

Francisco Odécio Sales
Karine Moreira Gomes Sales
(Organizadores)

Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



Atena
Editora
Ano 2021

Francisco Odécio Sales
Karine Moreira Gomes Sales
(Organizadores)

Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Francisco Odécio Sales
Karine Moreira Gomes Sales

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C968 Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra / Organizadores Francisco Odécio Sales, Karine Moreira Gomes Sales. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-756-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.564212012>

1. Ciências exatas e da terra. I. Sales, Francisco Odécio (Organizador). II. Sales, Karine Moreira Gomes (Organizadora). III. Título.

CDD 507

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2021

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A coleção “Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra” é uma obra que objetiva uma profunda discussão técnico-científica fomentada por diversos trabalhos dispostos em meio aos seus 17 capítulos. Esse 1º volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que nos transitam vários caminhos das Ciências exatas e da Terra, bem como suas reverberações e impactos econômicos e sociais a luz da epistemologia.

Tal obra objetiva publicizar de forma objetiva e categorizada estudos e pesquisas realizadas em diversas instituições de ensino e pesquisa nacionais e internacionais. Em todos os capítulos aqui expostos a linha condutora é o aspecto relacionado às Ciências Naturais, tecnologia da informação, ensino de ciências e áreas afins correlatos ao locus cultural.

Temas diversos e interessantes são deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam por inovação, tecnologia, ensino de ciências e demais temas. Possuir um material que demonstre evolução de diferentes campos da engenharia, ciência e ensino de forma temporal com dados geográficos, físicos, econômicos e sociais de regiões específicas do país é de suma importância, bem como abordar temas atuais e de interesse direto da sociedade.

Deste modo a obra Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra apresenta uma profunda e sólida fundamentação teórica bem com resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que desenvolvem seu trabalho de forma séria e comprometida, apresentados aqui de maneira didática e articulada com as demandas atuais. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores exporem e divulguem seus resultados.

Francisco Odécio Sales
Karine Moreira Gomes Sales

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A SHORT NOTE ON THE ELECTRON-POSITRON PAIR CREATION

Eduardo De Paiva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120121>

CAPÍTULO 2..... 9

BREVES COMENTÁRIOS ACERCA DA GEOQUÍMICA DAS TERRAS PRETAS DE ÍNDIO (TPI's) NA AMAZÔNIA

Matheus Cavalcante Silva

Bianca Soares Costa

Fernanda Ravana da Conceição Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120122>

CAPÍTULO 3..... 15

APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS NO CONTEXTO AROMAS: UMA PROPOSTA DE MATERIAL PARADIDÁTICO PARA O ENSINO DE FUNÇÕES ORGÂNICAS

Fernando Vasconcelos de Oliveira

Vanessa Candito

Mara Elisa Fortes Braibante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120123>

CAPÍTULO 4..... 27

CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA EM ESCOLA DO CAMPO SITUADA NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAURU-MT, ATRAVÉS DE PROJETO SUSTENTÁVEL - CISTERNA

Luiz Cláudio Almeida Martins

Rosiane Alexsandra dos Santos Costa

Solange Aparecida Arrolho da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120124>

CAPÍTULO 5..... 41

CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR NO ENTORNO DE FAZENDA MARINHA NA ENSEADA DO BANANAL, ILHA GRANDE, ANGRA DOS REIS, RIO DE JANEIRO

Vanessa de Magalhães Ferreira

Tatiana Ribeiro Briglia

Bruno Saliba Souza Almeida

Gabriel Soares Cruz

Camila de Leon Lousada Borges

Gleici Natali Montanini dos Santos

Marcos Bastos Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120125>

CAPÍTULO 6..... 69

LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS EM ÁREAS

CÁRSTICAS NO MUNICÍPIO DE OUROLÂNDIA NO PERÍODO DE 2007 A 2014

Antonieta Antenora Italia Candia

Arlene Lula Moreira De Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120126>

CAPÍTULO 7..... 81

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E OS COEFICIENTES DE CULTURA DO CAUPI NO NORDESTE PARAENSE, BRASIL

Vivian Dielly da Silva Farias

Marcos José Alves de Lima

Hildo Giuseppe Garcia Caldas Nunes

Deborah Luciany Pires Costa

Denis de Pinho Sousa

Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza

Vandeilson Belfort Moura

Sandra Andréa Santos da Silva

José Farias Costa

Maysa Lorrane Medeiros de Araújo

Dayse Drielly Souza Santana Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120127>

CAPÍTULO 8..... 94

DIAGNÓSTICO ENÉRGICO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NA FATEC FRANCO DA ROCHA

Carlos Eduardo Oliveira Santos

José Eduardo Soares de Almeida

Leonardo Augusto dos Santos

Matheus Lira de Almeida

Silvia Maria Farani Costa

Augusto de Toledo Cruz Junior

Valquiria Pereira Alcantara

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120128>

CAPÍTULO 9..... 110

FORMAÇÃO INICIAL DOCENTE EM GEOGRAFIA: A IMPORTÂNCIA DE SITUAR A ALFABETIZAÇÃO CARTOGRÁFICA NO CONTEXTO DA ALFABETIZAÇÃO ESPACIAL

Ronaldo Goulart Duarte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5642120129>

CAPÍTULO 10..... 121

MATERIAL DE APOIO PARA ABORDAGEM DAS TRÊS LEIS DE KEPLER NO ENSINO MÉDIO

Gabriel Luiz Nalon Macedo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201210>

CAPÍTULO 11..... 130

IMPACTO DO USO DA DINÂMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL NO PROCESSO

ENSINO-APRENDIZAGEM APLICADO À FENÔMENOS DE TRANSPORTE

Vitor Pancieri Pinheiro
Carlos Friedrich Loeffler Neto
Natan Sian das Neves
Roger da Silva Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201211>

CAPÍTULO 12..... 139

METODOLOGÍA SUPERFICIE DE RESPUESTA: TRES APLICACIONES A CONJUNTOS DE DATOS REALES

René Castro Montoya
José Vidal Jiménez Ramírez
Mario Castro Flores
Ana Gabriela Osuna Páez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201212>

CAPÍTULO 13..... 154

PERCEÇÃO DO TURISTA SOBRE HOSPITALIDADE: UM ESTUDO NA ROTA ECOLÓGICA ALAGOANA

Gildo Rafael de Almeida Santanata
Marielle Cristina Silva Mendonça
Ademar da Silva Paulino
Uilliane Faustino de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201213>

CAPÍTULO 14..... 163

REAÇÕES DE CETONAS E POLIÁLCOOIS PARTE 1:AUTO-ALDOLIZAÇÃO E CETALIZAÇÃO PROMOVIDAS PELO CATALIZADOR HIDROFÍLICO E AMORFO $\text{SiO}_2\text{-SO}_3\text{H}$, SOB IRRADIAÇÃO DE MICRO-ONDAS

Sandro Luiz Barbosa dos Santos
Stanlei Ivair Klein
Myrlene de Oliveira Ottone
Milton de Souza Freitas
Maria Luiza Pereira e Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201214>

CAPÍTULO 15..... 172

SIMULAÇÃO DE COMPLEXOS FE(III) E CR(III) POR SIDERÓFOROS

Leonardo Konopaski Andreani
Sérgio Ricardo de Lázaro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201215>

CAPÍTULO 16..... 181

PERCEPCIÓN DE LOS SINALOENSES EN LAS ELECCIONES DEL ESTADO DE SINALOA PARA GOBENADOR, DIPUTADOS FEDERALES Y PRESIDENTES MUNICIPALES EN 2015

René Castro Montoya

José Vidal Jiménez Ramírez

Mario Castro Flores

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201216>

CAPÍTULO 17..... 190

TEAM BASED LEARNING: UMA ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO COLABORATIVA

Telma Vinhas Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56421201217>

SOBRE OS ORGANIZADORES 206

ÍNDICE REMISSIVO..... 207

METODOLOGÍA SUPERFICIE DE RESPUESTA: TRES APLICACIONES A CONJUNTOS DE DATOS REALES

Data de aceite: 01/11/2021

Fecha de envío: 18/09/2021

René Castro Montoya

René Castro Montoya. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Sinaloa

<https://orcid.org/0000-0002-6746-7559>

José Vidal Jiménez Ramírez

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Sinaloa

<https://orcid.org/0000-0001-6747-0144>

Mario Castro Flores

Preparatoria Guasave Diurna, Universidad Autónoma de Sinaloa

<https://orcid.org/0000-0001-7752-402X>

Ana Gabriela Osuna Páez

Universidad Autónoma de Occidente Campus Culiacán, Sinaloa

<https://orcid.org/0000-0001-6747-0183>

RESUMEN: La Metodología Superficie de Respuesta (MSR) puede definirse como una estrategia que engloba los siguientes puntos: elegir un diseño experimental que permita medir adecuadamente el comportamiento de la respuesta de interés; determinar un modelo que describa el comportamiento de los datos obtenidos mediante el diseño experimental, lo que implica hacer algunas pruebas estadísticas para verificar si el modelo es adecuado. Una vez que se tiene un modelo adecuado se procede a

encontrar la combinación de los niveles de los factores de entrada que producen la respuesta óptima. La MSR tuvo su origen en los años 30's en trabajos realizados por Sisar, Yates, y otros, sin embargo, ésta fue desarrollada formalmente por Box y Wilson (1951). El objetivo del presente trabajo es describir tres aplicaciones de MSR a conjuntos de datos reales: el primero es un experimento realizado en una industria electrónica mexicana; cuyo objetivo es disminuir el número de dispositivos electrónicos que se rompen en cierta etapa de su proceso de fabricación, debido a los cambios bruscos de temperatura que allí ocurren, el problema es que algunas obleas no resisten dichos cambios de temperatura y se rompen (Castro Montoya, 1995). Una oblea de silicio es un dispositivo electrónico en el que vienen integrados microcircuitos para ser procesados juntos, es decir, la oblea es el medio que permite procesar al mismo tiempo cientos de dados o chips, lo cuales deben cumplir ciertas propiedades eléctricas. El segundo conjunto de datos es sobre el cultivo de esporas de hongo entomopatógeno *Paecilomyces Fumosoroseus* que han sido utilizadas exitosamente en el control de diversos insectos plaga.

PALABRAS-CLAVE: Diseño y análisis de experimentos, Modelos, Metodología superficie de respuesta y Pruebas de hipótesis.

RESPONSE SURFACE METHODOLOGY: THREE APPLICATIONS TO REAL DATA SETS

ABSTRACT: The Response Surface Methodology (RSM) can be defined as a strategy

that encompasses the following points: choosing an experimental design that allows to adequately measure the behavior of a response of interest; determine a model that describes the behavior of the data obtained through the experimental design, which implies doing some statistical tests to verify if the model is adequate. Once we have an adequate model, we proceed to find the combination of the levels of the input factors that produce the optimal response. The RSM had its origin in the 1930s in works by Sisar, Yates, and others, however, it was formally developed by Box and Wilson (1951). The objective of this work is to describe three applications of the RSM to real data sets: the first is an experiment carried out in a Mexican electronics industry; whose objective is to reduce the number of electronic devices that break at a certain stage of their manufacturing process, due to the sudden changes in temperature that occur there, the problem is that some wafers do not resist these changes in temperature and break (Castro Montoya, 1995). A silicon wafer is an electronic device in which microcircuits are integrated to be processed together, that is, the wafer is the medium that allows hundreds of dice or chips to be processed at the same time, which must meet certain electrical properties. The second data set is on the cultive of spores of the entomopathogenic fungus *Paecilomyces Fumosoroseus* that have been used successfully in the control of various pest insects.

KEYWORDS: Design and analysis of experiments, models, response surface methodology and hypothesis testing.

En este trabajo se presentan los resultados de aplicar Metodología Superficie de Respuesta a tres conjuntos de datos reales. En el primer caso se presenta una aplicación del diseño de experimentos en la industria electrónica mexicana. Algunos aspectos que hacen interesante este experimento son: 1) las consideraciones de ingeniería de proceso que se hicieron previamente, 2) las diferentes alternativas de análisis estadístico, por ser la respuesta una variable binaria y 3) el ahorro económico obtenido. La compañía está interesada en determinar los niveles de los factores que minimizan el número de obleas rotas. Los factores que se controlan son temperatura de grabado, temperatura de piraña y temperatura de agua. El proceso se realizaba antes del experimento a una temperatura de grabado de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, una temperatura de piraña de $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una temperatura de agua de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se tenía un rendimiento mecánico del 97% en la solución piranha. Puesto que no se sabe que tan cerca puedan estar los niveles usuales ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $98\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) de los niveles que producen la respuesta óptima, los ingenieros se deciden por correr un diseño factorial 2^3 , con el objetivo de localizar el tratamiento mediante el cual se obtenga un mejor rendimiento mecánico. En cada tratamiento se utilizaron 500 obleas, y se obtienen solo ocho puntos. Debido a que se tienen pocos puntos no es posible detectar si los supuestos de independencia y varianza constante se cumplen, por lo que se decidió considerar sólo 250 obleas por tratamiento, se obteniendo 16 puntos, pues 250 obleas por tratamiento es suficiente para observar al menos una oblea rota por tratamiento. Un segundo caso de estudio es el análisis e interpretación de un experimento realizado en el área de biotecnología: con el objetivo de maximizar la producción de esporas por cm^2

de hongo entomopatógeno *Paecilomyces Fumoso*, las cuales han sido utilizadas exitosamente para el control de diversos insectos plaga, controlando tres distintos factores: nivel de glucosa, nivel de levadura y tiempo. Objetivos: Determinar condiciones óptimas bajo superficie de respuesta para reproducir en cultivo sólido al hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumoso*, determinar los niveles de los factores que maximizan la producción de esporas del hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumoso*, mediante un diseño de composición central. El tercero se está interesado en determinar los niveles de los factores que maximizan rendimiento y el contenido de proteínas en maíz. Los factores que se controlan son magnetismo, radiación y ozono.

Metodología de Superficie de Respuesta

La Metodología de Superficie de Respuesta, inventada en 1951 por Box y Wilson, es un conjunto de estrategias de investigación, métodos matemáticos e inferencia estadística que permiten al investigador hacer exploración empírica eficiente en el proceso de su interés. Es un método estadístico que usa información cuantitativa de experimentos apropiados para determinar y resolver ecuaciones multivariantes, utilizado, la mayoría de las veces, para la optimización de procesos.

Diseños y modelos para Superficie de Respuesta

La estrategia experimental y análisis en MSR se basa en el supuesto de que la verdadera respuesta η desconocida es una función $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_k)$ del conjunto de variables de diseño x_1, x_2, \dots, x_k , y que la función puede ser aproximada en alguna región de las x_{is} por un polinomio de primero o segundo orden. En la práctica este supuesto es razonable si la respuesta observada es continua y suave, aunque su comportamiento no sea suave esta variable puede describirse con un polinomio de bajo orden si se escoge una región experimental lo suficientemente pequeña.

Por otra parte, un polinomio de grado n puede ser aproximado mediante una expansión en serie de Taylor de la verdadera función teórica fundamental $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_k)$ truncada después del término de orden n , para lo cual se tiene que:

1. Entre mayor es el grado del modelo polinomial ajustado, mejor es la aproximación que se obtiene mediante las expansiones en serie de Taylor a la verdadera función $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_k)$.
2. En regiones pequeñas se obtienen las mejores aproximaciones de cierto grado dado.

En la práctica, se procede bajo la suposición de que, sobre regiones pequeñas del espacio de factores, un polinomio de primero o segundo orden puede representar adecuadamente la verdadera función. De aquí que los modelos más utilizados en MSR

sean los polinomios de primero y segundo orden dados por

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i < j}}^k \beta_{ii} x_i^2 \beta_{ij} + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

respectivamente, donde ε es el error aleatorio y los coeficientes $\{\beta_i\}$ que aparecen las ecuaciones anteriores deben estimarse mediante regresión lineal, a partir de las observaciones obtenidas de la realización del diseño experimental.

Diseños de Primer Orden

Estos diseños son muy utilizados en la primera etapa de una investigación cuyo objetivo es encontrar las condiciones operación de un proceso, o cuando se tienen muchos factores, se puede utilizar un diseño de primer orden para descartar los factores que no tengan influencia significativa sobre la respuesta. Cuando se utiliza este tipo de diseño se requieren pocos puntos para ajustar un modelo polinomial a la respuesta.

Como su nombre lo indica con los diseños de primer orden se pretende ajustar un modelo de primer orden. Este modelo, como se sabe, para k factores tiene $k+1$ parámetros a estimar, así que se requieren al menos $k+1$ observaciones para poderlo ajustar.

Cuando se quiere ajustar un modelo de primer orden en k variables $Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon$, es conveniente utilizar diseños que minimizan la varianza de los coeficientes de regresión. Los diseños que satisfacen esta condición se llaman *Diseños Ortogonales*. Un diseño se llama ortogonal cuando los términos en el modelo ajustado son no correlacionados entre sí, lo que hace que los estimadores de los parámetros tampoco estén correlacionados entre sí. Esto hace posible que la varianza de la respuesta estimada en cualquier punto x en la region experimental, sea expresada como la suma de la varianza de cada parámetro estimado en el modelo. Los diseños de primer orden pueden fallar debido a que hay curvatura en la superficie de respuesta, o los experimentos se realizaron de forma incorrecta. Cuando esto sucede, el modelo debe ser mejorado mediante la adición de términos de orden mayor o a través de una transformación a las variables. Cuando el modelo de primer orden no describe adecuadamente el comportamiento de la respuesta, se propone el modelo de segundo orden.

Diseño Factorial 2k

En este diseño se estudian k factores, en dos niveles cada uno. Se le llama diseño factorial completo en k factores cuando se seleccionan 2 niveles del primer factor, 2 niveles del segundo factor, ..., 2 niveles del k -ésimo factor, y la matriz de diseño se forma por todas

las combinaciones de los niveles, que son tantas como 2^k . Por ejemplo, el diseño factorial 2^2 consiste de los cuatro tratamientos que resultan al combinar los dos niveles de cada factor y su matriz de diseño está dada por.

$$X = \begin{matrix} & & x_1 x_2 \\ \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & -1 \\ -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Diseño Factorial para $k = 2$

De Segundo Orden

Los diseños de segundo orden son útiles en la etapa final de un estudio de optimización, cuando el punto estacionario está cerca o dentro de la región experimental, y permiten estudiar efectos lineales, de interacción y efectos cuadráticos o de curvatura pura.

Cuando se está cerca del punto estacionario, a veces la verdadera respuesta tiene curvatura y no puede describirse adecuadamente con un modelo de primer orden. Si la curvatura existe, se utiliza un modelo de segundo orden. Como el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

A continuación, se presentan los diseños de segundo orden más utilizados en la práctica.

Diseño Factorial 3^k

En este diseño es necesario que la respuesta sea observada en todas las combinaciones de las k variables del diseño, las cuales tienen 3 niveles cada una.

Diseño de Composición Central

Box & Wilson (1951) proponen diseños más económicos, que tienen la ventaja de que se puede estudiar los efectos lineales no confundidos y efectos de interacción de segundo orden. En estos diseños cada variable anexa dos puntos, más replicas en el centro, en lugar de aumentar el número de niveles en los factores. Así, un diseño de composición central consiste de tres tipos de puntos, a saber:

1. Un diseño factorial 2^k completo (o fraccionado).
2. De n_0 puntos en el centro.
3. Dos puntos axiales en cada variable diseño a una distancia α del centro del diseño.

El número total de puntos en el diseño es $N = 2^k + 2^{k-1} n_0$. El diseño central compuesto puede hacerse rotatable tomando $\alpha = (F)^{\frac{1}{2}}$ donde $F = 2^k(oF = 2^{k-m})$ y además el diseño de composición central puede hacerse un diseño ortogonal, caso en el cual los efectos individuales de las k variables pueden ser evaluadas independientemente. Ahora si se quiere que el diseño de composición central sea ortogonal y rotatable se toman $\alpha = (F)^{\frac{1}{2}}$ y $n_0 = 4\sqrt{F} + 4 - 2k$. Esto es el número de réplicas en el centro puede escogerse de tal manera que el diseño sea rotatable.

Técnicas de Optimización

Una vez que se tiene el modelo debidamente ajustado y validado se puede proceder a encontrar la combinación de los niveles de los factores que producen la respuesta óptima. Para localizar esta combinación de niveles, a partir del modelo ajustado, existen básicamente tres métodos, a saber:

1. Escalamiento Ascendente (o descendente)
2. Análisis Canónico
3. Análisis de Cordillera.

El uso de estos métodos depende del orden del modelo ajustado y la situación particular que se presenta con el punto óptimo que se quiere encontrar. A continuación, se describen cada uno de estos tres métodos.

Escalamiento ascendente y descendente

Este método es utilizado con el modelo de primer orden. Su objetivo es encontrar la dirección de máximo incremento de la variable de respuesta sobre el plano. En el caso de que se busque el máximo decremento, estaremos hablando del método descendente.

Consiste en la realización secuencial de experimentos a lo largo de la trayectoria de escalamiento ascendente, es decir, en la dirección del máximo incremento de la respuesta, a partir del centro del diseño. Cuando ya se tiene la dirección en la cual la respuesta crece, se realizan los experimentos secuenciales sobre puntos espaciados adecuadamente, hasta que el valor de la respuesta cambia de tendencia. En este momento se corre otro diseño de primer orden con centro en el punto anterior al cambio de tendencia. Se procede de la misma manera hasta encontrar otro cambio en la tendencia, es decir, se localiza la dirección en la cual la respuesta crece, de igual forma, se realizan experimentos en puntos espaciados hasta encontrar un nuevo punto donde hay cambio de tendencia. Se corre un tercer diseño con centro en el punto anterior al cambio de tendencia y se encuentra la nueva dirección de crecimiento. Mediante este proceso se llega a una vecindad del punto óptimo, lo cual se detecta mediante la falta de ajuste del modelo de primer orden.

Ya que se cuenta con el modelo ajustado $\hat{Y}(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i$ que describe

adecuadamente el comportamiento de la variable respuesta, el objetivo es trasladarse a una distancia de r unidades a partir el centro del diseño en la dirección de máximo incremento de la respuesta. Por consiguiente, el problema se traduce a un problema de máximos (o mínimos, en el caso de escalamiento descendente) con ciertas restricciones. La maximización de la función respuesta se lleva a cabo mediante el uso de multiplicadores de Lagrange. El problema se fórmula de la siguiente manera:

$$\text{Maximizar } \hat{Y}(x) = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i$$

$$\text{sujeto a } r = \sqrt{\sum_{i=1}^k x_i^2}$$

Ahora supóngase que $x=(x_1, x_2, \dots, x_k)^t$ es tal que $r = \sqrt{\sum_{i=1}^k x_i^2}$ y es máximo, entonces se cumple que

$$x_i = \beta_i / (2\mu); i = 1, 2, \dots, k.$$

donde μ es el multiplicador de Lagrange. Nótese que el cambio de las variables x_i es directamente proporcional a los coeficientes estimados β_i , y por consiguiente los incrementos a lo largo de la trayectoria de escalamiento ascendente son proporcionales a los coeficientes $\{\beta_i\}$. Cabe señalar que el tamaño de paso se elige con base en el conocimiento del proceso.

Análisis Canónico

Los principales objetivos del análisis canónico son encontrar las coordenadas del punto estacionario, expresar el modelo en su forma canónica y encontrar la relación entre las variables canónicas y las variables codificadas. Este método es de gran utilidad, ya que es a través de él como se puede expresar e interpretar de manera sencilla el modelo de segundo orden utilizado.

El punto estacionario es aquél sobre el cual, dentro de una superficie de respuesta, el plano tangente a la superficie tiene pendiente cero. Es importante localizarlo porque en dicho punto, la variable respuesta es un máximo, un mínimo, o un punto silla, lo que significa que podría ser el punto óptimo que se busca. Puede suceder que se tenga una superficie estacionaria, en lugar de punto estacionario. La situación ideal es cuando dicho punto resulta ser del tipo que buscamos, máximo o mínimo, y que se encuentre dentro de la región experimental, pero en la práctica, lo más común es que el punto estacionario no sea el que buscamos, y se procede a encontrar el mejor punto dentro de la región, utilizando el método de análisis de cordillera.

Las coordenadas del punto estacionario, $x_0=(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{k0})^t$ se obtienen derivando la respuesta ajustada con respecto a cada x_i , igualando a cero esas derivadas y resolviendo las k ecuaciones simultáneamente. Esto es, consideremos el modelo de segundo orden, dado por:

$$\hat{Y}(x) = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \hat{\beta}_{ij} x_i x_j$$

que en forma matricial se puede escribir como

$$\hat{Y}(x) = \hat{\beta}_0 + X^t \beta + X^t B X$$

donde $x^t = (x_1, x_2, \dots, x_k)$, $\beta^t = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$

Observemos que $\hat{Y}(x): R^k \rightarrow R$ es diferenciable. Así pues, el punto estacionario de la superficie de respuesta pertenece al conjunto de puntos $x \in R^k$ que satisfacen

$$\text{grad} \hat{Y}(x) = 0$$

Por lo tanto, el punto estacionario esta dado $x_0 = \frac{-B^{-1}\beta}{2} = (x_{10}, x_{20}, \dots, x_{k0})^t$. Nótese que el punto estacionario se puede obtener fácilmente de los coeficientes del modelo ajustado.

La forma bilineal simétrica

$$Hf(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_2 \partial x_1} & \dots & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_k \partial x_1} \\ \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_1 \partial x_2} & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_k \partial x_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_1 \partial x_k} & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_2 \partial x_k} & \dots & \frac{\partial^2 Y(x)}{\partial x_k^2} \end{bmatrix}$$

sirve para caracterizar la superficie de respuesta de la siguiente manera:

1. Si $\det Hf(x_0) \neq 0$
2. Si $\det Hf(x_0) > 0$ entonces mínimo local si todos eigenvalores son positivos.
3. Si $\det Hf(x_0) < 0$ entonces máximo local si todos los eigenvalores son negativos.
4. Si $\det Hf(x_0) < 0$ entonces es un punto silla.
5. Si $\det Hf(x_0) = 0$

Si el eigenvalor distinto de cero es positivo entonces se tiene una variedad mínima local. Si el eigenvalor diferente de cero es negativo entonces se tiene una variedad máxima local.

Método de Análisis de Cordillera

Durante el análisis de una superficie de respuesta puede suceder que el punto estacionario este afuera de la región experimental, pero todavía se desea encontrar el mejor punto dentro de esta región. El análisis de cordillera es parecido a un escalamiento ascendente, pero sobre una superficie de segundo orden. El método de análisis de cordillera sirve para encontrar el máximo (mínimo) de $\hat{Y}(x)$ sobre esferas de radio variable $r_j (j = 1, 2, \dots)$ centradas en el origen $(x_1, x_2, \dots, x_k) = (0, 0, \dots, 0)$ y contenidas en la region experimental. El objetivo es encontrar el máximo valor de $\hat{Y}(x)$ en la superficie de cada esfera. Como el

modelo ajustado describe el comportamiento de la respuesta se espera que el mejor punto de operación sea el máximo (o mínimo) sobre alguna esfera.

El modelo ajustado de segundo orden sobre la región de las \mathcal{K} variables codificadas $x^t = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ y $\beta = (\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_k)$ y $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ se puede expresar en forma matricial como

$$\hat{Y}(x) = \hat{\beta}_0 + X^t \beta + X^t B X$$

y se desea maximizar $\hat{Y}(x) = \hat{\beta}_0 + X^t \beta + X^t B X$ sujeto a la restricción $x^t x - r^2 = 0$ supongamos que $x^t = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ es tal que $r = \sqrt{\sum_{i=1}^k x_i^2}$ y además $\hat{Y}(x)$ es un máximo (o mínimo) entonces se cumple que

$$\text{grad}(\hat{Y}(x)) = \mu \text{grad}\left(\sum_{i=1}^k x_i^2 - r^2\right)$$

donde μ es el multiplicador de Lagrange. De aquí se deduce que

$$2 \begin{bmatrix} \beta_{11} & \frac{\beta_{12}}{2} & \dots & \frac{\beta_{1k}}{2} \\ \frac{\beta_{12}}{2} & \beta_{22} & \dots & \frac{\beta_{2k}}{2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\beta_{1k}}{2} & \frac{\beta_{2k}}{2} & \dots & \beta_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} = 2\mu \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}$$

Así, el mejor punto sobre cada esfera debe cumplir la restricción

$$(B - \mu I)x = \frac{-\beta}{2},$$

donde el valor de μ se elige de acuerdo a lo que se busca; si se quiere un máximo μ debe ser mayor que el más grande valor propio de la matriz B , y si se busca un mínimo debe ser menor que el más pequeño valor propio de la matriz B (Draper N.R (1963)). Cada valor de μ corresponde a una esfera de cierto radio, y se debe localizar aquella sobre la cual el modelo predice el mejor valor de la respuesta en la región experimental.

Ejemplo 1: Una Aplicación de MSR en la Industria Electrónica.

La compañía está interesada en determinar los niveles de los factores que minimizan el número de obleas rotas. Los factores que se controlan son *temperatura de grabado*, *temperatura de piranha* y *temperatura de agua*. El proceso se realizaba antes del experimento a una temperatura de grabado de -3°C , una temperatura de piranha de 98°C y una temperatura de agua de 20°C y se tenía un rendimiento mecánico del 97% en la solución piranha. Se utilizó un diseño factorial 2^3 , en cada tratamiento se utilizaron

500 obleas, y se obtienen solo ocho puntos, se decidió considerar solo 250 obleas por tratamiento es suficiente para observar al menos una oblea rota por tratamiento.

Se supone que la variable porcentaje de obleas rotas depende de los factores temperatura de grabado, temperatura de piraña y temperatura de agua, en grados centígrados respectivamente. El modelo regresión lineal múltiple a considerar está dado por

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \beta_{12} X_{i12} + \beta_{13} X_{i13} + \beta_{23} X_{i23} + \varepsilon_i; i = 1, 2, \dots, 16,$$

donde

Y_i = Porcentaje de obleas rotas

X_{i1} = Temperatura de grabado

X_{i2} = Temperatura de piranha

X_{i3} = Temperatura de agua

β = $(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{13}, \beta_{12}, \beta_{23})$, es el vector de parámetros, y

ε_i = $N(0, \sigma^2)$, donde σ^2 es la varianza.

En base a la muestra y aplicando regresión lineal múltiple (mediante paquete Statistica) se obtiene el modelo ajustado siguiente:

$$\hat{E}(Y_i) = 0.015 - 0.009X_{i1} - 0.003X_{i2} - 0.004X_{i3} + 0.004X_{i13}; i = 1, 2, \dots, n.$$

De la expresión anterior se ve que el factor que más afecta a la variable número de obleas rotas (en porcentajes) es la temperatura de grabado. También se observa que mantener la temperatura de grabado en su nivel alto causa una disminución en la variable respuesta, mientras que, manteniendo la temperatura de piraña en su nivel alto y la temperatura de agua en su nivel bajo, implicando esto que se eliminen los términos correspondientes a la temperatura de piraña y el factor de interacción. Es decir, la combinación (1,1,-1) es el mejor tratamiento, debido a que esto causa que los términos correspondientes a temperatura de grabado y temperatura de piraña contribuyen a una disminución en la variable porcentaje de obleas rotas mientras que los otros factores se eliminan.

Se realizaron las gráficas de diagnóstico no se observa alguna violación seria a la suposición de normalidad, no se viola el supuesto de independencia, ni el supuesto de varianza constante.

La significancia de la regresión se prueba mediante la hipótesis

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{3vs} H_1: \beta_i \neq 0 \text{ para alguna } i$$

En la tabla siguiente aparece el análisis de varianza y se concluye que al menos una variable contribuye significativamente a la regresión porque $F_0 = 24.84 > F_{0.05,4,11} = 12.002$.

Efecto	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Estadístico F	P _{valor}
Regresión	.002340	4	.000585	24.84556	.000018
Residuos	.000259	11	.000024		
Total	.002599				

Técnica de Optimización

Con el método de mínimos cuadrados se ajustó el modelo de segundo orden a los datos y se obtuvo el modelo dado por

$$\hat{Y} = 0.015 - 0.009X_1 - 0.003X_2 - 0.004X_3 + 0.004X_{113};$$

Considerando que el objetivo es encontrar los niveles de los factores que producen la respuesta mínima, se utiliza el análisis canónico y se obtienen los siguientes resultados el valor mínimo de los valores positivos de \hat{Y} se encuentran sobre la esfera de radio 0.8, sobre el punto con coordenadas (1.001,0.334,0.572).

Ejemplo 2: Aplicación a la Esporulación de *Paecilomyces Fumosoroseus* (Wise) Brown Ans Smith.

Los hongos entomopatógenos son usados para el control de plagas en la agricultura como parte de un Programa de Manejo Integrado de Plagas (MIP). Ellos pueden ser reproducidos en medio sólido, líquido o la combinación de líquido con sólido. El objetivo es maximizar la producción de esporas por cm² de hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumosoroseus*, las cuales han sido utilizadas exitosamente para el control de diversos insectos plaga, controlando tres distintos factores: nivel de glucosa, nivel de levadura y tiempo, así como determinar los niveles de los factores que maximizan la producción de esporas del hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumosoroseus*. Los niveles de los factores controlados en escala original y codificada se muestran en la siguiente tabla.

Nivel	X Glucosa (g/l)	X Extracto de levadura(g/l)	X Tiempo (días)
-1	30	3	12
0	60	6	15
1	90	9	18
1.68179	110.4567	11.0453	20.0453
-1.68179	9.5463	0.9546	9.9546

Diseño composición central

Trat	X Glucosa (g/l)	X Extracto de levadura (g/l)	X Tiempo (días)	Esporas
1	30	3	12	7.13
2	30	3	15	8.82
3	30	3	18	10.8
4	90	3	12	5.41
5	90	3	15	4.92
6	90	3	18	7.48
7	30	9	12	13.2
8	30	9	18	16.1
9	30	9	20.04	12.9
10	90	9	12	10.6
11	90	9	15	9.47
12	90	9	18	14.6
13	9.5463	6	12	3.51
14	110.4537	6	12	6.94
15	60	.9546	12	3.24
16	60	11.04	12	13.2
17	60	6	9.9546	7.40
18	60	6	12	10.4
19	60	6	15	12.2
20	60	6	20.04	15.4
21	9.5463	6	15	15.3
22	110.4537	6	15	9.12
23	60	09546	15	2.79
24	60	11.0454	15	13.3

El modelo de regresión lineal múltiple

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \beta_{11} X_{i1}^2 + \beta_{22} X_{i2}^2 + \beta_{33} X_{i3}^2 + \beta_{12} X_{i1} X_{i2} + \beta_{13} X_{i1} X_{i3} + \beta_{23} X_{i2} X_{i3} + \beta_4 X_{i4} + \beta_5 X_{i5} + \beta_6 X_{i6} + \varepsilon_i; i = 1, 2, \dots, n$$

donde:

Y_i	Producción de esporas por cm^2
X_{i1}	Glucosa
X_{i2}	Levadura
X_{i3}	Tiempo de cosecha

X_{i4}, X_{i5}, X_{i6} Variables indicadoras para los niveles de la variable *Réplica*

$\varepsilon_i = N(0, \sigma^2),$

ε_i 's independientes

Modelo de Segundo Orden Completo

$$\hat{Y}_i 701,484,260 - 61,667,314X_{i1} + 118,251,777X_{i3} - 61,784,249X_{i1}^2 - 71,091,915X_{i2}^2 - 23,630,759X_{i3}^2 + 6,087,048X_{i1}X_{i2} \pm 10,024,806X_{i1}X_{i3} - 20,499,488X_{i2}X_{i3} - 42,938,986X_{i4}X_{i5} + 46,484,506X_{i6};$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Regresión Múltiple

De acuerdo con los resultados de la prueba sobre la significancia de la regresión, la glucosa, la levadura y el tiempo de cosecha contribuyen significativamente a la regresión (producción de esporas/cm² de *Paecilomyces fumosoroseus*, Al ajustar este modelo se obtuvo una R² de 0.79, mientras que ϕ^2 fue 1.54050×10^{16} para verificar la significancia de la regresión en el modelo de segundo orden completo.

Efecto	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Estadístico F	P _{valor}
Réplica	2.2089 $\times 10^{17}$	3	7.3732 $\times 10^{16}$	5.24	0.0022
Regresión	6.5713 $\times 10^{18}$	9	7.3015 $\times 10^{18}$	46.07	0.0000
Residuos	2.7100 $\times 10^{18}$	171	1.5848 $\times 10^{18}$		
Total	9.5022 $\times 10^{18}$	183			

Tabla de análisis de varianza.

Como $F_0 = 46.07 > F_{0.05,9,171} = 1.93$. Las variables la glucosa, la levadura y el tiempo de cosecha contribuyen significativamente a la regresión, el efecto de la variable Réplica es significativo, por lo que las respuestas de las observaciones dependen de la réplica en la que se encuentre cada una de ellas.

Significancia de los Parámetros

Parámetros	Valor de la Estadística	p-valor	Criterio de Rechazo
β_0	30.7998	0.0000	Se rechaza H_0
β_1	-6.0313	0.0000	Se rechaza H_0
β_2	15.1959	0.0000	Se rechaza H_0
β_3	12.4753	0.0000	Se rechaza H_0
β_{11}	-5.2593	0.0000	Se rechaza H_0
β_{22}	-6.0516	0.0000	Se rechaza H_0
β_{33}	-2.0647	0.0000	Se rechaza H_0
β_{12}	-0.5014	0.6173	No rechazo H_0
β_{13}	-0.8331	0.4070	No rechazo H_0
β_{23}	-1.6949	0.0936	No rechazo H_0
β_4	-2.8369	0.0056	Se rechaza H_0
β_5	-1.4313	0.1558	No rechazo H_0
β_6	3.0712	0.0028	Se rechaza H_0

Cada uno de los términos del modelo de segundo orden completo contribuyen significativamente $t = 1.960$ a explicar el comportamiento de la producción de esporas/cm².

Conclusiones

De los resultados obtenidos del análisis realizado en el presente trabajo se puede resaltar lo siguiente:

1. Se presenta una aplicación del diseño de experimentos en la industria electrónica mexicana. Algunos aspectos que hacen interesante este experimento son: 1) las consideraciones de ingeniería de proceso que se hicieron previamente, 2) las diferentes alternativas de análisis estadístico, por ser la respuesta una variable binaria y 3) el ahorro económico obtenido.
2. Los diferentes análisis que se realizaron detectaron como significativos los efectos X_1 , X_2 y X_{13} . El análisis mediante el modelo de regresión múltiple y el modelo de regresión logística tuvieron la capacidad para detectar los mismos efectos. Esto se debe tal vez a que un número grande de obleas procedas en cada tratamiento. Antes del experimento se utilizaba la combinación de temperaturas $(X_1, X_2, X_3) = (-1, 1, -1)$ y después de analizar los datos mediante las técnicas, se encontró que un mejor punto es $(1, 1, -1)$.
3. Desde el punto de vista económico, se importante mencionar que antes del experimento se rompían obleas por cada mil procesadas, lográndose este número a 15 por cada mil. Esta mejora representa un ahorro aproximado de \$ 8000.00 dólares mensuales. Esta aplicación del diseño de experimentos muestra que para tener

mejoras importantes no se requieren diseños complicados, ni análisis estadísticos sofisticados, sino experimentos bien conducidos. Aunque hubiese sido mejor haber corrido un diseño factorial 2^3 con puntos al centro.

4. Las coordenadas en escala original del punto crítico obtenido con el análisis canónico, así como el valor de la variable respuesta, también en su escala original, son muy cercanos a los obtenidos en el laboratorio, lo cual habla de que el modelo estadístico describe atinadamente lo que sucede en la realidad, ya que los resultados obtenidos por las dos vías son semejantes.

5. La producción de esporas por caja de 49 mm de diámetro varió de 3.43 a 9.53 x 10⁹. Al incrementar la glucosa de 10 a 50 g/L la esporulación aumento más del 40%. No hubo diferencia significativa en la esporulación al cosechar a los 15 y 18 días, ni al aumentar el extracto de levadura de 5 a 15 g/L. El óptimo de glucosa es superior a 50 g/L el extracto de levadura es cercano a 10 g/L y en el tiempo de incubación esta entre 12 y 18 días (Osuna Páez et al., 1999).

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Box, G. E. P. (1952). Multi-factorial designs of first orders. *Biométrica*.
- 2) Box, Ep, Box., and Draper, R. Norma (1963). *Empirical Model-Building and Response Surfaces*, John Wiley & Sons, Inc.
- 3) Castro Montoya, R. 1995. *Metodología de Superficie de Respuesta: Una aplicación en la fabricación de circuitos integrados*. Tesis de licenciatura. Escuela de Ciencias Físico Matemáticas, UAS.
- 4) Gutiérrez Pulido, H. y De la Vara Salazar, R. (2003). *Análisis y Diseño de Experimentos*. Ed. McGraw Hill. México, DF.
- 5) Khuri A.I. and Cornell J.A. (1987). *Response Surfaces*. New York: Marcel Dekker.
- 6) Montgomery D.C. (1991). *Design and Analysis of Experiments*. Third edition. New York: Wiley.
- 7) Myers, R. (1971). *Response Surface Methodology*. Boston: Allyn and Bacon.
- 8) Osuna Páez, A. G. Cárdenas Cota, H. M. y Estrada Ramírez, F. J. 1999. Efecto de la fuente de carbono y nitrógeno sobre la esporulación de *Paecilomyces fumosoroseus*. *Memorias del III del Congreso Regional de Ciencias Alimentarias y Biotecnología*. PP. 107-111.

ÍNDICE REMISSIVO

SÍMBOLOS

1-3 dioxolanas 163

A

Agricultura 12, 48, 66, 93, 108, 122, 149, 172

Alfabetização espacial 5, 110, 111, 115, 117, 118

Alfabetização geográfica 110, 112, 114, 115, 118

Amazônia 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 81, 83, 93

Aprendizagem baseada em problemas; 15

Aromas; 15, 16

Auto-aldolização 6, 163

Avaliação 7, 19, 29, 38, 82, 93, 109, 111, 156, 157, 159, 160, 190, 191, 194, 195, 198, 200, 201, 202, 204, 206

B

B3LYP 172, 174

C

Cetalização 6, 163, 166, 167

Cetonas protonadas 163

Cromo (III) 172

D

Década do oceano 42, 48

Demanda hídrica 82

DFT 172, 173

Diagnóstico energético 94, 96, 97, 98

Dinâmica de fluidos computacional 5, 130

Diseño y análisis de experimentos 139

E

Electron-positron pair 4, 1, 2, 5, 7

Ensino de Física 8, 121, 128, 129, 203

Ensino de química 15, 16, 23, 24, 25

Ensino e aprendizagem 130, 191

Estratificado 181, 184, 185, 187, 189

F

Fenômenos de transporte 6, 130, 131, 138

Ferro (III) 172

G

Geoquímica 4, 9, 12, 13

H

Hidrólise de cetais 163

História da física 121, 127

Hospitalidade 6, 154, 156, 160, 161

I

Iluminação artificial 94, 96

J

Johannes Kepler 121, 122, 124, 125, 128, 129

L

LED 94, 95, 96, 97, 101, 102, 103, 105, 107, 108, 109

Lisímetros 82, 83, 84, 85, 86, 93

M

Malacocultura 42, 43, 45, 46, 47, 49

Meio ambiente 33, 34, 35, 36, 38, 51, 64, 69, 70, 71, 76, 78, 94, 95, 97, 101, 102, 106, 154, 161

Metodología 6, 139, 140, 141, 153, 189

Metodologia ativa 23, 25, 190, 193, 202

Modelos 32, 82, 83, 97, 132, 135, 138, 139, 141

Movimento planetário 121, 123, 124, 125, 126, 127, 129

Muestreo 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 189

O

Oceanografia 41, 42

P

Pair production 1, 2, 3, 6, 7, 8

Pensamento espacial 110, 111, 112, 114, 115, 117, 118, 119

Piscicultura marinha 42, 44, 47, 49, 63

Planejamento 27, 31, 95, 155, 161, 162, 192, 201, 206

Población 181, 183, 184, 185, 186, 187, 189

Posicionamento estratégico 154, 157

Propostas de aulas 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128

Q

Química computacional 172, 174

S

Sideróforo 172, 173

Sílica sulfonada 163, 165

Superfície de resposta y pruebas de hipótesis 139

Sustentabilidade 10, 12, 13, 14, 27, 33, 34, 35, 38, 40, 42, 47, 48, 102, 155, 157, 159, 160

T

Tamaño de muestra 181, 183, 184, 185, 186, 189

Team based learning 7, 190, 192, 202

Terras pretas 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Triplet pair production 1, 3, 6, 7, 8

U

Uso consciente 35

V

Vigna unguiculata L 82, 87

W

Walp. Penman-monteith 82

Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021

Cultura, epistemologia e educação em ciências exatas e da terra



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021