

CAPITULO I

DISEÑOS EXPERIMENTALES

1.1 ASPECTOS GENERALES

El Diseño de Experimentos tuvo su inicio teórico a partir de 1935 por Sir Ronald A. Fisher, quién sentó la base de la teoría del Diseño Experimental y que a la fecha se encuentra bastante desarrollada y ampliada. Actualmente las aplicaciones son múltiples, especialmente en la investigación de las ciencias naturales, ingeniería, laboratorios y casi todas las ramas de las ciencias sociales.

La experimentación proporciona los datos experimentales, en contraste con los datos de la observación; los datos de la observación se representan como su nombre indica por observaciones de las unidades elementales de una población o de una muestra, y no deben ser cambiados ni modificados por ningún intento de parte de un investigador en el curso de la observación.

ORIENTACIONES GENERALES EN LA EXPERIMENTACION AGRICOLA

En la planificación agrícola o biológica y en el desarrollo de una investigación en particular, son de interés las siguientes aspectos:

- a. Especificar los problemas, con el fin de probar hipótesis o encontrar respuestas. Es necesario considerar que los experimentos sean:
 - a.1. Experimentos simples, cuando se estudia un solo factor de variación; por ejemplo, probar cinco variedades de sorgo, estudiar cinco dosis de nitrógeno en trigo, etc.
 - a.2. Experimentos factoriales, cuando se estudian simultáneamente dos o más factores que influyen en la producción; por ejemplo, estudiar tres variedades, cada una sembrada a tres densidades de siembra, o bien tratamientos de fósforo, nitrógeno y potasio, cada uno a cuatro dosis por unidad de superficie.
- b. Ubicar el lugar adecuado para la realización de los experimentos, para lo cual se debe elegir una localidad accesible y representativa de áreas agrícolas, de suelo uniforme, con unidades experimentales lo más uniforme posible, y escoger el material adecuado para experimentos, de manera que pueda estratificarse (agruparse unidades experimentales con características homogéneas) el terreno correctamente para formar grupos uniformes y de fácil manejo.
- c. Reducir las fuentes de error, tanto del experimento como de aquellos errores o equivocaciones operacionales. Es muy importante que en la selección de datos, muestreo, etc., el personal responsable esté constituido por técnicos o personas con entrenamiento.

- d. Mantener constante los diversos factores que pueden afectar a la producción o a la calidad del producto, de manera que los únicos factores de variación sean los tratamientos objeto de estudio.
- e. Extremar precauciones y ser cautos en los resultados experimentales, considerando que un experimento es una observación de una muestra en una población de experimentos.
- f. Repetir experimentos uniformes en diferentes localidades, suelos y años.
- g. Tener conocimiento de la tecnología de campo y saber cuáles son los problemas del productor.

En la planeación o diseño de un experimento agronómico, es necesario aplicar un conjunto de disciplinas y conocimientos biológicos con el fin de encontrar una respuesta correcta a un problema específico. Por ejemplo, si se comparan diversas variedades de trigo, todos los factores de la producción que influyen en el comportamiento de las variedades deben permanecer constantes y las únicas fuentes de variación o diferencias serán presentadas por las variedades de trigo, si tales fuentes existen. Para lograr lo anterior, es necesario contar con ciertos conocimientos sobre:

- a. Suelos, a fin de elegir el terreno más uniforme y adecuado para realizar el experimento.
- b. Fertilización, para cuando sea necesario planear experimentos con fertilizantes químicos orgánicos o abonos orgánicos.
- c. Topografía e hidráulica, para trazar parcelas, niveles, riegos, etc.
- d. Especialidades afines como: Botánica, entomología, fitopatología, fisiología, genética, ecología, etc. para poder trabajar con seres vivos.
- e. Tecnologías de : Cultivos, sistemas agroforestales, agrosilvo pastoriles y zootecnia, para manejar las unidades experimentales.
- f. Estadística (biometría o bioestadística), para evaluar y separar las diversas causas de variación y para realizar la interpretación de los resultados experimentales.

Pasos al planear un experimento:

El método científico sugiere que en el planeamiento de la experimentación se debe tener presente las siguientes etapas :

- a. Definir el problema: En esta etapa se debe determinar los antecedentes, importancia, objetivos, hipótesis a probar y revisión de la bibliografía.
- b. Planeamiento y diseño del experimento: En esta etapa se debe tener en cuenta: Lugar de ejecución del experimento, tamaño de la parcela o unidad experimental, número de repeticiones por tratamiento, equipos e instrumentos a utilizar y métodos de evaluación de los resultados
- c. Ejecución del experimento.
- d. Recolección de datos del experimento.
- e. Ordenamiento de la información experimental.
- f. Discusión de los resultados obtenidos.
- g. Análisis económico de los tratamientos que se probaron y utilidad práctica.
- h. Conclusión final y recomendación.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Este término se utiliza para planear un experimento de manera que se pueda obtener la información pertinente a un determinado problema que se investiga y así tomar decisiones correctas.

El diseño adecuado del experimento es una etapa fundamental de la experimentación, que permite el suministro correcto de datos a posteriori, los que a su vez conducirán a un análisis objetivo y con deducciones válidas del problema.

PROPOSITO DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL

El propósito de un diseño experimental es proporcionar métodos que permitan obtener la mayor cantidad de información válida acerca de una investigación, teniendo en cuenta el factor costo y el uso adecuado del material disponible mediante métodos que permitan disminuir el error experimental.

TRATAMIENTO

Los tratamientos vienen a constituir los diferentes procedimientos, procesos, factores o materiales y cuyos efectos van a ser medidos y comparados.

El tratamiento establece un conjunto de condiciones experimentales que deben imponerse a una unidad experimental dentro de los confines del diseño seleccionado. Ejemplos:

Dosis de fertilizante, ración alimenticia, profundidad de sembrado, distanciamiento entre plantas, variedades de un cultivo.

TESTIGO

El testigo es el tratamiento de comparación adicional, que no debe faltar en un experimento; por ejemplo, si se usan cinco tratamientos con fertilizante, el testigo puede ser aquel tratamiento que no incluye fertilizante. La elección del tratamiento testigo es de gran importancia en cualquier investigación, este se constituye como **referencial del experimento** y sirve para la comparación de los tratamientos en prueba.

UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental, es el objeto o espacio al cual se aplica el tratamiento y donde se mide y analiza la variable que se investiga. En los experimentos pecuarios la unidad experimental por lo general esta conformada por un animal (cuye, cerdo, pato, etc.), en los experimentos forestales la unidad experimental en la mayoría de los casos esta conformado por un árbol y en la mayor parte de las pruebas de campo agrícolas, la unidad experimental es una parcela de tierra en lugar de una planta individual; es en este último caso que con frecuencia se presenta lo que se llama *efecto de borde*.

Efecto de Borde

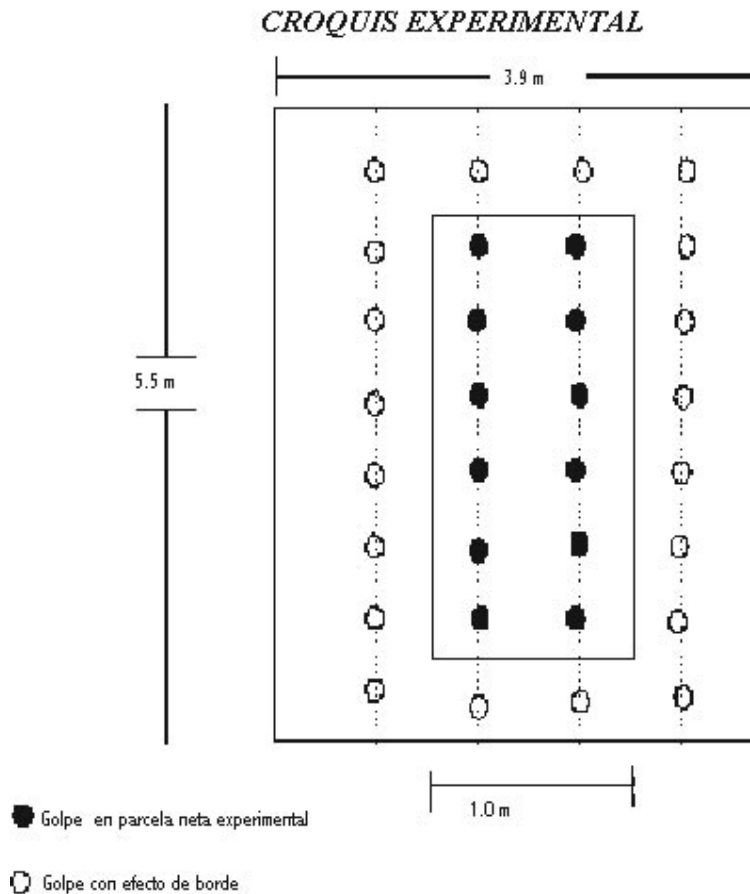
En los experimentos agrícolas, muchas veces existen diferencias en el crecimiento y la producción de las plantas que están situadas en los perímetros de la parcela en relación con aquellas plantas situadas en la parte central; esta diferencia es llamado efecto de borde y puede causar sobre-estimación o sub-estimación de las respuestas de los tratamientos, llegando con esto a comparaciones sesgadas entre ellos.

El efecto de bordes puede ser causado por:

- Vecindad de las parcelas ó áreas no cultivadas, que hace que las plantas en los perímetros tengan menor competencia de luz y nutrientes.
- Competencia entre tratamientos, que depende de la naturaleza de los tratamientos vecinos.

Para controlar el efecto de borde se acostumbra a evaluar solamente las plantas centrales para los fines experimentales. Estas plantas centrales constituyen lo que se llama **PARCELA NETA EXPERIMENTAL**.

En el siguiente ejemplo se muestra el croquis de una parcela de maíz con cuatro surcos, donde las plantas de cabecera y de los dos surcos laterales, se consideran efectos de borde.



Una manera de disminuir el efecto de borde es mediante el uso de Calles que pueden ser: áreas adyacentes sin sembrar ó el uso de bordes con plantas que no intervendrán en la cosecha del experimento

ANALISIS DE LA VARIANCIA

Es una técnica estadística que sirve para analizar la variación total de los resultados experimentales de un diseño en particular, descomponiéndolo en fuentes de variación independientes atribuibles a cada uno de los efectos en que constituye el diseño experimental.

Esta técnica tiene como objetivo identificar la importancia de los diferentes factores ó tratamientos en estudio y determinar como interactúan entre sí.

HIPOTESIS ESTADISTICA

Es el supuesto que se hace sobre el valor de un parámetro (constante que caracteriza a una población) el cual puede ser validado mediante una prueba estadística.

En la investigación agraria al realizar un análisis estadístico utilizando el ANVA de un diseño experimental, la hipótesis a probar es si los tratamientos tienen el mismo efecto sobre la variable que se estudia, es así como se tienen las hipótesis planteada (H_p) e hipótesis alterna (H_a):

$H_p: \tau_i = 0$ (Los i tratamientos tienen el mismo efecto sobre la variable en estudio)

$H_a: \tau_i \neq 0$ (No todos los tratamientos tienen el mismo efecto sobre la variable en estudio)

Al probar la hipótesis estadística el investigador está propenso a cometer los siguientes tipos de errores:

Error Tipo I: Se comete cuando se rechaza la hipótesis que se plantea, siendo esta hipótesis falsa; la magnitud de este error es fijado por el investigador y constituye el “nivel de significación de la prueba”; usualmente los valores usados como nivel de significación son 0.05 ó 0.01.

Error tipo II: Se comete cuando se acepta la hipótesis que se plantea, siendo esta hipótesis falsa; la magnitud de este error no se puede fijar, pero si es posible minimizar utilizando un tamaño adecuado de muestra.

PRINCIPIOS BASICOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Los principios básicos del diseño experimental son: repetición, aleatorización, y control local.

Repetición: Viene a ser la reproducción o réplica del experimento básico (asignación de un tratamiento a una unidad experimental). Las principales razones por las cuales es deseable la repetición son : Primero por que proporciona una estimación del error experimental, siendo tal estimación confiable a medida que aumenta el número de repeticiones, y segundo permite estimaciones más precisas del tratamiento en estudio.

Aleatorización: Consiste en la asignación al azar de los tratamientos en estudio a las unidades experimentales con el propósito de asegurar que un determinado tratamiento no presente sesgo. Por otro lado la aleatorización hace válidos los procesos de inferencia y las pruebas estadísticas.

Control Local (Control del error Experimental): Consiste en tomar medidas dentro del diseño experimental para hacerlo más eficiente, de tal manera que pueda permitir la reducción del error experimental y así hacerla más sensible a cualquier prueba de significación.

SUPUESTOS ACERCA DEL MODELO ESTADISTICO

Los supuestos necesarios del modelo estadístico son:

- a. Aditividad: Los factores o componentes del modelo estadístico son aditivos, es decir la variable respuesta es la suma de los efectos del modelo estadístico.
- b. Linealidad: La relación existente entre los factores o componentes del modelo estadístico es del tipo lineal.
- c. Normalidad: Los valores resultado del experimento provienen de una distribución de probabilidad «Normal» con media μ y variancia σ^2 .
- d. Independencia: Los resultados observados de un experimento son independientes entre sí.
- e. Variancias Homogéneas (Homocedasticidad): Las diversas poblaciones generadas por la aplicación de dos o más tratamientos tienen variancias homogéneas (variancia común).

TIPOS DE MODELOS ESTADISTICOS

De acuerdo a la selección de los tratamientos y otros factores se tiene la siguiente clasificación:

Modelo I (Efectos Fijos):

Se presenta cuando los tratamientos y demás factores que intervienen en un experimento son fijados por el investigador; es decir, no se efectúa una elección aleatoria. En estos casos las conclusiones del análisis de variancia solamente son válidas para los tratamientos y otros factores usados en el experimento. En el presente trabajo se ha considerado únicamente el caso de modelo de efectos fijos, por ser el que se presenta con mayor frecuencia en la experimentación agraria.

Modelo II (Efectos aleatorios):

Se presenta cuando los tratamientos y demás factores que intervienen en un experimento son elegidos al azar de una población. En estos casos las conclusiones del análisis de variancia son válidos, tanto para los tratamientos y demás factores usados, así como para todas las poblaciones de tratamientos y factores.

Modelo III (Modelo Mixto):

Este modelo es la combinación de los dos anteriores y se presenta cuando algunos factores son fijados y otros son elegidos al azar. En estos casos las conclusiones del análisis de variancia serán válidas para toda la población de factores cuando estos son elegidos al azar, y solamente para los factores usados cuando estos son fijados.

PRUEBAS DE COMPARACION DE MEDIAS

Es propósito de todo investigador que realiza un análisis de variancia de un experimento en particular, realizar la prueba sobre el efecto de los tratamientos en estudio, para ello hace uso de la prueba F el cual indicará si los efectos de todos los tratamientos son iguales o diferentes; en caso de aceptar la hipótesis de que todos los tratamientos no tienen el mismo efecto, entonces es necesario realizar pruebas de comparación de promedios a fin de saber entre que tratamientos hay diferencias, y para esto es necesario realizar pruebas de comparación múltiple como las siguientes:

Diferencia Significativa Mínima (DLS):

Es una prueba para comparar dos medias y su uso en comparaciones simultáneas se justifica sólo en las siguientes condiciones:

- a. La prueba F resulta significativa.
- b. Las comparaciones fueron planeadas antes de ejecutar el experimento.

Prueba de Rangos Múltiples de Duncan:

Este procedimiento es utilizado para realizar comparaciones múltiples de medias; para realizar esta prueba no es necesario realizar previamente la prueba F y que ésta resulte significativa; sin embargo, es recomendable efectuar esta prueba después que la prueba F haya resultado significativa, a fin de evitar contradicciones entre ambas pruebas.

Prueba de Rangos Múltiples de Tukey:

Este procedimiento es llamado también «Diferencia Significativa Honesta», se utiliza para realizar comparaciones múltiples de medias; esta prueba es similar a la prueba de Duncan en cuanto a su procedimiento y además es más exigente.

Prueba de Comparación de Dunnett:

Esta prueba es útil cuando el experimentador está interesado en determinar que tratamiento es diferente de un testigo, control o tratamiento estándar, y no en hacer todas las comparaciones posibles (que pasarían a una segunda prioridad); es decir, cuando se quiere comparar el testigo con cada uno de los tratamientos en estudio.

TRANSFORMACION DE DATOS

La razón principal de la transformación de datos es que de llevarse a cabo un análisis estadístico con resultados que no cumplan con los supuestos acerca del modelo estadístico, se puede llegar a una conclusión equivocada.

Un cambio de escala puede variar la media y la variancia de la variable así como su relación con respecto a otras variables. La forma de la distribución de una variable cambia con la escala. Mediante una transformación adecuada puede conseguirse que un variable que no se distribuye normalmente pase a tener una distribución casi normal. Las poblaciones con variancias desiguales pueden convertirse en homocedásticas (variancias homogéneas) mediante una transformación apropiada.

Las transformaciones mas usadas son:

a. Transformación logarítmica

El modelo lineal (por ejemplo $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + e_{ij}$) indica que el efecto del bloque, el efecto del tratamiento y el error experimental, son todos ellos aditivos. Si los bloques y los tratamientos aumentan o disminuyen las mediciones en un determinado porcentaje en lugar de una determinada cantidad, entonces se dice que los efectos son multiplicativos y no aditivos. En estos casos, una transformación logarítmica transformará en aditiva la relación multiplicativa y en consecuencia el modelo lineal podrá ser aplicado a los nuevos datos.

Para ciertos tipos de análisis, el investigador prefiere la escala que elimina las interacciones mientras que para otras puede preferir la escala que restituye los efectos lineales. Lo que hay que recordar es que la relación entre las variables está muy influenciada por las escalas con las que se miden dichas variables. Las interpretaciones de los datos sólo son válidas en relación con la escala particular adoptada en un caso determinado.

b. Transformación de la raíz cuadrada

Cuando los datos están dados por números enteros procedentes del conteo de objetos, como por ejemplo el número de manchas en una hoja o el número de bacterias en una placa, los números observados tienden a presentar una distribución de Poisson más que una distribución normal. Las consideraciones teóricas conducen a la transformación de la raíz cuadrada de los números observados. Normalmente esta transformación determina que las variancias de los grupos sean más iguales. También es aplicable a las distribuciones sesgadas puesto que acorta la cola larga.

Si y es el número observado, para el análisis estadístico y la prueba de significación utilizaremos $y^{1/2}$. Cuando los números observados son pequeños (de 2 a 10), se prefiere la transformación $(y+0.5)^{1/2}$, en especial cuando algunos de los números observados son cero.

COEFICIENTE DE VARIABILIDAD

Es una medida de variabilidad relativa (sin unidades de medida) cuyo uso es para cuantificar en términos porcentuales la variabilidad de las unidades experimentales frente a la aplicación de un determinado tratamiento. En experimentación no controlada (condiciones de campo) se considera que un coeficiente de variabilidad mayor a 35% es elevado por lo que se debe tener especial cuidado en las interpretaciones y ó conclusiones; en condiciones controladas (laboratorio) se considera un coeficiente de variabilidad mayor como elevado. La expresión estimada del coeficiente de variabilidad es:

$$cv = \frac{\sqrt{cme}}{\bar{Y}} \times 100$$