019), mencionan que en el contexto actual la demanda de alimentos por parte de los consumidores y la exigencia de un desarrollo más sostenible, son el aliciente a ofrecer nuevas y mejores oportunidades a las familias, en relación a la calidad en los alimentos que se les ofertan.

Por tanto, la calidad del producto obtenido del campo depende del comportamiento de diversos factores controlables e incontrolables, ya sean endógenos o exógenos, tales como tipo y cantidad de fertilizante, humedad ambiental, cantidad de agua de riego, temperatura, entre otros relacionados con el suelo y el clima.

La Food and Agriculture Organization (FAO), estima que en el 2050 se alimentará a cerca de 10,000 millones de personas; representando con esto un reto para reducir al mínimo la pér-

dida y el desperdicio de los alimentos a lo largo de la cadena agro-alimenticia, así como maximizar el uso de los recursos del sistema agrícola (FAO, 2019).

Estos enfoques también están planteados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en los países de América Latina y el Caribe —y de los cuales, México es parte—, siendo directamente el ODS 1 “Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo”, ODS 2 “Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible”, ODS 8 “Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos”, y el 12 “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles” (CEPAL, 2019).

A partir de lo anteriormente expuesto, un enfoque que permite efficientizar la práctica agrícola para obtener un producto de calidad es el análisis del Diseño de Experimentos (Design of Experiments, DOE) en el cultivo agrícola.

El DOE, es un enfoque que integra a la estadística e ingeniería, y que permite, por medio de pruebas planeadas aplicar el método científico y así generar conocimiento del comportamiento de un sistema o de un proceso (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Según Montgomery (2004), el diseño experimental permite mejorar el desempeño de procesos y desarrollar nuevos procesos; así mismo, es un enfoque sumamente importante en las actividades de diseño de ingeniería en donde apoya al desarrollo de nuevos productos, y permite mejorar productos existentes.

En el campo agrícola, la mejora y el diseño de nuevas prácticas agrícolas, conlleva el cultivo de productos sanos, frescos y nutritivos. En tal sentido, la comunidad científica que desarrolla dichas prácticas debe emplear enfoques que, mediante el DOE, les permita identificar el grado de la significancia de los factores bajo estudio sobre la variable de interés; es por ello, que en este alcance los DOE's se han abierto espacio para atender esta necesidad, permitiendo a los investigadores explorar el comportamiento de los factores de interés, empleando experimentos planeados.

Con la intención de lograr el objetivo de identificar el uso y aplicación de DOE's en la producción agrícola, y así sentar las bases de futuras investigaciones que deseen abordar el mapeo del comportamiento de parámetros agrícolas, el presente trabajo aborda una revisión documental de artículos científicos que reportan usos y aplicaciones del DOE's de los últimos 5 años (2016-2021).

Fundamentación teórica

La agricultura, se puede considerar como la práctica desarrollada por el hombre para obtener a través de la siembra productos vegetales (e.g., verduras, frutos, granos), y que son fuente de alimentación para el ser humano y ganado, así mismo proveen materia prima al sector económico secundario. En dicha práctica el sector agrícola ha incorporado diversas herramientas de estadística e ingeniería, que apoyan al proceso de Toma de Decisiones Agrícolas. Ahora bien, el enfoque que persiguen las empresas agroalimentarias es emplear DOE's principalmente para contribuir, e.g., a la gestión adecuada de los recursos, la resiliencia energética, el cuidado al medio ambiente, reducir costos.

El DOE, fue desarrollado a principios de la década de 1920's por Sir Ronald Fisher en la Estación de Investigación Agrícola de Rothamsted en Londres, Inglaterra; los experimentos iniciales de Fisher implicaron determinar el efecto de varios fertilizantes en diferentes parcelas de tierra, en éste estudio, la condición final del cultivo no solo dependía del fertilizante, sino también de una serie de otros factores, e.g., la condición subyacente del suelo, el contenido de humedad del suelo; mediante el DOE, Fisher diferenció el efecto del fertilizante y el efecto de los otros factores (Antony, 2003).

Los experimentos se emplean para estudiar el desempeño del proceso y sistema, de interés (Montgomery, 2004). Según Gutiérrez y De la Vara (2008), el DOE es un enfoque que permite determinar cuales pruebas se deben realizar y de qué manera, y cuyos resultados, servirán para ser analizados estadísticamente, con lo que será posible obtener evidencias objetivas para responder las hipótesis plantadas; el DOE, persigue clarificar los aspectos inciertos de un proceso, lograr mejoras, resolver un problema específico. Algunos problemas típicos que pueden resolverse con el diseño y el análisis de experimentos son los siguientes (Gutiérrez y De la Vara

(2008), p. 4):

- 1.- Comparar a dos o más materiales con el fin de elegir al que mejor cumple los requerimientos.
- 2.-Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.
- 3.-Determinar los factores (las x vitales) de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final.
- 4.-Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad, por ejemplo) donde se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso.
- 5.-Reducir el tiempo de ciclo del proceso.
- 6.-Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales.
- 7.-Apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos.
- 8.-Ayudar a conocer y caracterizar nuevos materiales.

Montgomery et al., (2003), mencionan que el objetivo del experimentador, como tal, es la optimización, i.e., determinar qué niveles de las variables críticas resultan en la mejora del rendimiento del proceso; ahora bien, cada experimento implica una secuencia de actividades, siendo estas:

- 1.-Conjetura: una hipótesis original que motiva el desarrollo del experimento.
- 2.-Experimento: son las pruebas realizadas, con la intención de investigar la conjetura.
- 3.-Análisis: es el análisis estadístico de los datos obtenidos del desarrollo del experimento.
- 4.-Conclusión: representa la interpretación de los hallazgos sobre la conjetura original del experimento.

Generalmente, los hallazgos de la conjetura probada conducirán a establecer una nueva conjetura, y a su vez a un nuevo experimento. Este es un proceso que continua, de forma continua e iterativa.

Metodología

El presente trabajo de investigación aborda una revisión documental, de trabajos reportados

durante los últimos 5 años (2016-2021), de configuraciones de diseños experimentales en el campo agrícola. La revisión documental considera base de datos como Scopus, Google Scholar, Web of Science y páginas web institucionales que sirven como repositorios de trabajos de carácter científico de alto impacto. La revisión documental implica identificar y analizar, los diseños experimentales y su aplicación en la determinación del comportamiento de la variable de interés de cada caso bajo estudio; así mismo, se considera el objetivo que persigue el alcance del estudio.

Ahora bien, siguiendo a Aceituno et al. (2020), la presente revisión literaria persigue un alcance descriptivo con hipótesis descriptiva no experimental del tipo transversal longitudinal con variables de estudio que se miden según el diseño de experimento aplicado en el estudio agrícola.

Resultados y discusión

Una vez seleccionados los documentos en los que se apoyaran los resultados, se comenzará plasmando lo que plantea Vázquez et al., (2016), quien estima la biomasa fúngica en un suelo del sudoeste bonaerense con el fin de obtener valores de referencia que permitan usar este parámetro como un indicador de cambios en el ecosistema y, por otro lado, demuestra que la metodología empleada es sensible a las variaciones en las condiciones climáticas. Así mismo, Ocaña de Jesús et al., (2018), con el objetivo de estudiar el comportamiento de la bacteria patógena *Escherichia coli*, la cual, afecta la calidad e inocuidad de las hortalizas y que representa un grave problema de salud, determinó cómo 3 cepas diferentes de *E. coli* tienen la capacidad de penetrar y permanecer en plantas y frutos de tomate.

Además, Camelo-Rusique et al., (2017), presenta el desarrollo de un sistema de fermentación líquida y de enquistamiento adecuado para la multiplicación de *Azotobacter chroococcum* cepa AC1, la cual, es una bacteria empleada en la formulación de un biofertilizante producido por CORPOICA.

En ese mismo sentido Chávez-Ambriz et al., (2016), establece que los aislados de *Bacillus spp.* poseen potencial para ser empleados en programas de conservación de espe-

cies vegetales de zonas áridas, esto a partir del estudio que implicó un ensayo inoculando semillas de *M. magnimamma* y evaluando luego algunos parámetros.

También Butkovskyi et al., (2021), se proporcionan tratamientos casi naturales en las franjas ribereñas y también para el tratamiento de la escorrentía de agua de lluvia sin la necesidad de sistemas de contención de agua, mediante sistemas de filtración o humedales artificiales.

Además, Asaei y Norouzbeigi, (2021), prepararon ferrita de cobre nanocrystalina (CuFe_2O_4) utilizando síntesis de combustión aplicando plantillas verdes y artificiales; las fibras de bonote y las hojas de maíz, que comúnmente se consideran desechos agrícolas, se aplicaron como plantillas por primera vez. Aunado a esto, Moreno et al., (2021), determinó qué, la rotación con pastizales y labranza cero estimuló la comunidad de hongos saprofitos del suelo en detrimento de los patógeno, mediante un experimento de campo.

Así mismo, Liu et al., (2021), sugieren que los suelos agrícolas y forestales tienen respuestas idiosincrásicas a la frecuencia cambiante de la lluvia ácida, probablemente debido a diferencias en sus propiedades biológicas y físicoquímicas.

También Martínez y Páez, (2017), optimizan mediante un Diseño Robusto de Taguchi y un Diseño Factorial Fraccionario, la metodología QuEChERS, la cual, se emplea en la extracción de catorce plaguicidas, diez organoclorados y cuatro organofosforados en muestras de suelo; de la optimización de la metodología, se desprende que el pH, el ultrasonido y el uso de adsorbentes de limpieza son factores poco relevantes en el proceso de preparación, mientras que, la cantidad de agua en la matriz, la relación muestra : solvente y las cantidades de MgSO_4 y NaCl como sales de partición, juegan un rol importante dentro del proceso.

Finalmente, Maidana et al., (2019), evalúan el efecto de las condiciones de cultivo sobre la producción de una Poligalacturonasa (PGasa) por *Wickerhamomyces anomalus*; obteniéndose extractos enzimáticos con elevada actividad PGasa; los autores reportan que del estudio el extracto enzimático fue capaz de macerar tejidos de pimiento morrón.

La Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, presentan en síntesis los diseños experimentales

empleados como parte de la metodología de los estudios reportados y que sirven, para probar la hipótesis de los trabajos revisados.

Tabla 1. Diseños experimentales y sus configuraciones, en el estudio agrario

Autor (año)	Técnica	Testigo	País	Estudio Experimental
(Vázquez et al., 2016)	Muestreo por puntos	Haplustol con bajo contenido de materia orgánica (< 2%)	Argentina	Se realizaron 4 muestreos por año, entre los meses de mayo y junio, durante 2 años consecutivos (2010 y 2011). En cada muestreo se tomaron 4 muestras del horizonte superficial del suelo (0-10 cm).
(Ocaña de Jesús et al., 2018)	DOE completamente al azar	Cultivo de tomate (variedad «Cid») en condiciones de invernadero y se evaluaron 3 tratamientos, T1 (<i>E. coli</i> O157:H7), T2 (<i>E. coli</i> de cultivo de tomate [EcT] O157:H16), T3 (<i>E. coli</i> de cultivo de espinaca [EcH] O105ab) y un testigo T4, con 100 plantas cada uno y 4 formas de inoculación.	México	Se realizaron muestreos en etapa vegetativa, floración, fructificación y madurez fisiológica para cuantificar en placa las UFC/g. Las cepas utilizadas (<i>E. coli</i>) mostraron la capacidad de entrar en la planta de tomate y de permanecer en ella y transportarse hasta llegar al fruto, sin producir síntomas que indiquen su presencia.
(Camelo-Rusique et al., 2017)	Diseño factorial completamente aleatorizado compuesto por 8 tratamientos con 24 ejecuciones sin puntos centrales	Cepa fijadora de N de vida libre <i>A. chroococcum</i> AC1 que pertenece al banco de microorganismos del Laboratorio de Microbiología de Suelos de CORPOICA.	Colombia	Se determinaron 3 factores como limitantes en el proceso de fermentación, aireación, velocidad de agitación y pH, y se empleó como variable de respuesta el conteo de células viables (UFC/ml), mientras la temperatura se mantuvo constante a 30 °C.

Fuente: elaboración propia a partir de la revisión documental realizada (2021).

Tabla 2. Diseños experimentales y sus configuraciones, en el estudio agrario (continuación)

Autor (año)	Técnica	Testigo	País	Estudio Experimental
(Chávez- Ambriz et al., 2016)	Aleatorio, no probabilísti- co	Cepas bacteria- nas obtenidas de la rizósfera de <i>Coryphantha</i> <i>radians</i> y <i>Mam-</i> <i>millaria mag-</i> <i>nimamma</i> .	México	4 aislados bacterianos de la rizósfera de <i>Mammillaria</i> <i>magnimamma</i> y <i>Coryphant-</i> <i>ha radians</i> , fueron nombra- dos como QAP3, QAP19, QAP22 y QAP24 e identifi- cados genéticamente como pertenecientes al género <i>Bacillus</i> ; los aislados se exhibieron <i>in vitro</i> en pro- piedades bioquímicas como solubilización de fosfatos, producción de ácido indola- cético y actividad ACC desaminasa, que se relacio- nan con la promoción del crecimiento de las plantas. Se encontró que todos los aislados incrementaron la germinación desde un 17% hasta un 34,3% (con respecto a las semillas testigo sin inocular); el aislado QAP24 fue el que presentó el mayor efecto en este sentido y per- mitió la germinación de todas las semillas viables (84,7%) 3 días antes que en el testigo.
(Butkovskyi et al., 2021)	Tratamientos por duplicado	Suelo no planta- do, suelo planta- do, mezcla de material filtrante plantado y mez- cla de material filtrante plantado con adición de lana hidrofóbica.	Alemania	Las mezclas de piedra pó- mez y vermiculita con Polí- mero Super-Absorbente (PSA) dieron como resultado una alta retención de i) agua y ii) pesticidas tanto hidrófi- los como hidrófobos, pero con un potencial de lixivia- ción mucho menor en com- paración con los sistemas minerales sin PSA. Las mez- clas de dichos materiales pueden proporcionar opcio- nes de tratamiento casi natu- rales.

Fuente: elaboración propia a partir de la revisión documental realizada (2021).

Tabla 3. Diseños experimentales y sus configuraciones, en el estudio agrario (continuación)

Autor (año)	Técnica	Testigo	País	Estudio Experimental
(Asaei y Norouzei, 2021)	Diseño experimental Taguchi L_{16}	Se investigaron los efectos de diversos parámetros, como el combustible principal, el tipo y porcentaje de combustible añadido, el pH, la plantilla y la relación entre el combustible principal y el oxidante (MF/O).	Irán	Las condiciones óptimas para alcanzar el tamaño de cristalito más pequeño deben tener un pH de 6, utilizando xilitol como combustible principal, una relación de combustible principal a oxidante de 0,75% de la estequiometría y sin utilizar combustible añadido.
(Moreno et al., 2021)	Diseño de parcelas en franjas al azar.	Manejo agrícola y sistema de labranza (dos niveles cada uno); esto es, cuatro tratamientos diferentes en tres bloques.	Argentina	Las parcelas se sometieron a diferentes sistemas de labranza (convencional vs cero) combinados con diferentes prácticas agrícolas (rotación de pastos/ agricultura vs agricultura intensiva); las medidas se llevaron a cabo cada tres meses a lo largo de un año en tres parcelas replicadas.
(Liu et al., 2021)	Aleatorio	Se emplearon dos suelos típicos (suelos agrícolas y forestales) del sur de China; en cada suelo se recabaron 9 núcleos de suelo intactos.	China	Se manipuló un experimento de laboratorio con 18 núcleos de suelo intacto (suelos agrícolas y forestales) para probar el efecto de la frecuencia de lluvia ácida (0%, 30% y 100%) en el CO_2 del suelo. emisiones, comunidades microbianas y metabolismo microbiano de diversas fuentes de carbono en los suelos agrícolas y forestales del sur de China. Los resultados sugieren que los suelos agrícolas y forestales tienen respuestas idiosincrásicas a los cambios en la frecuencia de la lluvia ácida.

Fuente: elaboración propia a partir de la revisión documental realizada (2021).

Tabla 4. Diseños experimentales y sus configuraciones, en el estudio agrario (continuación)

Autor (año)	Técnica	Testigo	País	Estudio Experimental
(Martínez y Páez, 2017)	Diseño ortogonal Taguchi y Diseño Factorial Fraccionado 2^{5-1}	El diseño Taguchi y el diseño factorial fraccionado 2^{5-1} , permitió la optimización del proceso de extracción de los plaguicidas en el suelo bajo estudio.	Colombia	El método final consiste en la hidratación del suelo con 5 ml de agua tipo I, utilizando 10g de muestra, agitando por 1 min, adición de 10ml de acetoni-trilo, desplazamiento salino con 2g de $MgSO_4$, 2g de NaCl y limpieza final del extracto con 100mg de octadecilsilano (C18), 10mg de carbón grafitado y 600mg de $MgSO_4$ (por ml de extracto).

Fuente: elaboración propia (2021).

La revisión documental revela que existe diversidad de enfoques experimentales empleados para analizar la significancia de los factores de interés, sobre la variable de respuesta; así mismo, se evidencia que existe diversidad en los enfoques que se persiguen, esto es, optimización, caracterización, mejora.

Discusión

La metodología de revisión empleada, en el presente estudio, permite identificar, analizar y sintetizar de forma sistemática, los hallazgos reportados del enfoque DOE, empleado por cada trabajo. De forma específica, los trabajos revisados persiguen la (a) optimización de la variable de respuesta a partir de la variación atribuida a el (los) factor(es) principales y/o sus interacciones, o la (b) identificación y control la fuente de variación y esta a su vez, no afecte el comportamiento de la variable de salida.

De la revisión documental realizada se desprende que, los enfoques estadísticos son aquellos preferidos por los investigadores que buscan explorar el comportamiento de la variable de interés, bajo diversos niveles de los factores que pueden influir en la variabilidad de la variable de interés. Por lo que, los enfoques estadísticos permiten recoger por equiprobabilidad, el comportamiento de la(s) variable(s) de interés, dado los niveles de los factores de interés que se consideran significativos en el estudio. Estadísticamente, permiten “mapear” de forma homogénea el espacio de soluciones, mediante la determinación de la influencia de los factores analizado desde la variabilidad asociada.

Conclusiones

La revisión realizada, arrojó que las prácticas del DOE son vastas y variadas, ubicándose principalmente como no probabilísticas y probabilísticas; en donde la selección de cada una de ellas depende en gran medida de las condiciones del estudio.

En este sentido la selección adecuada del DOE, que empleará el investigador es crucial debido a que de él dependerá el tipo de información que obtendrá; sin embargo, es necesario que el investigador tenga en claro las limitantes que representa el contexto del estudio, i.e., el tiempo disponible para el estudio, los recursos económicos, humanos y materiales, con los que se cuentan para el desarrollo de las pruebas exploratorias.

Dado que, es el interés de los investigadores, obtener la mayor información del experimento con el menor uso de recursos; y en tal sentido, la selección del método está en función de los recursos y características del caso a estudiar.

Finalmente, la metodología empleada en el presente estudio permitió establecer que los DOE's son una herramienta a la que recurren los investigadores interesados en evaluar el desempeño de variables agrícolas, por ende, la presente revisión literaria sienta las bases para futuras investigaciones, en donde se desee establecer un DOE, para analizar el comportamiento de una variable de interés dados diversos niveles en factores críticos, que se desee estudiar.

Referencias

- Aceituno, C., Silva, R., y Cruz, R. (2020). *Mitos y realidades de la investigación científica* (C. Aceituno, Ed.; 1st ed.). Alpha Servicios Gráficos S.R.L.
- Antony, Jiju. (2003). *Design of experiments for engineers and scientists*. Butterworth-Heinemann.
- Arana, F. R., Quintana, R. G., y Zazueta, C. G. (2019). *La industria de pulpa de mango: propuesta inductiva para el Municipio de Huatabampo, Sonora, México*. In A. G. Ramírez (Ed.), *Tendencias en la Investigación Universitaria*. Vol. 5, pp. 119–132. Doi: www.doi.org/10.47212/tendencias_v_2019_8.
- Asaei, S., y Norouzbeigi, R. (2021). Green agricultural wastes as templates for combustion synthesis of copper ferrite nanopowders: Statistically designed assessment of the influential factors. *Ceramics International*, volume 47. Número 8, pp 11756–11768. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.01.016>.
- Butkovskiy, A., Jing, Y., Bergheim, H., Lazar, D., Gulyaeva, K., Odenmarck, S. R., Norli, H. R., Nowak, K. M., Miltner, A., Kästner, M., y Eggen, T. (2021). Retention and distribution of pesticides in planted filter microcosms designed for treatment of agricultural surface runoff. *Science of the Total Environment*, volume 778, 146114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146114>.
- Camelo, M., Moreno, A., Romero, F., y Bonilla, R. (2017). Development of a liquid fermentation system and encystment for a nitrogen-fixing bacterium strain having biofertilizer potential. *Revista Argentina de Microbiología*, volumen 49. Num 3, pp 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.06.005>.
- CEPAL. (2019). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf

- Chávez, L. A., Hernández, A., Cabrera, J. A., Luna, L., y Pacheco, J. R. (2016). Aislados de *Bacillus* provenientes de la rizósfera de cactus incrementan la germinación y la floración en *Mammillaria* spp. (Cactaceae). *Revista Argentina de Microbiología*, volumen 48. Num.4, pp 333–341. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.09.001>.
- FAO. (2019). *State of food and Agriculture 2019 (spanish edition): Moving forward on food loss and waste reduction*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
- Gutiérrez, P., y de la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2nd.). McGRAW-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., y Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*. Vol. 2, pp 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004>.
- Liu, Z., Lui, Y; Shan, X., Wei, H., Zhang, J., Saleem, M., Li, D., Zhang, Y., Ma, R., He, Y., Zhong, J., y Liu, Y. (2021). Idiosyncratic responses of microbial communities and carbon utilization to acid rain frequency in the agricultural and forest soils. *Global Ecology and Conservation*, 26, e01429. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01429>.
- Maidana, S. A., Mieres, A. A., Zubreski, E. R., y Martos, M. A. (2019). Optimización de las condiciones de cultivo para la producción de una Poligalacturonasa Microbiana. *Revista de Ciencia y Tecnología (RECyT)*, volumen 32, Num 1, pp 22–27.
- Martínez, J. M., y Páez, M. I. (2017). Diseño de experimentos aplicado en la optimización del método de extracción QuEChERS para la determinación de plaguicidas organoclorados y organofosforados en suelos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, volumen 33. Num 4, pp 559–573. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.04.02>.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos* (2nd ed.). Editorial Limusa S.A. <https://es.slideshare.net/jairjosemunozsuarez/diseo-y-analisis-de-experimentos->

montgomery-ocr.

Montgomery, Douglas C., & Runger, G. C. (2003). *Applied statistics and probability for engineers*. Wiley.

Moreno, M. v., Casas, C., Biganzoli, F., Manso, L., Silvestro, L. B., Moreira, E., y Stenglein, S. A. (2021). Cultivable soil fungi community response to agricultural management and tillage system on temperate soil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. Vol 20(4), pp 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.01.008>.

Ocaña, R., Gutiérrez, A., Sánchez, J., Mariezcurrenarrasain, M., Eslava, C, y Laguna, A. (2018). Persistence, internalization and translocation of *Escherichia coli* O157:H7, O157:H16 and O105ab in plants and tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Argentina de Microbiología*, Volumen 50, Num 4, pp 408–416. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.12.001>.

Vázquez, M. B., Amodeo, M. R., y Bianchinotti, M. V. (2016). Estimación de la biomasa fúngica en un suelo del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) con una tinción directa con blanco de calcoflúor. *Revista Argentina de Microbiología*, Volumen 48. Num 3, pp 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.05.006>.