

Diseño experimental

en el desarrollo del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias

Luis A. Condo Plaza
José M. Pazmiño Guadalupe

Tomo 1



ESPOCH

2015

Diseño experimental

Diseño experimental

en el desarrollo del conocimiento científico
de las ciencias agropecuarias

TOMO I

Luis A. Condo Plaza

José M. Pazmiño Guadalupe



**Diseño experimental en el desarrollo
del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias**

© 2015 Luis A. Condo Plaza y José M. Pazmiño Guadalupe

© 2015 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Panamericana Sur, kilómetro 1 ½

Instituto de Investigaciones

Riobamba, Ecuador

Teléfono: (593 3) 2998-200

Código postal: EC060155

Aval ESPOCH

Resolución.115-CD.FCP.10-03-2009 Resol.024.CA-21-07-2009

Resol.221.CP.21-07-2009

CERTIFICACIÓN IEPI N°. 037856 Trámite No. 000110

Informe favorable de pares evaluadores externos según Oficio N°. 00227.VIP.2015, emitido por el Director de Publicaciones Científicas. Ing. PhD. Eduardo Fidel Héctor Ardisana. ESPOCH. Marzo 3 de 2015.

Corrección, diseño y diagramación:

La Caracola Editores

Impreso en Ecuador

Prohibida la reproducción de este libro, por cualquier medio, sin la previa autorización por escrito de los propietarios del *copyright*.

CDU: 519.2+631

Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias. Tomo 1.

Riobamba: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

Instituto de Investigaciones; 2015

99 p. vol: 17 x 24 cm

ISBN: 978-9942-21-569-7

1. Estadística

2. Diseño experimental

3. Ciencias agropecuarias

*Lucharé hasta que me caiga de cansancio
y cuando ello ocurra, me pararé y seguiré luchando.
Porque tengo derecho de gritar, llorar, reír y amar;
pero no de rendirme.*

(ERNESTO CHE GUEVARA)

*La ciencia tiene derecho a ser libre, a ser respetada,
a gobernarse por sí misma.*

(JOSÉ MARTÍ)

*A estudiantes, investigadores,
docentes de Chimborazo, Ecuador y el mundo.*

CONTENIDO GENERAL

TOMO 1

Prefacio.....	19
Presentación	21
CAPÍTULO I.....	23
GENERALIDADES.....	25
Principios básicos en el diseño de experimentos.....	26
Aleatorizar.....	27
Ventajas de aleatorizar los factores no controlados	27
Bloquear	27
La factorización del experimento	28
Principios generales del diseño experimental	28
Requerimientos mínimos del diseño experimental.....	30
Hipótesis	31
Fases de la experimentación	34
Clases de experimentos	35
Tratamientos	38
Testigo.....	39
Selección de tratamientos.....	42
Unidad experimental.....	42
Repeticiones	45
Réplicas	47
Disposición de las repeticiones.....	48
Factores que determinan el número de repeticiones	50
Error experimental o residuo experimental	50
Control del error experimental.....	53
Selección del sitio y material experimental.....	54
Precisión del experimento	55
Randomización	57
Selección del diseño experimental.....	58
Inferencia estadística	59

CAPÍTULO II	61
INFERENCIA ESTADÍSTICA	63
Prueba de hipótesis a partir de información binomial	64
Criterios para aceptar o rechazar las hipótesis	70
Distribuciones teóricas	71
Intervalo de confianza	75
Prueba de hipótesis a partir de experimentos agropecuarios.....	76
ANÁLISIS DE VARIANZA.....	78
Grados de libertad.....	80
TRANSFORMACIONES	82
Transformación a la raíz cuadrada	82
Transformación logarítmica	83
Transformación arco-seno (θ)	83
CAPÍTULO III.....	85
SEPARACIÓN DE MEDIAS	87
Comparación entre medias de tratamientos	87
Prueba de la diferencia mínima significativa (DMS).....	88
Prueba del rango múltiple de Duncan (RMD)	91
Prueba de Duncan modificada o Waller Duncan.....	93
Prueba de Tukey (Q)	93
Prueba de Scheffé (Sh).....	95
Prueba de Dunnett (ALS)	96
Comparaciones ortogonales	98

TOMO 2

CAPÍTULO IV	9
EXPERIMENTOS SIMPLES.....	11
DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR (DCA).....	11
Diseño completamente al azar con submuestras.....	37
DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)....	47
Recuperación de parcelas perdidas	57

Diseño de bloques completamente al azar con submuestras.....	74
Diseño cuadrado latino (DCL)	85
Diseño cuadrado latino modificado.....	99

TOMO 3

CAPÍTULO V.....	9
EXPERIMENTOS FACTORIALES.....	11
Diseño completamente al azar con arreglo combinatorio.....	17
Diseño de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas	34
Experimentos trifactoriales	49
Experimento factorial bajo un DBCA con arreglo en parcelas subdivididas	59
Experimento tetrafactorial	72

TOMO 4

CAPÍTULO VI.....	9
EXPERIMENTOS FACTORIALES COMPLEJOS.....	11
Diseño completamente al azar	11
Diseño de bloques completamente al azar.....	28
Experimento factorial bajo un DBCA con arreglo en parcelas divididas y testigos satelitales	43
Experimento factorial bajo un DBCA con arreglo en parcelas subdivididas y testigos satelitales	58
CAPÍTULO VII.....	75
ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y REGRESIÓN.....	77
Coeficiente de correlación (R).....	79
Propiedades del coeficiente de correlación.....	80
Correlación y determinación simples	82

Coeficiente de correlación múltiple	83
Regresión	85
Ecuación de la línea recta	88
Ecuación de regresión curvilínea	91
Coeficientes de regresión.....	93
Valores ajustados	100
Desviación y límites de confianza.....	102
Ecuación de regresión múltiple	115

TOMO 5

CAPÍTULO VIII	9
ANÁLISIS DE COVARIANZA (ADECOVA).....	11
Usos del ANACOVA.....	13
Para aumentar la precisión de un experimento	13
Interpretación de datos.....	13
Ajustar datos de la variable dependiente frente a posibles fuentes de error	14
Control del error	14
Desdoblamiento de la covarianza	14
Estimar datos perdidos.....	15
Suposiciones en el ANACOVA y el modelo lineal aditivo.....	15
Ajuste de datos dependientes (Y)	17
Criterios que tomar en cuenta en la interpretación	17
CAPÍTULO IX.....	31
PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS	
ANÁLISIS SENSORIAL.....	33
Atributos sensoriales y aspectos más relevantes.....	33
Audición y ruidos	35
Factores que influyen en la evaluación sensorial	36
Metodología de evaluación sensorial	37
Prueba de <i>rating test</i>	38

Chi cuadrado - Ji cuadrada.....	55
Corrección de Yates.....	60
Prueba de Kruskal Wallis	61
Dócima del signo para observaciones pareadas.....	71
Verificación de hipótesis.....	72
Deducción de conclusiones	74
BIBLIOGRAFÍA.....	77
APÉNDICES.....	83

CONTENIDO TOMO 1

Prefacio.....	19
Presentación	21
CAPÍTULO I.....	23
GENERALIDADES	25
Principios básicos en el diseño de experimentos.....	26
Aleatorizar.....	27
Ventajas de aleatorizar los factores no controlados	27
Bloquear	27
La factorización del experimento	28
Principios generales del diseño experimental	28
Requerimientos mínimos del diseño experimental.....	30
Hipótesis	31
Fases de la experimentación	34
Clases de experimentos	35
Tratamientos	38
Testigo.....	39
Selección de tratamientos.....	42
Unidad experimental.....	42
Repeticiones	45
Réplicas	47
Disposición de las repeticiones.....	48
Factores que determinan el número de repeticiones	50
Error experimental o residuo experimental	50
Control del error experimental.....	53
Selección del sitio y material experimental.....	54
Precisión del experimento	55
Randomización	57
Selección del diseño experimental.....	58
Inferencia estadística	59

CAPÍTULO II	61
INFERENCIA ESTADÍSTICA	63
Prueba de hipótesis a partir de información binomial	64
Criterios para aceptar o rechazar las hipótesis	70
Distribuciones teóricas	71
Intervalo de confianza	75
Prueba de hipótesis a partir de experimentos agropecuarios.....	76
ANÁLISIS DE VARIANZA.....	78
Grados de libertad.....	80
TRANSFORMACIONES	82
Transformación a la raíz cuadrada	82
Transformación logarítmica	83
Transformación arco-seno (θ)	83
CAPÍTULO III.....	85
SEPARACIÓN DE MEDIAS	87
Comparación entre medias de tratamientos	87
Prueba de la diferencia mínima significativa (DMS).....	88
Prueba del rango múltiple de Duncan (RMD)	91
Prueba de Duncan modificada o Waller Duncan.....	93
Prueba de Tukey (Q)	93
Prueba de Scheffé (Sh).....	95
Prueba de Dunnett (ALS)	96
Comparaciones ortogonales	98

PREFACIO

La producción bibliográfica siempre ha sido considerada como una de las cúspides de la realización profesional en todos los ámbitos de la experiencia humana. Para la actual obra, los autores han recorrido diez años desde que se propusieron implementar un compendio de referencias y procesos que han sido estructurados desde la base de la experiencia y particularmente de la relación con la matemática experimental y la investigación científica.

Esta obra se circunscribe dentro de las necesidades científicas y académicas de la investigación que día a día avanza, y gracias a ella, la tecnología ha permitido alcanzar y descifrar grandes paradigmas.

La filosofía del nuevo mundo y los cambios sustanciales en el globo terráqueo se deben, en primera instancia, a la permanente investigación que ha propiciado grandes pasos. Desde ese punto de vista, los experimentos son inagotables.

Esta inspiración ha hecho que no solamente se analice desde los diseños tradicionalmente existentes, sino que debemos romper esos paradigmas y proponer nuevos retos que ameriten un cambio sustancial sobre la base de modelos que nos permitan avanzar con la ciencia y la tecnología.

El diseño experimental, basado en la estadística inferencial y en las áreas biológicas particularmente, se vuelve interesante al proponer cambios y lograr describir la naturaleza de la vida con principios científicos, como lo hicieron muchos estudiosos.

En los últimos años, la clonación en animales se hizo realidad, e incluso parece que en humanos; el descubrimiento del mapa genético o genoma humano es de trascendental importancia en este mundo contemporáneo; de la misma manera, el descubrimiento de la estructura cromosómica y cuántas otras cosas que están por descubrirse, como la construcción de células vivas a partir de partículas inertes y reacciones químicas que, en la actualidad, parecen imposibles, pero, con el reto de los investigadores, se lograrán, más rápido de lo que imaginamos.

El desarrollo de investigaciones en las ciencias biológicas hace posible el adelanto de esta disciplina metodológica (diseño experimental) gra-

cias a los conocimientos básicos que muchos estudiosos pusieron en los libros y sin ocultar nada, para que el mundo prospere.

Es necesario dar gracias a Dios, por inspirar y desarrollar el presente material y ponerlo al alcance de investigadores a fin de multiplicar los conocimientos y aplicarlo en el adelanto de la ciencia y la tecnología producto de la experimentación y otros procesos de investigación formal.

Finalmente es necesario tomar en cuenta los valores que debe practicar el hombre para un verdadero desarrollo del Universo, para lo cual es necesario hacer una reflexión sobre temáticas como: Honestidad, Tolerancia, Justicia, Respeto, Paz, Libertad, Solidaridad, Humildad, Responsabilidad, Laboriosidad, Generosidad, Perseverancia, Bondad, Gratitud, Amistad, Prudencia, Fortaleza y Lealtad, valores humanos que nos distinguen de los demás seres vivos en este planeta.

Los Autores

PRESENTACIÓN

La obra enmarca modelos matemáticos que se relacionan con otras ciencias, que facilitan la generación de ciencia y tecnología que aporta soluciones inmediatas para garantizar procesos de seguridad alimentaria para la población frente a un mundo globalizado. Reseña conocimientos y experiencias de autores de renombre científico como González; Reyes Castañeda; Eizaguirre; Wittig; Little y Hill; Cochran y Cox; Brito; Murria y Spiegel; de la misma manera el apoyo permanente de profesionales como Ramírez A., Santillán E., Romero F. y Vayas E., investigadores, docentes y estudiantes, principalmente de las Escuelas de Ingeniería Zootécnica e Industrias Pecuarias de la Facultad Ciencias Pecuarias y de Agronomía en la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

La estadística inferencial es una rama de las matemáticas que nos ha servido para demostrar en todos los campos de las ciencias parámetros e indicadores de gran utilidad en la práctica como: horas claves promedios, límites mínimos y máximos en la inseminación artificial, dosis de determinado elemento en la alimentación de especies zootécnicas considerando las limitaciones, dosis de fertilizantes, fungicidas e insecticidas en los diferentes cultivos, variantes en la formulación de productos embutidos y la industria pecuaria en general, entre otros.

Estos indicadores obtenidos se han venido utilizando desde hace varias décadas cuando los científicos sintieron la necesidad de verificar las ideas o supuestos conocidos como hipótesis; por tanto, se hizo imprescindible esta ciencia. Desde este punto de vista, se plantea este libro para el desarrollo de habilidades y destrezas investigativas, mediante las orientaciones y procesos didácticos que se exponen. En el capítulo I, las bases; capítulo II, la estadística inferencial con todos sus modelos; el capítulo III, la separación de medias; capítulo IV, experimentos simples; capítulo V, experimentos factoriales; capítulo VI, experimentos complejos; capítulo VII, análisis de regresión y correlación; capítulo VIII, análisis de covarianza; Capítulo IX, pruebas no paramétricas.

La implementación de esta obra tiene como finalidad orientar en la metodología de desdoblamiento de la varianza de los tratamientos no solo en factores, sino también a través de comparaciones ortogonales en experimentos factoriales. De la misma manera, sobre la base de este principio, los conocidos testigos satelitales, los cuales nos permiten comparar los resultados de un nuevo experimento planteado.

En esencia, *Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento científico en las ciencias agropecuarias* corresponde a la obra matemático-estadística de la que todo estudiante, profesional o investigador debe disponer en su biblioteca, principalmente en su acervo de conocimientos, para facilitar los procesos de indagación y auscultamiento que ameriten la formulación y dócima de hipótesis en el sustento de nuevos conocimientos o nuevas ideas, de una manera sencilla y práctica.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

*El sabio comienza a hacer lo que
quiere enseñar y después enseña .*
(CONFUCIO)

GENERALIDADES

Diseño es sinónimo de esquema, esbozo o proyecto. Experimentar no es otra cosa que probar, comprobar, investigar o buscar la verdad. Por lo tanto, diseño experimental es un proceso de prueba o investigación de ensayo(s) que busca(n) la verdad, utilizando un diseño o modelo matemático, que nos permita comprobar una hipótesis.

Existen diferentes definiciones de experimento (Stihll y Torrie, 1988). Para las ciencias agropecuarias, consideramos un experimento como una búsqueda planeada para obtener nuevos conocimientos o para confirmar resultados de experimentos previos. Estos experimentos se enmarcan dentro de tres categorías: preliminares, críticos y demostrativos, cada una de las cuales puede llevar a otras subcategorías.

El propósito (Little y Hill, 1976) de la ciencia estadística es suministrar una base objetiva para el análisis de información producto de investigaciones que se apartan de las leyes de la causalidad exacta. Se ha ideado un sistema lógico general de razonamiento inductivo aplicable a datos de esta naturaleza que actualmente se está utilizando en investigación científica. Es importante comprender sus principios, tanto para los investigadores científicos como para aquellos cuyos intereses residen en la aplicación de avances tecnológicos resultantes de dicha investigación.

El diseño experimental es entonces una estructura lógica de un experimento; para lo cual se deben especificar los siguientes aspectos:

- Identificación del tipo de unidades experimentales
- Número y tipo de tratamientos que se han de aplicar
- Variables o propiedades que se han de medir sobre las unidades experimentales
- Asignación de tratamientos a las unidades experimentales
- El número de unidades experimentales
- Arreglo espacial de las unidades experimentales
- Secuencia temporal de aplicación y medición de las unidades experimentales

Probablemente uno de los errores de un diseño más frecuente es la llamada pseudoreplicación, que consiste en la utilización de ensayos que son independientes entre sí. La pseudoreplicación se puede originar en un mal diseño o en un mal análisis.

El diseño y la ejecución de un experimento son los pasos más críticos de la experimentación. Si el análisis estadístico fue inapropiado o la interpretación fue incorrecta, los datos pueden ser nuevamente analizados; en cambio, si los errores se cometieron durante el diseño o ejecución, estos suelen ser insalvables y se debe necesariamente repetir el experimento.

El diseño experimental involucra determinar la forma en la que los niveles de los factores o tratamientos son asignados a las unidades experimentales, la elección del tamaño muestral y la disposición.

Principios básicos en el diseño de experimentos

La mayoría de los investigadores agropecuarios sienten la necesidad de un análisis estadístico para fundamentar una base objetiva de evaluación.

Al planificar un experimento, hay tres principios básicos que se deben tener siempre en cuenta:

- El principio de aleatorización
- El bloqueo o agrupación
- La factorización del diseño

Los dos primeros (aleatorizar y bloquear) son estrategias eficientes para asignar los tratamientos a las unidades experimentales sin preocuparse de qué tratamientos considerar. Por el contrario, la factorización del diseño define una estrategia eficiente para elegir los tratamientos sin considerar en absoluto cómo asignarlos después a las unidades experimentales.

Aleatorizar

Acción aleatoria de todos los factores no controlados por el experimentador en el diseño experimental y que pueden influir en los resultados que serán registrados al azar en las unidades experimentales.

Ventajas de aleatorizar los factores no controlados:

- Transforma la variabilidad sistemática no planificada en variabilidad no planificada o ruido aleatorio. Dicho de otra forma, aleatorizar previene la introducción de sesgos en el experimento.
- Evita la dependencia entre observaciones al aleatorizar los instantes de recogida muestral.
- Valida muchos de los procedimientos estadísticos más comunes.

Bloquear

Se deben clasificar o identificar las unidades experimentales en grupos definidos por una característica que está en variación o gradiente. Estos grupos se denominan bloques, de modo que las observaciones realizadas en cada bloque se hacen bajo condiciones experimentales lo más cercanas a la realidad.

A diferencia de lo que ocurre con los factores tratamiento, el experimentador no está interesado en investigar *las posibles diferencias de la respuesta entre los niveles de los factores bloque*. Bloquear es una buena estrategia siempre y cuando sea posible dividir las unidades experimentales en grupos de unidades similares. La ventaja de bloquear un factor que se supone que tiene una clara influencia en la respuesta, pero en el que no se está interesado, es la siguiente: convierte la variabilidad sistemática no planificada en variabilidad sistemática planificada.

Con el siguiente ejemplo, se trata de identificar la diferencia entre las estrategias de aleatorizar y de bloquear en un experimento.

Se desea investigar las posibles diferencias en la producción de dos tipos de máquina, cada una de las cuales debe ser manejada por operarios diferentes.

En el planteamiento de este problema, la variable respuesta es la producción de una máquina (en un día); el factor tratamiento en el que se está interesado es el tipo de máquina que tiene dos niveles (máquina TIPO 1 y máquina TIPO 2) y un factor sobreentendido que es el operario que maneja la máquina (varios operarios). En el diseño del experimento para realizar el estudio, se pueden utilizar dos estrategias para controlar el factor operario que maneja la máquina.

Cómo aleatorizar: se seleccionan al azar dos grupos de operarios y se asigna al azar cada grupo de operarios a cada tipo de máquinas. Finalmente se evalúa la producción de las mismas.

Bloquear: se introduce el factor-bloque operarios. Se elige un único grupo de operarios y todos ellos utilizan las dos máquinas.

¿Qué consideraciones se deben tener en cuenta al utilizar estas dos estrategias? ¿Qué estrategia es mejor?

La factorización del experimento

“Un experimento factorial es una estrategia que consiste en cruzar los niveles de todos los factores-tratamiento en todas las combinaciones posibles”.

Ventajas de investigar con experimentos factoriales:

- Permiten detectar la existencia de efectos interacción entre los diferentes factores-tratamiento
- Es una estrategia más eficiente que la estrategia clásica de examinar la influencia de un factor manteniendo constantes el resto de los factores

Principios generales del diseño experimental

Krebs (1989) señala que las observaciones naturales también pueden usarse para probar hipótesis y esto constituye, de hecho, otra aplicación

del método experimental. Se trata esencialmente de un experimento; en el ámbito científico es un conjunto de observaciones concebidas para poner a prueba una hipótesis.

Si aceptamos la premisa de que el nuevo conocimiento se obtiene muy frecuentemente a través del análisis preciso e interpretación objetiva de los datos, entonces debemos ser muy cuidadosos con los datos, debe dedicarse tiempo y esfuerzos considerables al planeamiento y recolección de los mismos con el objeto de obtener la máxima información con el mayor de los acercamientos a la realidad y con el menor costo. Quizá la función más importante del estadístico consultor sea dar asesoría en el diseño de experimentos eficientes que capaciten al experimentador para obtener estimaciones insesgadas de la población, a través de medias y diferencias de tratamientos (Stihl y Torrie, 1988).

Los mismos autores mencionan que es posible destacar demasiado el hecho de que el estadístico pueda ser real en la etapa de planeación de los experimentos.

De este modo se pueden clasificar los experimentos en los siguientes tipos:

- Experimentos de espacio o tiempo
- Experimentos manipulados

Experimento de espacio o tiempo.- Incluyen mediciones en espacio o tiempo de modo que el único tratamiento o variable experimental es el espacio o tiempo. No se aplican a las unidades experimentales.

Experimentos manipulados.- Se aplican tratamientos a las unidades experimentales. Una o más variables de interés son manejadas de manera predeterminada por el estudioso. Los experimentos realizados en el campo suponen variables no controladas por el experimentador y están afectadas de manera equivalente por los tratamientos, o que al menos lo hacen aleatoriamente (Hulbert, 1984).

Consejos de Krebs:

- Cada experimento debe tener un testigo: si el control no está presente, es imposible concluir algo definitivo acerca del experimento.
- Dada la variación temporal en los estudios realizados en campo, *cada experimento manipulado será realizado en campo y debe ser observado temporalmente*. Si no se dispone de este control, todas las comparaciones antes y después de la aplicación del tratamiento deberán suponer la homogeneidad a través del tiempo.
- *Aleatorice siempre que sea posible*: en muchas situaciones, la aleatorización no es posible, ya que no todas las áreas de estudio disponibles para la investigación son de fácil y libre acceso.
- Hacer buena investigación implica tener ideas intrigantes y efectuar un diseño experimental. Ser un biometrista de primera línea no lo convierte en un buen investigador, pero muchas buenas ideas se pierden porque el diseño adoptado es pobre.
- Uno de los objetivos que debe perseguir un buen diseño es el de reducir el error experimental y lograr que las conclusiones del mismo sean lo más precisas posibles; es decir, lo más cercanas a la realidad. Para ello: utilice unidades experimentales homogéneas, aumente la cantidad de réplicas y aumente la eficiencia de su diseño: aspectos de balanceo, bloques, anidamientos.

Requerimientos mínimos del diseño experimental

Conocimientos de las condiciones iniciales: para Hairson (1989), una descripción previa adecuada del área de estudio con recolección a datos de base ofrece las siguientes utilidades:

- Cuando se proyecta realizar un diseño en bloques, permite seleccionar las unidades experimentales más homogéneas para asignar los distintos bloques.

- Permite comparar las diferencias antes y después de la aplicación de un tratamiento.
- A mayor rango de condiciones, mayor generalidad de los resultados posteriores.
 - Controles: permiten establecer qué habría sucedido si no se hubiera realizado el experimento
 - Réplicas: para Hairson (1989), la gran limitante de la experimentación ecológica es la variabilidad de las condiciones y la principal defensa contra ello es realizar una suficiente replicación.
 - Minimizar en lo posible los efectos no deseados.

No existe un estimado preciso de cuántas réplicas deben realizarse en un ensayo; cualquier esfuerzo orientado a incrementar el número de veces que se repetirá una prueba (tratamiento) beneficiará a la precisión del ensayo y los resultados serán más confiables.

El diseño experimental involucra determinar la forma en que los niveles o tratamientos son asignados a las unidades experimentales, la elección del tamaño de la muestra y la disposición espacial y temporal del experimento (Huitier, 2004). Un factor puede estar representado por un número de niveles. *Una unidad experimental* se define como la más pequeña división del material experimental de forma tal que dos unidades cualesquiera puedan recibir diferentes tratamientos. El diseño experimental determina el modelo del análisis de varianza o ANOVA, ADEVA, ANVA y este se define según el diseño experimental adoptado, en el que deben descifrarse los modelos lineal aditivo o ecuación de rendimiento y el modelo matemático que se implementarán para poner a prueba la hipótesis.

Hipótesis

A la hipótesis se le conoce comúnmente como un *supuesto sujeto a ser docimado (comprobado)*.

En las áreas biológicas agropecuarias, la hipótesis se plantea como alternativa para reducir los costos de producción y paralelamente mejorar la rentabilidad y la productividad; por ello, las premisas pueden ser *la utilización de determinado producto proteico mejora los rendimientos en especies* como cuyes, conejos, aves, cerdos, ovinos, cabras, bovinos, etc. De igual manera, en los últimos años se plantea en experimentos agronómicos *la utilización de abonos orgánicos como alternativa a la utilización de químicos mejorará no solamente la producción, sino que reducirá la presencia de residuos tóxicos en los alimentos, conservará el medio ambiente y será sustentable*; en la agroindustria, *el empleo de fuentes de proteína de origen vegetal y animal mejoran la calidad biológica de la proteína de los alimentos procesados*. Estos son ejemplos simples del planteamiento de las hipótesis.

El diseño experimental tiene como finalidad descubrir nuevos hechos, confirmar o denegar resultados de ensayos anteriores planteados en forma hipotética.

El experimento se basa en un conjunto de reglas, y se persigue aplicarlas una vez concluido el ensayo.

La investigación científica en sí, considerada como un arte o como una ciencia, se basa en procedimientos aritméticos por tanto pertenece a la rama de las ciencias fácticas.

Los objetivos de la experimentación deben plantearse como preguntas que deben ser contestadas, hipótesis sujetas a pruebas o efectos que deben ser estimados. Estos objetivos deben ser claros y precisos.

De lo expuesto, se deduce que diseñar un experimento significa planear un trabajo de modo que reúna información que sea pertinente a un problema bajo investigación.

El diseño de un experimento es entonces la secuencia completa de pasos previstos de antemano para asegurar la obtención de datos apropiados que permitan un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas con respecto al problema en estudio. Esta definición sugiere que el investigador debe conocer el problema así como los objetivos específicos que persigue su trabajo.

Concretamente, el investigador debe preguntarse:

- ¿Cuáles son los caracteres o variables que van a ser analizados?
¿Cómo se va a medir el efecto?
- Una vez que se ha establecido la o las variables que van a ser estudiadas, ¿existe uniformidad general con respecto a otros factores?
- ¿Cuál va a ser el procedimiento?
- ¿En qué forma van a ser analizados los datos?

A veces, por un exceso o ambición, se incluye más variables de las que se puede manejar y posteriormente interpretar; o, en la toma de datos, se incluye más datos de los que sería práctico anotar. Por esta razón, es importante clasificar los objetivos como general(es) o principal(es) y específico(s) o secundarios, puesto que algunos tipos de diseño dan mayor precisión para ciertas comparaciones.

Si bien es cierto que los ensayos factoriales permiten analizar simultáneamente dos o más aspectos en estudio, ahorrando tiempo y espacio, no es menos cierto que es un ensayo muy complicado que puede ser difícil de interpretar, particularmente respecto de las interacciones de alto grado.

El recurso tiempo, espacio, dinero y grado de precisión requerida dará una pauta para la aplicación de un determinado tipo de diseño.

Se debe anotar el objetivo final de la experimentación: *incrementar los rendimientos por unidad de superficie*. Esto en caso de experimentos agropecuarios, así como la calidad del producto en beneficio del consumidor. La experimentación pura académica o especulativa debe estar al alcance de las universidades en las cuales varios proyectos de este tipo podrían constituir tesis de grado para estudiantes. Aquellos estudios promisorios de laboratorio, invernadero y cámaras de crecimiento podrían pasar al campo de la investigación aplicada en las estaciones experimentales como se viene realizando en general en las facultades y en particular, en las escuelas de Industrias Pecuarias, Agronomía y Zootecnia de la ESPOCH.

Fases de la experimentación

Como los seres vivos, la experimentación nace, se desarrolla y concluye sus etapas de vida. La experimentación deja huellas porque todo investigador tiene una lista táctica de pasos que seguir cuando plantea un ensayo. En general, esos pasos coinciden con las diferentes fases mencionadas al describir el método científico. En todo caso, se puede advertir con suficiente evidencia que la investigación científica en sí nunca concluye. Toda generación del conocimiento se deriva de la comprobación de una hipótesis, pero a su vez se generan nuevas inquietudes que permiten la profundización de este conocimiento.

El experimento cumple con ciertas fases que son:

- Enunciado del problema
- Formulación de la hipótesis
- Selección del diseño y procedimiento experimental
- Ejecución del experimento
- Aplicación de los procedimientos estadísticos a los datos o información recopilada o más comúnmente conocida como procesamiento de datos
- Interpretación y discusión de resultados
- Análisis económico
- Conclusiones y recomendaciones
- Publicación de la memoria investigativa (informe, tesis escrita, otras formas)

La selección del diseño y del procedimiento experimental comprende, en el campo agrícola, pecuario o agroindustrial, la elección del terreno o área donde va establecerse el lote experimental; la determinación del número y superficie de la parcela experimental o unidad experimental; la forma y dimensiones de la misma; su distribución en el campo y la asignación de los diferentes tratamientos a las parcelas.

La determinación de rendimiento por parcela y por hectárea se obtiene al pesar y registrar el producto de la parcela experimental; sin embar-

go, más difícil resulta la determinación de calidad o de características organolépticas del cultivo o productos pecuarios como el olor, color, sabor entre otras de los diferentes productos (papa, maíz, cebolla, leche, huevos, carne o sus derivados, etc.). En muchos ensayos de intervalos de pastoreo, por ejemplo, interesa determinar la diferencia en contenido de proteína, fibra, digestibilidad in vivo, in vitro, in situ de las muestras de cada tratamiento.

Clases de experimentos

Los experimentos se clasifican básicamente en cuatro: preliminares, críticos, demostrativos y ensayos regionales.

En un experimento **preliminar**, el investigador comienza con un gran número de tratamientos, los que le darán una pauta para el trabajo futuro. Así, el fitomejorador, por ejemplo, inicia el trabajo con diferentes variedades o ecotipos de trigo, que, en la fase final, reducirá a dos o tres, como futuras variedades promisorias. En caso de fertilización, se combina en un experimento factorial con múltiples tratamientos para luego reducirlos según se presente la curva de respuesta. Este último caso se refiere al experimento crítico en el que es posible detectar diferencias más pequeñas entre tratamientos. Lo propio ocurre en experimentos de comportamiento animal o de procesos industriales para generar nuevos alimentos.

Los experimentos **demostrativos** están en el campo de la extensión agropecuaria. Estos tratan de demostrar a los productores nuevas alternativas de producción, ya sea con nuevas variedades de especies agrícolas o nuevas razas de especies zootécnicas, o a su vez sustituir la alimentación reemplazando con otros productos más económicos y de mejor conversión alimenticia. En general, estos experimentos consideran el grado de asimilación o aprendizaje de los grupos asistentes y se evalúa el dominio de conocimientos de antes *vs.* después.

Los ensayos **regionales** son aquellos que usa el investigador para confirmar los resultados obtenidos en la estación experimental, para extrapolarlas a condiciones más expandidas como las de los productores. Los

factores ambientales y microambientales presentan variaciones tan drásticas en cortas distancias que a veces los resultados obtenidos en la estación experimental no se cumplen en localidades cercanamente situadas. Estas variaciones se refieren a suelo, clima, topografía, gradiente de fertilidad. Por lo anotado, se hace imprescindible la validación de los resultados en diferentes condiciones de clima, ubicación, etc., de manera de que, cuando se realicen procesos de **liberación tecnológica**, la variación de los resultados no sea drástica; entonces funcionan los ensayos regionales para tipificar y mapear o zonificar, sectorizar conjuntos geográficos.

En el campo agropecuario, existen varios factores –algunos de ellos fuera de control– que influyen en el resultado final que podría ser, por ejemplo, la producción por hectárea. Los aspectos de clima y suelo son probablemente los factores más importantes.

Como inferencia, debemos aceptar que el ensayo experimental llevado a nivel de estación experimental tiene aplicación limitada: las conclusiones pueden ser aplicadas a condiciones similares a aquellas en que se realizó el ensayo. Para poder tener confianza en los resultados y ampliar el alcance de las derivaciones, es necesario repetir el ensayo en diferentes lugares sobre distintos suelos, condiciones climáticas variadas.

Con este razonamiento, se establecen los ensayos regionales para que se seleccionen lugares representativos en zonas grandes a las que se espera beneficiar con la introducción de una nueva diversidad o práctica agropecuaria. Es decir que, en esta forma, es posible certificar la hipótesis formulada para el ensayo original.

Los progresos conseguidos por las técnicas de laboratorio y la experimentación en unidades experimentales no han eliminado la necesidad de pasar este tipo de investigación al campo que, en definitiva, es en donde se trata de llevar la aplicación de los resultados obtenidos. Solo una pequeña parte de los varios factores del suelo y clima que afectan al desarrollo de las plantas puede ser trasladada al invernadero, a cámaras de crecimiento fitotrones; sin embargo, esta fase de la investigación es de suma importancia, puesto que proporciona pautas y modelos de respuesta. Así, en el invernadero, se utilizan soluciones nutritivas y elementos radioactivos en frascos de cristal para medir la absorción y translocación

de elementos en la planta. Se emplea la técnica del *tratamiento completo menos uno*, con el objeto de establecer la curva de respuesta en presencia y ausencia de ciertos elementos. Para labores de fitomejoramiento, es viable producir varias generaciones en un año, mientras que, en el campo, se tendría solo una, dependiendo de la especie con que se trabaje. En este último caso, existe el riesgo de perder material valioso por factores climáticos como: heladas, granizos, cambios bruscos de temperatura, excesivas precipitaciones. Si se está trabajando en mejoramiento de alfalfa u otras leguminosas, es factible inducir la floración mediante el uso de luz artificial en invernadero, resultando más cómodo realizar cruzamientos manuales; no existe el peligro de aborto de flores por lloviznas. En especies pecuarias, el mejoramiento de especies, conduce a un mejor manejo de las especies mejoradas, lo que significa que estos exigen condiciones que permitan expresar el potencial genético.

Sin embargo, sería peligroso entregar al agricultor una recomendación sobre la base de resultados obtenidos en macetas, o una variedad de una especie cuya semilla ha sido cosechada en el invernadero; y, en lo que se refiere a ganadería, entregar animales mejorados a los pequeños ganaderos que desconocen de un manejo técnico es riesgoso porque la especie mejorada, si se adapta, va a producir bajo los estándares de la raza incluso menos que los animales criollos y finalmente, por ser susceptibles a enfermedades, estas corren muchos riesgos en el manejo productivo y reproductivo.

De lo expuesto se puede concluir que el experimento de campo es insustituible, ya que en esta forma sometemos a la planta, animal o cosa, a las diversas condiciones que interaccionan para producir un resultado en condiciones que las tendría el agricultor en las granjas.

En cuanto a experimentaciones con especies pecuarias, es necesario dar el ambiente que las especies requieren, como en el caso de aves de carne, aves de postura, bovinos de leche, entre otras, con la finalidad de que la investigación sea un éxito y no ocurra lo inverso conociendo las exigencias de cada una de las especies. Por ello, es necesario controlar estos pormenores antes de cometer imprecisiones que pueden causar riesgos en las investigaciones, más aún cuando se trata de producción de materia prima o alimentos en general.

Uno de los pasos finales dentro del interés de recomendar ciertos procedimientos, consideraciones de manejo, prácticas en salud, etc., es el de estar seguros de que se vayan a volver a producir los resultados obtenidos en cualquier lugar con el mínimo de variación. A este momento investigativo se lo conoce como **liberación tecnológica**.

Tratamientos

Se ha usado repetidamente el término **tratamiento** en secciones precedentes con algunos otros términos usados en estadística; la palabra tratamiento fue admitida en la literatura técnica debido a su empleo en la experimentación agrícola y pecuaria. Igual es el caso de expresiones como **bloques, parcela, testigo**, que son de uso común en muchos campos experimentales.

Para el investigador, el vocablo **tratamiento** denota diferentes procedimientos o condiciones, cuyas consecuencias van a ser medidas y comparadas; así mismo puede identificarse a un **tratamiento**, como la condición modificada de las condiciones normales que serán aleatoriamente aplicadas a las unidades experimentales. En la selección de tratamientos, es sustancial definir claramente cada uno y la forma como el conjunto de ellos van a admitir alcanzar los objetivos del ensayo. El efecto del tratamiento puede ser medido en la unidad experimental o en una parte de ella, lo que constituye la unidad de muestreo, existiendo mayor variabilidad en la primera.

En estudios sociales (González, 1985), los **tratamientos** se reemplazan por los **aspectos de influencia** y pueden referirse a la edad, sexo, grado de educación, religión, nivel socioeconómico, estado civil, proveniencia del individuo, etc.

En la industria, el técnico puede establecer como **tratamientos** el tipo de agua (dura o suave), la temperatura del agua, duración de lavado, marca, tipo de materia prima, características de cocción, entre otros tópicos. Este término también puede contemplar a grupos de diferente condición (nombres).

En la producción agropecuaria, el productor considera **tratamiento** a las diferentes alternativas de producción dependiendo del área que se investigue, por ejemplo: en la alimentación de terneros, utilizar diferentes niveles de bicarbonato como una sustancia tampón para evitar meteorismos cuando se alimenta con leguminosas; utilización de diferentes niveles de soya tostada y molida en la alimentación de cerdos de la raza Duroc Jersey; aplicación de dosis de curtientes vegetales para la curtiembre de pieles ovinas para la obtención de napa para vestimenta; etc.

Testigo

Se ha aludido también la palabra **testigo**, control o estándar como un tratamiento que generalmente se incluye en el diseño del experimento. Muchas veces se usa esta palabra para referirse a un tratamiento cuyo interés especial es ineludible para demostrar por comparación que los otros tratamientos sean eficaces. Este término equivale también a grupo estándar (St), control (C) o tratamiento de referencia (Tr); en concreto, un testigo es un tratamiento que no contiene el material o ingrediente de prueba que sí se ha de aplicar a otras unidades de los demás grupos.

Este *tratamiento control* se ha utilizado en experimentos simples y factoriales, lo que significa que necesariamente habría que realizar comparaciones ortogonales entre las medias, que poco interés se ha puesto sobre el tema, siendo imprescindible, ya que esto ahorra tiempo para continuar realizando separación de medias según otros mecanismos válidos en investigación agropecuaria.

En la prueba de fertilización, se puede aplicar tres dosis de P_2O_5 : 80, 100 y 120 kg/ha (tratamientos) en un cultivo de alfalfa; las parcelas *sin* P_2O_5 constituyen el testigo o control. Los investigadores lo reconocen también como *nivel cero* o *dosis 0*, aunque este reconocimiento ofrece alguna controversia, porque hay investigadores que consideran que las parcelas control no representan nivel o dosis.

En este caso, el testigo se debe comparar con todos los niveles de P_2O_5 en forma de contraste, además de contrastar entre los diferentes niveles.

- 0 vs. 80, 100 y 120 kg/ha
- 80 vs. 100 y 120 kg/ha
- 100 vs. 120 kg/ha

De esta manera estamos demostrando que los grados de libertad de los tratamientos ($t - 1$), ($4 - 1 = 3$) se refieren al número de comparaciones ortogonales que deben implementarse.

Mediante este mecanismo, podemos desdoblarse la suma de cuadrados en la fuente de variación y llegar a una ecuación de igualdad de la misma manera para los grados de libertad.

Para ilustrar la necesidad de usar o no un testigo conjeturemos el caso de la aplicación de tres fertilizantes potásicos (fuentes) en suelos de origen volcánico de la región sierra; las tres fuentes de potasio contienen igual cantidad de este elemento. El testigo sería la dosis *cero potasio*. Para esta situación, pueden darse tres casos:

- Si la efectividad de la aplicación de potasio ha tenido suficiente demostración por ensayos anteriores, queda por determinar cuál de las fuentes es superior; en este caso, no hay necesidad de un testigo.
- La aplicación de potasio es generalmente efectiva, pero ocasionalmente no se detecta diferencias con el testigo. Esta situación puede presentarse cuando el suelo tiene un alto contenido de cenizas volcánicas; en este caso debe incluirse un testigo.
- Igual sería el caso cuando se desconoce el efecto de la aplicación de potasio en una zona.

En muchos casos, el testigo, puede ser **ABSOLUTO** o **RELATIVO**, más conocido como **SATELITAL**.

El testigo **absoluto** es aquella información que proviene de un grupo de parcelas o unidades experimentales en las que no se ha aplicado ningún tratamiento, y el testigo **relativo**, en cambio, toma como referencia información relacionada con una investigación ya existente como es el caso de la aplicación de abonos orgánicos (alternativa de producción).

Un cultivo al cual no se le aplica, en definitiva, ningún tratamiento o no se aplica abonos orgánicos ni químicos, se denomina *testigo absoluto* y como *testigo relativo o agricultor*, se considera al que tradicionalmente se aplica la fertilización química que recomienda la casa comercial de determinado fertilizante.

Este caso, en los últimos años, se viene practicando en la Escuela de Agronomía (ESPOCH, Riobamba, Ecuador), principalmente para experimentos factoriales, en los que se utiliza dos testigos con la finalidad de comparar la producción y, en definitiva, el rendimiento sin dejar pasar por alto la calidad del producto y la aceptación por parte del consumidor final, además de la cantidad de residuos de que se dispone en los alimentos finales.

De igual manera se aplica en el campo pecuario, en el que se puede tomar un ejemplo de alimentación de vacas lecheras, con un alimento a base de forraje que comúnmente lo hace un pequeño ganadero (*testigo absoluto*), alimentación a base de forrajes más la recomendación del alimento balanceado de una casa comercial como testigo relativo (*control científico o relativo*) y el alimento a base de forraje con una alimentación balanceada por el investigador tomando en consideración el origen de la fibra de diferentes subproductos de molinería en dos líneas genéticas de ganado lechero (*tratamientos alternativos*), los mismos que son evaluados en todos los posibles parámetros frente a los testigos tanto absolutos como relativos.

Estos tipos de tratamientos (*testigos absoluto y relativo*, más conocidos como *testigos satelitales*) se utilizan con frecuencia en experimentos factoriales en los cuales damos mayor énfasis a las alternativas de producción en una investigación tomando en consideración lo que ya está investigado y lo empírico que todavía se utiliza y, en definitiva, poder discutir los resultados con las recomendaciones de las investigaciones ya realizadas y la aplicación en el medio de experimento.

Sin querer llegar a una polémica con otros autores de una supuesta investigación, la finalidad es confirmar el mejor tratamiento o si tiene el mismo efecto los resultados de nuestra investigación frente a las ya existentes.

Selección de tratamientos

En muchos programas, la elección de tratamientos tiene importancia decisiva en la exactitud de un experimento. Se logró incrementar el grado de precisión al experimentar más de una variable; si tratamos de introducir nuevas variedades genéticas de haba a una localidad, se debe realizar, en primera instancia, la prueba de adaptación y rendimiento, y luego añadir la variable *épocas de siembra*, con lo que no solamente se consigue doble información dentro del mismo experimento, sino que se amplía el grado de precisión, al disponer de un cierto número de grados de libertad para el error.

Se presenta otro escenario, en el que la selección de la dosis adecuada de un componente es de importancia; si planteamos la hipótesis de que la respuesta de un producto tiene relación con la aplicación de un determinado tratamiento, nos interesa conocer la gradiente de respuesta. Es decir, tiene importancia saber hasta qué cantidad de elemento aplicado el rendimiento asciende; bien podría suceder que, pasado cierto nivel *óptimo*, la línea de respuesta se estabiliza o comienza a descender.

El criterio general es que se debe tener por lo menos tres tratamientos que darán una idea sobre la curva de rendimiento dentro del eje de coordenadas (excepto cuando se trata del sexo), por tanto se toma de referencia como grupos. Ejemplo: la recomendación de una casa comercial es la de usar 4 kg de producto activo por ha o 2 kg de balanceado por litro de leche producido, haríamos bien en probar, además de 1 kg y 3 kg por cada litro de leche producido por vaca. En experimentos factoriales, el número de niveles de un factor y espaciamiento (gradiente), tienen mucho que ver con la precisión del experimento.

Unidad experimental

Se conoce como unidad experimental al material al cual se aplica un tratamiento dentro de una repetición en un ensayo.

La unidad experimental puede ser, según el caso, una parcela de terreno, una hoja, un árbol, una cantidad de semilla, una maceta, en el campo

agrícola; un animal o lote de animales; una muestra de queso, un litro de leche, un litro de yogur, etc., en el área pecuaria. Se ha usado el término *parcela experimental* para el campo agrícola y unidad experimental en las especies pecuarias.

La característica de la unidad experimental es que presentan diferentes resultados, aun cuando se sometan al mismo tratamiento; estas diferencias pueden ser grandes o pequeñas y constituyen parte lo que se llama **error experimental o residuo**. Cuando se mide el efecto de un tratamiento, se lo hace en una unidad de muestreo, cierta fracción de la unidad experimental; por lo tanto, la unidad de muestreo puede ser la unidad completa o una muestra aleatoria.

En algunos casos, la unidad experimental será tan grande que su uso no será práctico como unidad de muestreo, en tanto que en una sola unidad de muestreo pequeña es inadecuada (Stihl y Torrie, 1988). En tales casos se miden dos o más subdivisiones aleatorias de la unidad experimental.

Es conveniente tener bloques compactos y parcelas largas y angostas. En cuanto al tamaño de la parcela, es preferible aumentar el número de repeticiones y disminuir la parcela experimental; sin embargo, esta debe ser de tal magnitud que permita operaciones de labranza, por ejemplo, tal como podría hacer un agricultor que es a quien llegará las respectivas recomendaciones.

Otro aspecto que limita el tamaño de la unidad experimental son los *bordes* u *orillas* para parcelas agrícolas, para los que se debe dejar surcos o cantos a fin de evitar que, por efecto de diferentes factores como el viento, o la lixiviación, los tratamientos aplicados a una parcela afecten a la parcela adyacente. Para este propósito existe discusión sobre el hecho de si se debe dejar *calles* entre parcelas (González, 1985), con lo que se puede controlar el *efecto de borde*. No hay duda de que, mientras más grande sea el bloque, mayor será el error experimental, por el aumento en la heterogeneidad del suelo. En general, es aconsejable disponer las parcelas una junta a otras, sin calles, descartando, para la toma de datos, uno o más surcos bordes. Por ejemplo, si la parcela tiene cinco surcos, se puede eliminar uno a cada lado y cosechar los tres centrales. También se debe eliminar de 50–100 cm hacia los extremos de los surcos, según la longitud de los mismos. En caso de

siembra al voleo, se eliminará una faja alrededor de la parcela. Otra ventaja de no dejar calles entre parcelas se refiere al hecho de que, en esta forma, se disminuye el área de limpieza a mano que generalmente hay que hacer en todo ensayo. Sin embargo, se debe dejar calles entre unidades experimentales.

Existen excepciones para la utilización de calles o pasillos entre unidades experimentales; para ciertos ensayos de entomología, por ejemplo, es necesario circular entre las parcelas para efectuar la aplicación de insecticidas con rocía-gotas de cierto tamaño.

De todas formas, el criterio del investigador y el conocimiento sobre la versatilidad del suelo, demostrarán si es necesario dejar calles y cuál debe ser su ancho en casos de cultivos abiertos.

Los efectos de orillas son conocidos por todo investigador; en experimentos agrícolas como parcelas de cereales, pastos, papa, quinua, cebolla, arveja, es fácil ver que los surcos externos de la parcela, aquellos que no tienen competencia por el lado exterior, desarrollan mejor que los surcos interiores. La cosecha de toda la parcela sesgaría la toma de datos, incrementando la variación del error, por aumento de la heterogeneidad entre las parcelas. Es importante que los surcos o franjas bordes reciban el mismo tratamiento que la parcela experimental.

En cuanto se refiere a la unidad experimental en especies pecuarias es necesario considerar el espacio mínimo de cada una de las especies y el estado fisiológico de los animales. De esta manera, para pollos, se puede decir que se deben establecer jaulas de un metro cuadrado en el cual se albergan de 10 a 15 pollitos que se consideran una unidad experimental, para administrar o aplicar un tratamiento en forma aleatoria; en el caso de cuyes, se debe utilizar el espacio mínimo por animal o a su vez el espacio recomendable en los galpones de cría y explotación de cuyes según su estado fisiológico. De esta manera se puede señalar que, para realizar experimentos en cuyes en estado de reproducción, se utilizarán pozas de dos metros cuadrados, con dos metros de largo por un metro de ancho y 40 cm de alto. En este caso, no existe efecto de orilla, ya que los animales se mueven y se ubican en el hábitat ideal sin alteraciones, aparte de que no será la poza o la jaula la de evaluación, sino los pollos, las aves o el cuy, como unidad de

evaluación. A pesar de ello se podría considerar dentro de un galpón los efectos de los rayos solares durante la mañana y la tarde; de este modo se puede considerar el efecto de orilla, pero no por el efecto del tratamiento sino por un efecto ambiental que podría considerarse como tratamiento de estudio.

Así también, es necesario tomar como unidad experimental a un animal o grupo de animales según la circunstancia; si se trata de especies mayores y medianas, la unidad experimental se considerará un animal, pero si se trata de especies menores, como aves, cuyes, conejos e incluso animales tiernos dentro de las especies medias como grupo de lechones, corderos, chivatos la unidad experimental será un grupo de animales, los mismos que deben ser evaluados cada uno de ellos y se tomará un diseño experimental alternativo con muestras y/o submuestras.

Repeticiones

Se llama **repetición, bloque o reproducción** al conjunto de unidades experimentales dentro de un tratamiento que reciben el mismo manejo experimental, que, en el campo agrícola, van uno al lado del otro en el terreno, formando un *bloque* más o menos compacto.

Cualquiera que fuese la fuente del error experimental, la repetición del experimento disminuye el error asociado con la diferencia entre los resultados promedios para los tratamientos, con la condición de que se haya tomado ciertas precauciones, a fin de evitar que ciertos tratamientos resulten favorecidos en una repetición más que en otra.

La heterogeneidad del suelo es universal. En investigaciones, debe evitarse terrenos con pendientes pronunciadas que ocasionan erosión, acumulación de materia orgánica en las partes bajas principalmente; en lo posible, el terreno debe ser plano o con una ligera inclinación.

Históricamente se utilizaban parcelas experimentales grandes y sin repetición. Su tamaño variaba de 1000m² a 8000 m², con el criterio de que representaban mejor las condiciones normales de una hacienda. Este tamaño de parcela se considera que está bien para ensayos demostrativos,

cuando se desea presentar hechos conocidos y cuando las diferencias entre tratamientos sean grandes.

En la actualidad, la investigación moderna ha demostrado que es posible controlar variaciones del suelo disminuyendo el tamaño de la parcela y aumentando el número de repeticiones, siendo más efectivo que el aumento de la longitud del surco.

Debe considerarse que las múltiples lecturas o mediciones de una misma unidad experimental no representan necesariamente repeticiones verdaderas. Supongamos que se desea probar el poder germinativo de dos variedades de *ray-grass*, y se toma varias muestras de semilla de cada una. Se realizará un análisis estadístico a partir de las muestras y veremos que no se dispone de una estimación válida del error para probar la diferencia entre variedades; la variación entre semillas dentro de las variedades proporciona una estimación válida del error para indicar solo la variabilidad entre las variedades. Se podría usar como repeticiones muestras de varias cosechas de cada variedad. En el caso citado, los datos de germinación no constituyen repeticiones verdaderas sino solamente medidas repetidas tomadas de la misma unidad experimental.

En experimentos pecuarios en donde se utilizan más de un animal por unidad experimental, la repetición no es pesar varios animales de la misma jaula o cajón, sino que, se debe incluir otro grupo de animales en un diferente cajón y someterlo al mismo tratamiento.

En resumen, se puede afirmar que *cuando un tratamiento aparece más de una vez en el experimento se dice que existe repetición*. Las funciones que cumplen las repeticiones son (González, 1985):

- Estimar el error experimental
- Aumentar la precisión del experimento, reduciendo la desviación típica de medias de tratamientos
- Incrementar el alcance, las inferencias
- Ayudar a controlar el error experimental
- Al aumentar el número de repeticiones, la desviación típica de la media y la desviación típica de la diferencia entre tratamientos disminuye

Se puede mencionar que la disminución de los valores de SX se desprende cuando el valor de SX para una y cuatro repeticiones baja exactamente a la mitad para cuatro repeticiones. Si bien el valor de SX para 12 repeticiones es de 0,121, razones de orden práctico y económico hacen que, para experimentos de campo convencionales, la mayoría de investigadores usen de tres a seis repeticiones.

En conclusión, el número de repeticiones tiene que ver con el número de grados de libertad (g de l) del error, lo cual a su vez influye en el grado de precisión con que va a compararse medias entre tratamientos. Supongamos que van a estudiar cinco variedades de un determinado cultivo a campo abierto bajo un diseño de bloques completos al azar con dos y seis repeticiones.

Es importante indicar que el área incluida dentro de cada bloque y que contiene todos los tratamientos sea lo más homogénea posible. Sin embargo, no es necesario y podría ser indeseable tener condiciones uniformes entre repeticiones; así se limitaría el alcance de las inferencias tratándose de poblaciones grandes. Si el lote de terreno escogido para el ensayo está ubicado en una pendiente, se puede ubicar una o dos repeticiones juntas, en condiciones similares y las otras dos repeticiones más abajo en igual forma.

En ensayos de campo –el caso de pastos o árboles frutales y mejoramiento ganadero–, el experimento se mantiene por varios años. Por otro lado, las condiciones climáticas varían de año en año y es importante conocer su efecto sobre los tratamientos. Así mismo se investigan en varias localidades para probar variedades o tratamientos. Las repeticiones en el tiempo y en el espacio pueden considerarse como formas extensas de repetición. El objeto es ampliar el alcance de las inferencias.

Réplicas

Se refiere a que generalmente se debe volver a probar un experimento más de una vez, en diferente tiempo y lugar. Estas condiciones de espacio y de tiempo hacen que la experimentación considere una o más réplicas. En estas circunstancias, la repetición difiere del concepto de réplica. El

procesamiento de datos contemplará también a las réplicas como fuente probable de variación.

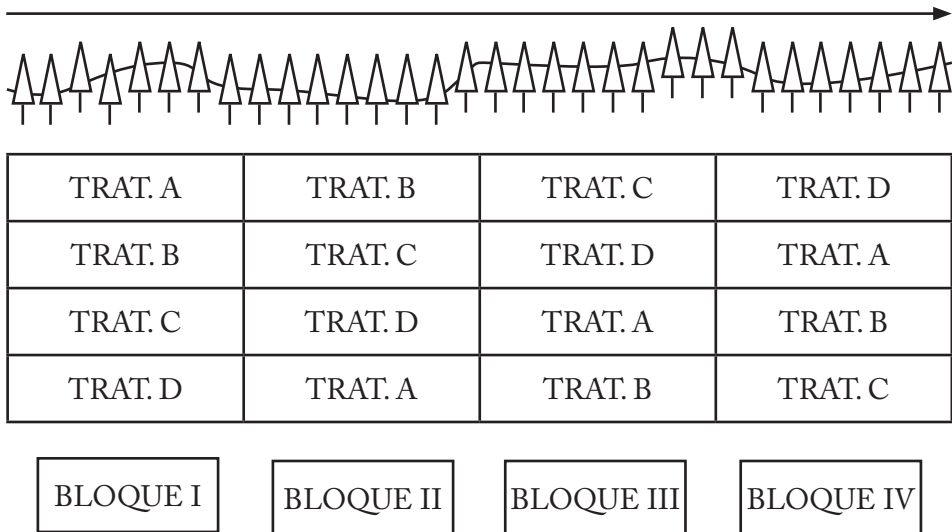
Disposición de las repeticiones

El arreglo de los bloques en el campo tiene importancia cuando los tratamientos se refieren a prácticas culturales que requieran el uso de equipos de labranza, sistemas de riego, equipos de aspersión para aplicación de insecticidas, herbicidas, etc. (González, 1985).

De otra manera, se debe dejar la máxima variación entre bloques a fin de que las unidades experimentales dentro del bloque compartan condiciones uniformes, es decir, se presenten variaciones mínimas.

En la región Interandina ecuatoriana, normalmente se encuentran localidades que reúnen condiciones ambientales deseables para llevar a cabo un ensayo, pero en las que la gradiente del terreno obliga al investigador a disponer los bloques y parcelas, de modo diferente al que adoptaría en terreno plano.

Diagrama 1. Bloques de tratamiento en pendiente



Cuando la irregularidad del terreno o la gradiente de fertilidad cambia entre un lugar y otro, resulta ventajoso colocar los bloques uno a continuación de otro a lo largo de la pendiente, más precisamente en sentido perpendicular a la pendiente, por lo que los tratamientos se sortean dentro de cada bloque quedando bajo la misma cota o dirección.

En estos casos, se aplica la razón obvia de propiciar el efecto de la gradiente con la misma oportunidad y riesgo de beneficio o ventaja para todas las unidades experimentales. En el diagrama 1, se explica esta caracterización:

Cada tratamiento (A, B, C o D) participa de los diferentes niveles de variabilidad conforme se acerca o aleja de la cortina de árboles, acequia, camino, quebrada o cualquier obstáculo presente. Esto es importante para medir los efectos de los tratamientos en presencia de esta causa de variabilidad del suelo por su condición de fertilidad, circulación y acción del viento, sombra, humedad, etc.

La distribución de repeticiones en ciencias pecuarias, como es el caso de los pollos, se debe tomar en consideración un ambiente homogéneo, evitando que un grupo de animales se favorezcan de la luz solar en determinadas horas del día; además es necesario considerar la corriente de viento el momento de abrir la puerta, la misma que puede influir negativamente en el efecto de los tratamientos y bloques.

En las industrias pecuarias, la disposición de las repeticiones es importante, ya que una mala ubicación, a pesar de investigar en un ambiente controlado, va a influir por la corriente de aire en el momento del manejo de los productos cuando son de procesos largos de obtención como es el queso madurado, carnes ahumadas, entre otros.

Las condiciones de naves de crianza o galpones, laboratorios, invernaderos, etc. son apropiadas para la distribución de los tratamientos al azar, por la naturaleza de las condiciones homogéneas del recinto investigativo.

Factores que determinan el número de repeticiones (González, 1985)

- **Precisión requerida.**- Mientras más pequeña sea la desviación de la hipótesis nula que tratamos de detectar, mayor debe ser el número de repeticiones.
- **Naturaleza del material experimental.**- Algunos suelos, así como cierto tipo de material experimental, son más heterogéneos que otros, en cuyo caso se debe aumentar el número de repeticiones.
- **Diseño usado.**- Cuando el número de tratamientos es representativo y exige el uso de unidades experimentales heterogéneas, el error experimental por unidad aumenta.
- **Presupuesto.**- Se refiere al costo de la mano de obra para mantenimiento del ensayo y toma de datos.
- **Cantidad de semilla disponible.**- Generalmente, el fitomejorador obtiene algunos gramos de semilla en la primera fase del mejoramiento. En este caso, no es posible tener el número de repeticiones requerido.
- **Tierra disponible.**- En las demás áreas del conocimiento y particularmente de la biología, como es la producción pecuaria, la industria, la salud y la nutrición, etc., estos factores son observados de la misma manera y con el mismo alcance de trascendencia en la generación del conocimiento confiable y de alto rigor científico.

Error experimental o residuo experimental

El error experimental es una medida de la variación existente entre observaciones dentro de los tratamientos, sobre las medidas experimentales tratadas en forma similar (Stihl y Torrie, 1988). La variación viene de fuentes diferentes. Existe la variabilidad inherente al material experimental: de la misma manera, puede existir una variación resultante de cualquier

falta de uniformidad en la realización física del experimento. La magnitud de un intervalo de confianza y el poder de una prueba dependen, en definitiva, de la varianza, por ello es necesario considerar:

- Manejar el material experimental de tal manera que se logre reducir los efectos debidos a la variabilidad inherente
- Refinar la técnica experimental

Los resultados experimentales de una investigación varían no solo por la acción de los tratamientos, sino también debido a variaciones de otros factores como los ambientales, que tienden a enmascarar el efecto de los tratamientos. Para expresar estas variaciones, generalmente se usa el término error experimental, en el que este no quiere decir *equivocación*, sino que incluye todo tipo de variación externa, ajena o involuntaria que está inmersa en el contexto experimental.

Entonces, el error experimental sería el fracaso de llegar a resultados idénticos en dos unidades experimentales tratados en la misma forma. También se define al error experimental como la medida de variación que existe entre las observaciones de unidades experimentales, bajo el mismo tratamiento; es decir, la variación (error) no proviene de los tratamientos. El error está medido dentro de los tratamientos y no entre tratamientos. Por esta razón se identifica en las fuentes de variación como intragrupos (dentro), ya que aquella entre grupos es la de los tratamientos.

Existen dos clases de variación (Santillán): error inherente al material experimental al cual se aplica los tratamientos, y el error adquirido, aquel que proviene de la falta de uniformidad en la conducción física del experimento.

Si los resultados obtenidos de la investigación tienen la precisión pretendida, como para llegar a conclusiones válidas, ninguna de las dos fuentes de variación debe preocupar al investigador.

Resumiendo, la variación de los datos refleja:

- ***Errores de planeamiento***

Investigación mal planificada y estructurada se refiere a definiciones ambiguas e incompletas que no permiten localizar perfectamente los elementos que han de ser observados debido a la heterogeneidad en que se realiza una investigación.

- ***Errores de respuestas***

Originados por instrumentos de recolección de diferente precisión; técnicas de recolección de datos inapropiados; personal de campo mal instruido o poco entrenado; y, por no realizar un control minucioso en la calidad de los datos.

- ***Errores del observador***

Relacionados con sus destrezas y habilidades, con su experiencia y con su acuciosidad; la variabilidad entre observadores o del mismo observador se detecta al someter un mismo objeto a examen por varios observadores o por el mismo observador en diferentes oportunidades. Si se encuentra discrepancias entre las valoraciones, habrá que adiestrar al observador hasta conseguir una nivelación que asegure límites tolerables de variación (estandarización).

- ***Errores en el procesamiento de los datos***

- Empleo de técnicas estadística no útiles para la verificación de objetivos e hipótesis
- Inexistencia de controles operativos y de resultados o a su poca eficacia

- ***Actitud inescrupulosa del investigador***

En forma intencionada, se emplean *habilidades* para servir intereses particulares, distorsionando y falsificando la verdad.

En general, hay que reconocer los siguientes tipos de error:

Error sistemático, cuando cada valor de una serie de observaciones tiene una desviación en una dirección, ya sea en términos de frecuencia o que todos los valores estén aumentados o disminuidos con respecto al valor verdadero.

El error aleatorio se debe a múltiples factores, generalmente no identificados, que dependen de la naturaleza del objeto en estudio y que producen variaciones con respecto al valor verdadero.

Control del error experimental

En muchas áreas de la experimentación, de acuerdo a la disponibilidad de tiempo que se puede asignar a un experimento, el error experimental puede influir de tal manera en los resultados, que solamente es posible detectar las diferencias entre tratamientos que son de cierta magnitud. En consecuencia, se ha prestado bastante atención a los métodos que permiten aumentar la precisión en las investigaciones.

Esos procedimientos se refieren a:

- Incrementar el tamaño del experimento, usando más repeticiones o incluyendo tratamientos adicionales.
- Refinar la habilidad experimental, usando un diseño eficiente y tomando los datos de forma cuidadosa.
- Manipular el material experimental de tal modo que se reduzca la variabilidad dentro del mismo; es decir, usando material homogéneo.
- Usar unidades experimentales del tamaño y forma adecuada.

Con relación a la técnica usada, por ejemplo, en la aplicación de fungicidas, la misma persona debe hacer las aplicaciones en un mismo bloque; se debe cosechar toda una repetición en el mismo día; se usará la misma balanza para pesar el volumen de producción de toda una repetición. De la

misma manera, en experimentos pecuarios, los debe realizar una sola persona, de esta manera evitará errores experimentales o no deseados.

Selección del sitio y material experimental

Antes de diseñar el experimento, es importante seleccionar el sitio o área en el que se va a llevar a cabo la investigación. En ensayos pecuarios, los animales deben ser lo más uniformes y homogéneos posible, que correspondan a una misma edad, peso, sexo, procedencia, grupo sanguíneo; de la misma manera, en los experimentos agrícolas debe escogerse una localidad que sea representativa de una zona grande a la que se va a beneficiar con las conclusiones obtenidas.

En este sentido, las recomendaciones llegarán únicamente al propietario de la hacienda en la que se realizó el ensayo una vez escogida la localidad, otra consideración es seleccionar un lote de terreno que sea lo más uniforme posible; evitando pendientes y sitios irregulares como se ha indicado antes, la heterogeneidad del suelo es universal incluso en terrenos planos, la fertilidad varía de un metro cuadrado a otro. Mientras mayor sea la uniformidad general del campo experimental, mayores son las probabilidades de reducir el error experimental y obtener conclusiones válidas y confiables del ensayo.

La selección de la unidad experimental. En experimentación agrícola se han hecho numerosos estudios sobre la variabilidad de diversos cultivos en parcelas de diferente forma y tamaño. La idea es obtener la máxima precisión de acuerdo al tiempo, dinero y mano de obra disponible, pero siempre tratando de simular las condiciones reales de desenvolvimiento normal de cultivos, animales, etc.

Así mismo, se deberá utilizar el material experimental que sea representativo o corresponda al más común en la zona. Si se trata de iniciar un ensayo de fertilización en maíz, de una región, un ensayo de fertilización usando semilla seleccionada o certificada de otra zona no beneficiará a los agricultores actuales que se encuentran alejados de la ciudad, quienes, por el momento, no tiene acceso o interés en adquirir y probar la semilla mejo-

rada; si en forma simultánea se puede introducir y probar semilla mejorada, el beneficio para la región sería mayor.

La adecuada selección es más delicada de llevar a cabo en investigación económica o sociológica. Al probar algún método de manejo de haciendas, el experimento puede basarse en entrevistas a los agricultores y obtener su participación. El éxito de este trabajo dependerá de la habilidad del investigador para obtener una muestra representativa de los agricultores de la zona a los que beneficiarán las recomendaciones que se desprendan del estudio.

Precisión del experimento

La precisión o exactitud se refiere a la proximidad con que se logra realizar una investigación. Es de mucha importancia debido a que de ello dependen los resultados experimentales, de la misma manera que la magnitud de la diferencia entre dos tratamientos que un experimento es capaz de descubrir.

La exactitud está relacionada con la recolección de información, procesamiento y finalmente se refleja en el error experimental que no manifiesta el efecto de los tratamientos, sino a errores involuntarios.

Métodos para mejorar la precisión (Little y Hill, 1976):

- Incremento del número de repeticiones
- Selección de tratamientos
- Refinamiento de la técnica
- Selección del material experimental
- Selección de la unidad experimental
- Toma de medidas experimentales
- Agrupamiento planeado de las unidades experimentales

Se han considerado algunos aspectos relacionados con la forma de reducir el tamaño del error experimental e incrementar la precisión del experimento. En cuanto al refinamiento de la técnica y al procedimiento experimental, se puede registrar lo siguiente:

- Aplicar a los tratamientos de manera uniforme; esto incluye la recopilación de información. Si el ensayo es de fertilización en alfalfa con cuatro repeticiones, el número de parcelas es más o menos extenso y no es posible cortar y pesar todo el ensayo en el mismo día, se debe completar este trabajo en dos o tres repeticiones dejando la cuarta para el día siguiente. En esta forma, no habrá diferencias entre tratamientos dentro de cada repetición.
- Controlar las variaciones extremas de tal modo que todos los tratamientos actúen bajo idénticas condiciones. Si la variable en estudio es fungicidas, el único elemento que debe variar de una parcela experimental a otra es tipos y/o dosis de fungicida. Todas las parcelas deben recibir idéntica preparación del terreno, igual sistema, densidad y época de siembra y cosecha, labores culturales, riegos, fertilización, la misma variedad.
- El investigador usa en forma rutinaria una serie de aparatos para la toma de datos; es importante calibrarlos periódicamente a fin de mantener su precisión. Tal es el caso de balanzas de reloj que se usan para efectuar pesajes en el campo: frecuentemente los resortes se estiran o, cuando se guarda las balanzas en lugares húmedos, se oxidan. De todos modos, una vez que se ha comenzado a tomar datos se debe utilizar el mismo equipo o instrumental por lo menos hasta terminar una repetición completa
- Frecuentemente, el investigador deja el trabajo rutinario en manos de asistentes o ayudantes los que, por más entrenamiento que tengan, carecen de experiencia. Es conveniente vigilar el trabajo de campo o laboratorio a ciertos intervalos. Esto es cierto en lo que se refiere a calificaciones en las que se usan escalas relativas de medida: porcentaje de enfermedad, vigor de plántulas.
- La precisión de un experimento está afectada por el número de grados de libertad del error. Los grados de libertad dependen del número de tratamientos, repeticiones y del diseño. El aumento en precisión es importante cuando existen menos de 20 grados de libertad para el error. Como se puede apreciar de los siguientes valores, pasados los 20 grados de libertad, el valor de t disminuye muy poco.

El procedimiento de Fisher (Cochran y Cox, 1957), al comparar la precisión de los diseños indica la siguiente ecuación para determinar la *eficacia relativa* de dos diseños.

$$E,R = \frac{\frac{(n_1 + 1)}{(n_1 + 3)} s_1^2}{\frac{(n_2 + 1)}{(n_2 + 3)} s_1^2} = \frac{\frac{(n_1 + 1)}{(n_1 + 3)} s_2^2}{\frac{(n_1 + 1)}{(n_2 + 3)} s_1^2}$$

donde s_1^2 y s_2^2 son las variancias del primero y segundo diseño y n_1 y n_2 sus grados de libertad respectivamente.

- Finalmente, la exactitud de un experimento puede aumentarse mediante el uso de la técnica llamada covariancia.

Randomización

La función de la aleatorización se fundamenta en asegurarse que obtengamos un estimativo válido e insesgado de la población y del error experimental, de las medias de los tratamientos y de las diferencias entre las mismas (Stihll y Torrie, 1988). La azarización es una de las pocas características del diseño experimental moderno. La aleatorización generalmente supone el empleo de un dispositivo de azar, tal como el lanzamiento de una moneda o el uso de tablas de números aleatorios, o la simple utilización de papelitos extraídos al azar en los que se inscriben los datos que identifiquen a las repeticiones o bloques y a los tratamientos.

Las parcelas inmediatas tienden a ser correlacionadas, por lo que cualquier parcela o unidad experimental debe recibir al azar cualquier tratamiento.

Los diseños sistémicos en los que los tratamientos son aplicados en forma sistémica; generalmente subestiman el error experimental.

La randomización es equivalente a un seguro (Cochran y Cox, 1957); es una cautela que se toma contra problemas que pueden o no logran ocurrir y si ocurren pueden o no logran ser serios.

El modelo más común de randomización estaría dado por el sorteo o rifa de algún objeto, para lo que se mercantilizan boletos entre un grupo de individuos. Si se coloca papeles o fichas numeradas en un ánfora y se supone que se hallan completamente mezcladas, sin ningún orden ni agrupamiento particular, cualquier secuencia en que salgan, habrá de considerarse casualidad. A veces, cuando el investigador tiene pocos tratamientos, recurre a este método. Sin embargo, siendo un sistema exactamente igual, es preferible recurrir a una tabla de números al azar, en las cuales el proceso de sorteo de cifras ha sido realizado anticipadamente.

Selección del diseño experimental

El número y la naturaleza de los tratamientos que se ensayarán, establecen el tipo de diseño que se debe usar. Antes de decidir sobre este aspecto, se deberá reflexionar aspectos como grado de exactitud requerida, disponibilidad de material, tierra, equipos, mano de obra y similitud de los tratamientos con las prácticas de uso común por los agricultores, si los resultados tendrán utilidad muy limitada.

El diseño de bloques completos al azar es quizás el más usado por su flexibilidad y sencillez tanto en el diseño como en el análisis estadístico. Funciona bien hasta con 20 tratamientos. Si el número de tratamientos es mayor, deberá usarse otros diseños incluyendo posiblemente experimentos en confundido.

Si las variables dentro del experimento son riego y fertilización, es más fácil de regar una parcela grande que una subparcela, en cuyo caso se usaría un arreglo en parcelas divididas.

Muchas veces, en especial en ensayos que se usarán para tesis de grado, se realiza el trabajo experimental sin planificarlo en forma completa y se trata de adaptar los datos obtenidos a un diseño dado. Es obvio suponer los errores que van a producirse en esa forma. El estudiante, antes de iniciar el ensayo, debe poner por escrito los objetivos principales y secundarios del trabajo, el procedimiento y por lo menos el esquema del ADEVA de acuerdo al cual se analizarán los resultados.

Inferencia estadística

González (1985) señala que la solución estadística a un problema de estimación consiste en afirmar que la verdadera diferencia entre tratamientos está comprendida dentro de ciertos límites indicando la probabilidad de que esa afirmación sea correcta. Un modelo ilustrará esta situación: queremos determinar si la utilización de un herbicida es ventajosa. El costo del producto es tal que su uso será económico solo en caso de que permita obtener rendimientos en cultivos de alfalfa de 16 toneladas de forraje fresco por corte y por hectárea. Si después de llevar a cabo el experimento se encuentra que los límites de confianza al 95% de probabilidades son 17 y 19 toneladas, estaríamos seguros de usar el herbicida, pero, si aquellos son 12 y 14 toneladas, descartaríamos el uso del producto; habría duda en caso de que los límites fueran 14 y 18 toneladas porque podría haber una pequeña ganancia o una pequeña pérdida; en todo caso, habría riesgo al hacer la recomendación sobre el uso del herbicida; lo conveniente sería repetir el ensayo.

El objetivo de los experimentos es determinar si hay diferencias reales entre medias de tratamientos y estimar la magnitud de tales diferencias si existen (Stihll y Torrie, 1988). Una inferencia estadística respecto a tales diferencias supone la asignación de una medida de probabilidad a la inferencia. Se ampliará este estudio en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO II. INFERENCIA ESTADÍSTICA

*No hay Sabiduría sin prudencia,
no hay Filosofía sin cordura*
(JAIME BALMAS)

INFERENCIA ESTADÍSTICA

Inferir: la relación de sinónimos de Microsoft Office reconoce esta acción como una manera de conjeturar, suponer, vislumbrar, sospechar, predecir, pero, de una manera más enfática, presenta una correspondencia en la materia en cuestión como un proceso de deducción e inducción; esto en verdad tiene relación con la oportunidad de realizar generalizaciones a partir de una situación particular o de efectuar particularizaciones en función de una situación general. De la misma manera, la **estadística** no es más que el ordenamiento de datos; por tanto, la **inferencia estadística** es la obtención sistémica de una o más conclusiones a partir de una base de datos. En cualquiera de las oportunidades surge la condición de población y muestra. En efecto, si un estudio investigativo se fundamenta en una parte proporcional y representativa de la población (muestra), los resultados que se derivan, pueden servirnos de referencia para realizar estimaciones puntuales para extrapolar a la población. Por ejemplo, la disponibilidad del valor de la media de la producción de leche de un estudio en la muestra podría ser de 12,8 litros/vaca/día, con una desviación estándar de 2,153 litros/vaca/día; podríamos estimar la producción de leche en una determinada población aplicando la expresión:

$$\mu \pm t_{\text{Tab}} S_{\bar{X}}$$

Expresión de estimación de la media poblacional a un determinado nivel de confiabilidad; así:

$$\bar{x} = 12,8 \text{ l/vaca / día}$$

$$S = 0,153 \text{ l/vaca / día}$$

confiabilidad: 95 %

μ : *estimar la producción en la población*

n : *1427 hatos lecheros*

$$t_{,05} = 1,96 \text{ al 95\% de confiabilidad}$$

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$S_x = \frac{0,153}{\sqrt{1427}}$$

$$S_x = 0,004$$

La expresión de estimación de la media quedaría representada así:

$$12,8 - (1,96) * (0,004) \leq \mu \leq 12,8 + (1,96) * (0,004)$$

Por tanto, la estimación poblacional de la producción de leche estará entre dos valores; un mínimo y un máximo, con el 95% de confiabilidad de que esto suceda.

En consecuencia, la inferencia permite inducir (extrapolar en base a la media de la producción observada en la muestra), lo que podría estar ocurriendo en la población a un nivel de confiabilidad de esta estimación puntual.

Prueba de hipótesis a partir de información binomial

Sotto (2006) reporta que aparentemente existen investigaciones en donde parece suficiente analizar la información a partir de estadísticas descriptivas como medias, desviaciones, gráficos de frecuencias. La información obtenida en el campo es indispensable analizarla mediante el coeficiente de variación con la finalidad de determinar el porcentaje de variación en el campo experimental; de otra manera, el coeficiente de variación es una herramienta estadística que nos permite homogenizar la información inicial en el campo antes de someter a algún tratamiento para que el efecto de los mismos sea lo más real posible.

Para calcular el coeficiente de variación nos valemos de la desviación típica y la media aritmética, la misma que se calcula de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}_i}{n}$$

\bar{x} : media aritmética

Σ : letra sigma mayúscula del alfabeto griego, denota sumatoria

n: número de datos u observaciones hasta donde se considera la sumatoria

i : salto numérico que contiene la variable

x : variable en consideración (valor)

n : número de observaciones de la serie

Cuando se trata de la desviación muestral, la ecuación es como sigue:

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Si en la desviación de la población es necesario recalcar que no existen grados de libertad, desde este punto de vista, la ecuación para el cálculo de la desviación es como sigue:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n}}$$

Desde el cálculo de la desviación podemos mencionar que se puede calcular la varianza, únicamente elevando al cuadrado la desviación típica.

Finalmente, el coeficiente de variación es como sigue:

$$CV = \frac{S}{x} 100$$

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}}}{\frac{\sum x}{n}}$$

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n - 1}}}{\frac{\sum x}{n}}$$

Ejemplificando esta parte inicial de la inferencia estadística quedaría:

La producción diaria de siete vacas se registra en el siguiente reporte:
10, 15, 12, 13, 11, 13 y 14.

Considerando esta información y sobre la base de los respectivos cálculos tendremos lo siguiente:

$$x = \frac{(10 + 15 + 12 + 13 + 11 + 13 + 14)}{7} = 12,57 \text{ litros de leche}$$

Lo que significa que la producción promedio de 10 vacas de leche es de 12,57 litros como medida de tendencia central, convirtiéndose en un indicador de cuánto produce la granja en evaluación.

En cuanto a la desviación, podríamos decir que es una de las medidas de dispersión de la información en función de la media. Tomado el mismo ejemplo:

$$S = \sqrt{\frac{(10^2 + \dots + 14^2) - \frac{(10^2 + \dots + 14)^2}{7}}{7 - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(10^2 + 12,57)^2 + (15 - 12,57)^2 + \dots + (14 - 12,57)^2}{7 - 1}} = 1,72 \text{ litros}$$

Con este valor decimos que la variación de los datos con respecto a la media de producción de leche es de 1,72 litros o sea $12,57 \pm 1,72$ litros de leche diarios. Esta interpretación tiene una confiabilidad del 68%, de acuerdo a las propiedades de la desviación estándar; así mismo, la expresión puede representarse con $12,57 \pm (2)(1,72)$ y debe referirse como a que, con el 95% de confiabilidad, los datos varían entre el valor mínimo y el máximo de esta expresión; caso contrario, si la representación es de $12,57 \pm (3)(1,72)$, con el 99% de confiabilidad, los datos estarán enmarcados entre el valor mínimo y máximo de la expresión. Como estas estimaciones resultan un tanto áridas, se recurre a calcular el coeficiente de variación, mediante la utilización de la ecuación antes citada:

$$CV = \frac{1,72}{12,57} 100$$

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{(10^2 + \dots + 14^2) - \frac{(88)^2}{7}}{7 - 1}}}{\frac{10 + \dots + 14}{7}} 100 = 13,67\%$$

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{(10 - 12,57)^2 + \dots + (14 - 12,57)^2}{7 - 1}}}{\frac{10 + \dots + 14}{7}} 100 = 13,67\%$$

Este valor indica que la variabilidad de la información recogida en el campo es del 13,67%. Es decir, con respecto a la media, los datos de la serie, varían en un 13,67%.

Dependiendo de los estudios y de la experiencia del investigador, este valor del CV, puede permitirnos tomar decisiones de confiabilidad de la información o de requerimiento de transformaciones. De otra parte, los investigadores recurren a este CV, con el fin de tomar decisiones de homogeneidad o heterogeneidad de la serie de datos o conjunto de observaciones.

Con estas orientaciones, avanzaremos en la particularidad en la que se debe comprobar hipótesis que se refieren a dos grupos o dos tratamientos; por ejemplo: nos encontramos con información recogida en el campo, proveniente de dos muestras, las mismas que deben ser hipotetizadas y comprobadas, puede ser el caso de dos tratamientos. La información de que se dispone es necesario analizarla mediante prueba de hipótesis en donde se puede mencionar que:

$$H_o : \mu_1 = \mu_2 \text{ mientras que:}$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

En el primer caso, se trataría de una *hipótesis nula*, la misma que expresa que no existen diferencias significativas entre las medias de los dos tratamientos; en el segundo caso, nos encontramos con una *hipótesis alternativa*, por la que se advierte que sí hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los dos tratamientos.

Para docimar (comprobar) las hipótesis planteadas, aplicamos la *Prueba t-Student*, la misma que es apropiada para este tipo de muestras y calculamos de la siguiente manera:

$$t = \frac{|x^1 - \bar{x}^2|}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}}$$

En el siguiente ejemplo se aborda la aplicación de la *Prueba t-Student* para observaciones no pareadas o para diferente número de observaciones por grupo o tratamiento:

La ganancia diaria de peso de lechones de dos lotes de animales a los cuales se suministra harina de caña proteica y harina de girasol arrojaron los siguientes resultados:

Cuadro 1. Ganancia de peso de lechones bajo la influencia de dos dietas

Observaciones	H. de caña proteica	H. Girasol
1	231	198
2	229	195
3	230	209
4	228	210
5	235	210
6	227	202
7	231	199
8	232	193
9		211
Promedio	230,34	203,00
Desviación típica	2,50	7,11
Coficiente de variación	1,09	3,50

Nos formulamos textualmente la H_0 que manifiesta: la ganancia de peso de lechones alimentados con dietas a base de harina de caña proteica y de harina de girasol no difiere significativamente.

Entonces la hipótesis de comprobación será:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ (formulación matemática)}$$

$$t = \frac{|230,34 - 203,00|}{\sqrt{\frac{(8 - 1)2,5^2 + (9 - 1)7,11^2}{8 + 9 - 2} \left[\frac{1}{8} + \frac{1}{9} \right]}}$$

Este valor debe contrastarse con el valor CRÍTICO o TABULAR, al nivel de significancia ($P < ,05$ o $P < ,01$) y de acuerdo con el número de grados de libertad $g.l. = (nA - nB) - 2$, en nuestro caso,

$$g.l. = (8 + 9) - 2 = 15$$

El valor de **t tabular** es el siguiente (valores t-Student en el apéndice 2):

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{15g.l.} = 2,13$$

Criterios para aceptar o rechazar las hipótesis

1. Si $t_{Cal} < t_{Tabular} 0,05$; se acepta la H_0 y se rechaza la H_a , con el 95% de certeza y 5% de error. Las diferencias N_0 son estadísticamente significativas (NS).
2. Si $t_{Cal} > t_{Tabular} 0,05$; se acepta la H_a y se rechaza la H_0 , con el 95% de certeza y 5% de error. Las diferencias entre medias de tratamientos o grupos, son estadísticamente significativas (*).
3. Si $t_{Cal} > t_{Tabular} 0,01$; se acepta la H_a y se rechaza la H_0 , con el 99% de certeza y 1% de error. Las diferencias son altamente significativas entre medias de tratamientos o grupos (**).

En consecuencia:

Si $t_{Cal} = 10,70 > t_{Tabular} = 2,13$; entonces, hay diferencias significativas al nivel $P < ,05$; la diferencia entre medias de la ganancia de peso de lechones es *significativa*. Los lechones que recibieron *harina de caña proteica* (230,34 kg) ganaron significativamente mayor peso que los que se alimen-

taron a base de *harina de girasol* (203,00 kg); por lo tanto, rechazo la H_0 y acepto la H_a , con el 95% de certeza y 5% de error.

Distribuciones teóricas Z

Cuando disponemos de información de poblaciones es necesario analizar mediante la distribución teórica de Z en la campana de Gaus. Para comprobaciones binomiales utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$Z = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\left[\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2} \right]}}$$

Ejemplificando el tema tenemos la siguiente información:

Cuadro 2. Referencia de observaciones

Estadísticas	Observación 1	Observación 2
Promedio	235,50	204,80
Desviación típica	66,30	126,90
Población	35	35

$$Z = \frac{|235,5 - 204,8|}{\sqrt{\left[\frac{66,3}{35} + \frac{126,9}{35} \right]}}$$

Para comprobar la hipótesis de valores tabulares al 5% y 1% de confianza, en el cual, para el 95% de confianza, tenemos un valor tabular de $Z = 1,96$ y al 99% de confianza $Z = 2,57$ (apéndice 01).

Desde este punto de vista, las hipótesis están planteadas de la siguiente manera:

$$H_o : \mu_1 = \mu_2 \text{ mientras que:}$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

La decisión la tomamos sobre la base de los mismos criterios de aceptación o rechazo de las hipótesis; por tanto, aceptamos la hipótesis alternativa y rechazamos la nula, como es el caso del ejercicio.

En una granja avícola, se realizó un estudio con el objetivo de obtener información acerca de datos de huevos de pavos en un período determinado, como sigue: 1, 2, 0, 2, 3, 2, 4, 2, 0, 0, 0, 2, 3, 0, 4, 0, 2, 3, 2, 1, 0, 3, 0, 0, 2, 2, 3, 3, 2; y una firma comercializadora plantea que, en igual período, la producción es de $4,3 \pm 0,11$ huevos.

Una vez procesada la información, tenemos los siguientes resultados estadísticos:

Cuadro 3. Estadísticas de producción de huevos de pavo

Estadísticas	Granja	Firma comercial
Promedio	1,665	4,3
Desviación típica	1,317	0,11
Población	29	

$$Z = \frac{|\bar{x} - \mu|}{\sigma} \sqrt{n}$$

$$Z_{0,05} = 1,96$$

$$Z_{0,01} = 2,57$$

$$Z = \frac{|1,65 - 4,3|}{0,11} \sqrt{29} = 129,73$$

Si comparamos este valor de Z calculado con Z teórico al 5% y 1%, el valor calculado es mayor, por lo que la hipótesis nula se rechaza aceptando la alternativa que dice que las medias (muestral *vs.* poblacional) difieren significativamente. Cuando las diferencias no son significativas, se suelen emitir los criterios: *las diferencias son casuales; ... las diferencias son aleatorias; ... las diferencias son eminentemente numéricas, pero no son diferencias estadísticamente significativas.*

Podría considerarse el siguiente ejemplo para su tarea:

Al desarrollar un experimento, se observó que la ganancia promedio diaria de novillas Holstein fue la siguiente: 175, 132, 218, 152, 200, 219, 134, 149, 187, 123, 248, 206, 179, 206 y 245; otro lote de 15 animales presentó un promedio de 198 ± 25 kg. Comprobar si hay diferencias significativas entre las medias de los grupos.

No toda información tiene la misma unidad; existen variables discretas cuyos valores deben expresarse en proporciones como el número de inseminaciones, el número de lechones, número de tubérculos, número de crías por partos, etc.; por tanto, es necesario analizar mediante proporciones una gran cantidad de información. La distribución Z de áreas bajo la curva normal nos facilita este cálculo.

$$Z = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{\frac{pq}{n_1} + \frac{pq}{n_2}}}$$

Un ejemplo que nos plantea Sotto (2006) menciona que un lote de 300 vacas fueron inseminadas por un inseminador x_1 y otro lote de 200 vacas por otro inseminador x_2 de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados, para poder seleccionar en función de una comparación de medias con una prueba de hipótesis en donde:

$H_0: p_1 = p_2$ (la proporción de preñez con el X_1 no difiere de la proporción lograda por el X_2)

$H_a: p_1 \neq p_2$ (la proporción de preñez con el X_1 difiere de la proporción lograda con el X_2)

N_1 : 300 vacas inseminadas
 X_1 : 220 vacas preñadas
 p_1 : 0,73

N_2 : 200 vacas inseminadas
 X_2 : 150 vacas preñadas
 p_2 : 0,75

En este tipo de pruebas, n debe ser mayor a 200 casos para considerar una población.

$$Z = \frac{0,73 - 0,75}{\sqrt{\frac{0,73 * 0,25}{300} + \frac{0,75 * 0,25}{200}}} = 0,51$$

Como podemos observar, no existe diferencia significativa ya que Z calculada es menor que Z teórica (1,96 al 5%); por tanto, la hipótesis alternativa se rechaza y aceptamos la hipótesis nula, la misma que dice que la eficiencia de los dos inseminadores es igual.

Cuando la muestra es menor a 200 observaciones, se utiliza para las proporciones la siguiente prueba de hipótesis con la siguiente fórmula a través de Z.

$$Z = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{\bar{p} (1 - p) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Para demostrar el método tomamos en consideración el siguiente ejercicio:

$$\begin{array}{ll} N_1 = 150 & N_2 = 100 \text{ vacas inseminadas} \\ X_1 = 73 \text{ vacas preñadas} & X_2 = 70 \text{ vacas preñadas} \\ p_1 = 0,49 & p_2 = 0,70 \end{array}$$

$$\bar{p} = \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2}$$

$$\bar{p} = \frac{73 + 70}{150 + 100} = 0,57$$

$$Z = \frac{0,49 - 0,79}{\sqrt{0,57(1 - 0,57) \left(\frac{1}{73} + \frac{1}{70} \right)}}$$

Por lo visto en este ejemplo, Z calculado es mayor a Z teórico (1,96) al 5% (apéndice 01), concluyéndose que la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa.

Intervalo de confianza

De la misma manera, a través de la estadística Z , se puede calcular el intervalo de confianza en el cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$P : \left\{ \bar{x} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \right\} \%$$

Este intervalo se calcula al 95% o 99% de confianza.

Cuando se utiliza en una serie de datos obtenidos de una investigación en la cual determinaron el porcentaje de germinación de pepas de nogal sometidos a un tratamiento pregerminativo que es agua hervida en el cual pudimos obtener la siguiente información:

Promedio = 20,11%

Desviación típica = 2,79%

Observaciones = 36

Con esta información se puede procesar:

$$P : \left\{ 20,11 - \frac{2,79}{\sqrt{36}} 1,96 \leq \mu \leq 20,11 + \frac{2,79}{\sqrt{36}} 1,96 \right\} \%$$

$$P : \{19,1986 \leq 20,11 \leq 21,0214\} \%$$

Con esta información podemos manifestar que el intervalo de confianza del porcentaje de germinación de la pepa de nogal sometida a agua hervida como tratamiento pre-germinativo tiene un intervalo de confianza de 0,9114, el mismo que se sitúa entre 19,19% a 21,02% considerando el 5% de error.

Prueba de hipótesis a partir de experimentos agropecuarios

Por otra parte, la inferencia estadística nos permite realizar comprobaciones de situaciones hipotéticas o, dicho de mejor manera, comprobar o docimar las hipótesis aplicando ciertos métodos estadísticos para aceptar o rechazar un supuesto predefinido. Por ejemplo: se prueba la efectividad de la aplicación de un anabólico (laurato de nandrolona) en

la recuperación de lechones rezagados desde los 21 a los 77 días de edad (Benalcázar, 2005), y se considera dos tratamientos (sin laurato *vs.* con laurato) y dos grupos de lechones según sexo (hembras y machos). Las hipótesis de trabajo fueron:

H_0 : la utilización de laurato de nandrolona no permite una recuperación del peso de lechones durante los 21 a 77 días de edad.

$$H_0: \bar{X}_{\text{Sin.LN}} = \bar{X}_{\text{Con.LN}}$$

H_0 : el sexo no influye en el comportamiento productivo de lechones durante los 21 a 77 días de edad. Entonces:

$$H_0: \bar{X}_{\text{Hembras}} = \bar{X}_{\text{Machos}}$$

H_0 : la utilización del laurato de nandrolona en lechones hembras y machos no mejora la condición de peso de estos durante los 21 a 77 días de edad.

$$H_0: \bar{X}_{\text{Sin.Hembras}} = \bar{X}_{\text{Sin.Machos}} = \bar{X}_{\text{Con.Hembras}} = \bar{X}_{\text{Con.Machos}}$$

Estas hipótesis pueden ser comprobadas a través de la prueba Fisher en el análisis de varianza (ADEVA, ANOVA, ANVA) y se conoce que si $F_{\text{cal}} < F_{\text{tab}}$, se acepta la H_0 , caso contrario se la rechaza, al nivel de significancia comparado. Por tanto, la inferencia estadística nos permite hacer interpretaciones de los registros estadísticos en investigación científica, o la interpretación de los resultados de una determinada situación en estudios sociales, psicológicos, médicos, entre otros.

Análisis de varianza

El análisis de varianza fue ideado por Ronald Fisher, el mismo que menciona que es un procedimiento matemático que desdobra una suma total de cuadrados en componentes asociados o con fuentes de variación reconocida, usado con provecho en todos los campos de la investigación con información cuantitativa; de la misma manera consideramos el análisis de la varianza en donde el último criterio de clasificación de los datos es el tratamiento, además de las pruebas de significancia, el cuadrado medio residual y el error de muestreo (Stihl y Torrie, 1988).

Los diseños experimentales radican en la forma en que se agrupan o clasifican las unidades experimentales (Little y Hill, 1976), por tratamientos; pero en algunos casos, estas se clasifican preferentemente en bloques, filas, parcelas y otras modalidades para estimar la varianza o cuadrado medio, la misma que estima la dispersión entre las mediciones de parcelas debidas a causas aleatorias.

El análisis de varianza es una técnica que permite descomponer la variabilidad total de los resultados de un experimento en sus distintas fuentes de variación (factores, tratamientos, bloques, interacciones, covariables, error experimental), con la finalidad de compararlas e identificar su importancia relativa en la explicación de la variabilidad total (Eizaguirre, 2004).

De la misma manera podemos reportar que el análisis de varianza permite medir la variabilidad en cada una de las fuentes de variación, incluso, desdoblar los factores entre sí; de esta manera determinamos el nivel de significancia dentro de los mismos factores, permitiendo aceptar o rechazar la hipótesis planteada al inicio de la investigación.

Pocas veces, el trabajo del investigador se circunscribe a estudiar dos factores a la vez. Con el objeto de ganar espacio, esfuerzo y para aumentar la precisión del experimento, generalmente se ensayan varios factores, incluyendo algunos niveles dentro de cada factor.

Una vez perfeccionada la toma de valores dentro de un experimento, el investigador puede observar las medias de tratamientos y pensar que el proceso A, es superior al proceso B. Supongamos, por ejemplo, que, en un

ensayo de aplicación de cal a parcelas de alfalfa, se ha observado que el testigo rindió ocho toneladas de forraje; con dos toneladas de cal, se cosechó 12 toneladas de forraje y, con cuatro toneladas de cal, el rendimiento fue de 14 toneladas de forraje. ¿Sería posible determinar, por simple observación de estos valores, que existen diferencias significativas entre tratamientos? Diferencias en rendimiento que justifiquen económicamente aplicar dos o cuatro toneladas de cal por hectárea? Obviamente, la respuesta es negativa. Debemos recurrir al análisis estadístico de los datos y sobre la base de sus resultados, establecer si podemos aceptar o rechazar la hipótesis nula de que no existen diferencias entre tratamientos.

Este análisis estadístico es lo que se llama análisis de varianza (ADEVA), que fue introducido por Sir Ronald Fisher y es, en esencia, un procedimiento matemático que consiste en desdoblar una suma de cuadrados total (variación total) dentro de las fuentes de variación reconocidas, incluyendo la variación que no se ha podido medir, fuente de variación a la que se conoce como **residuo, resto** o **error experimental**.

En un diseño de bloques completos al azar, la fuente de variación total se desdobla en aquella proveniente de la agrupación de los tratamientos en bloques o repeticiones; variación causada por los tratamientos; y la variación inherente al material experimental, así como la originada por el ambiente heterogéneo en que se llevó a cabo el ensayo. Como se anotó anteriormente, a esta fuente no controlable se le conoce como error experimental.

El ADEVA es utilizado en todos los campos de la investigación cuando los datos son medidos cuantitativamente, es decir, cuando las observaciones se hallan en forma de números. Su uso ha significado una gran expansión para el diseño experimental. Como veremos adelante, cada diseño tiene su propio ADEVA.

Las teorías básicas del ADEVA, a partir del cual se verificarán las pruebas de significancia, son:

- Los efectos de los tratamientos y ambientes son aditivos.
- El error experimental constituye un elemento al azar estándar e independientemente distribuido con media cero y varianza común.

Grados de libertad

Antes de presentar el primer tipo de diseño, conviene explicar lo que representa este literal. Se llama *grados de libertad* al número de comparaciones ortogonales que puede realizarse en un juego de datos. En general, se dice que es el número de comparaciones independientes, menos el número de restricciones impuestas, que se puede hacer en un grupo de datos.

Si suponemos que el rendimiento de cinco variedades de un cultivo, es de 15, 16, 17, 18 y 19, la media es 17; las desviaciones de los números con respecto a su media, serían uno.

Es decir que, en esta muestra formada por cinco datos, uno queda fijo, porque la media ha sido usada como origen para las desviaciones. Entonces quedan cuatro valores que pueden ser comparados en forma independiente con la media.

O sea que, en general, el número de grados de libertad de una muestra de datos está dado por $n - 1$, el total de observaciones menos uno. La varianza de la muestra está dada por:

$$s = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}$$

$$s^2 = \frac{\text{Suma de cuadrados corregidos}}{\text{Grados de libertad}}$$

La varianza, o cuadrado medio, es el cociente que resulta de dividir la suma de cuadrados (SC) para el número de grados de libertad. Dentro del ADEVA y para obtener el valor de **Fisher**, que es la relación que existe entre el cuadrado medio (CM) de los tratamientos sobre el cuadrado medio del error. Al comparar el valor de Fisher calculado con el valor de Fisher tabular, para el número de grados de libertad de tratamientos y del error, podemos establecer si existe significación o no habrá significancia, en caso de que el valor de Fisher calculado sea mayor que el tabular al nivel de significancia escogido (5% o 1%). Cuando el valor de Fisher calcula-

do es mayor que el Fisher tabular, podemos rechazar la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre tratamientos y aceptamos la hipótesis alternativa. En este último caso, el siguiente paso sería efectuar separación de medias de los tratamientos, con el fin de conocer los rangos dentro de los que hay medias que difieren o no entre sí.

Volvemos a enfatizar sobre los criterios para aceptar o rechazar las hipótesis así como para confirmar interpretaciones que son por demás importantes en la interpretación de los resultados.

- Si Fisher calculado es $<$ Fisher teórico al 5% y al 1%, se rechaza la hipótesis alternativa y se dice que no existe diferencia significativa; por tanto la hipótesis nula sigue en vigencia.
- Si Fisher calculado es $>$ Fisher teórico al 5% y $<$ al 1%, se acepta la hipótesis alternativa con una diferencia significativa cuando $P < 0,05$, representando con un asterisco (*) y se rechaza la hipótesis nula, quedando las medias de los tratamientos pendientes de ser evaluados y determinar el mejor estadísticamente, de acuerdo a una separación de medias según la prueba que más convenga.
- Si Fisher calculado es $>$ a Fisher teórico al 5% y al 1%, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa y se manifiesta que existe una diferencia altamente significativa para los tratamientos en estudio; de esta manera sería ineludible realizar la separación de medias.

Transformaciones

Una de las suposiciones básicas para el uso del error combinado en el ADEVA es que los errores de las variables son independientes y normalmente distribuidos con la misma varianza (González, 1985).

Hay ocasiones en que esto no sucede; en entomología, por ejemplo, las parcelas tratadas con insecticidas van a presentar un amplio rango en la cantidad de insectos o en cuanto al daño producido por ellos. En este caso, las suposiciones de independencia y normalidad no se cumplen. Para poder usar el ADEVA, hay que transformar los datos, en cuyo caso, la prueba de F es mucho más sensitiva para detectar diferencias reales entre tratamientos. En todo caso, se trata de controlar la heterogeneidad del error llamada heterocedasticidad.

En los ejemplos mencionados, existen dependencias entre medias de tratamientos y sus varianzas. Al transformar los datos, se puede contar con poblaciones homogéneas.

Cuando el análisis estadístico de los datos originarios da un coeficiente de variación muy alto, o si se aprecia que los datos tienen un rango amplio, es conveniente graficarlos –dentro de ejes de coordenadas– a fin de tratar de establecer a qué tipo de distribución se ajustan. Si queda descartada la distribución normal, y parece más bien que se trata de una distribución binomial o de Poisson, es conveniente usar los tres tipos de transformaciones que se mencionan y optar por aquellas con un coeficiente de variación más bajo. En condiciones donde los CV son altos, se precisa aplicar transformación de los datos antes de procesar el ADEVA.

Transformación a la raíz cuadrada (\sqrt{X})

Cuando los datos son número enteros pequeños –contaje de número de insectos o huevos de insectos en el área dada, unidades formadoras de colonias, etc.–, los datos siguen generalmente la distribución de Poisson, en cuyo caso se debe transformarlos.

El procedimiento para transformar los datos consiste en extraer la raíz cuadrada de cada observación antes de proceder con el ADEVA. Para valores muy pequeños, se codifica, añadiendo a cada observación 0,5.

$$(\sqrt{X + 0,5})$$

Se recomienda este tipo de transformación cuando las observaciones están expresadas en porcentajes y estos van desde 0 a 20 o de 80 a 100. Si el rango de observaciones va desde 30 a 70, generalmente no es necesario transformar los datos.

Transformación logarítmica

Los efectos multiplicativos en la escala original se convierten en aditivos en la escala logarítmica. Para cantidades cero, se añade 1 (uno) a cada observación y, en lugar de logaritmo x , se toma el $\log. (x + 1)$.

Cuando las varianzas son proporcionales al cuadrado de las medias, la transformación logarítmica iguala las varianzas. Se usa este tipo de transformaciones cuando son números positivos que tienen un rango amplio.

Generalmente la transformación logarítmica compagina con valores de variables paramétricas o asociadas a mediciones instrumentales (longitud, volumen, económicas, etc.).

Transformación arco - seno (θ)

Aplicable para distribución binomial, en la que los datos están expresados como fracciones o porcentajes, en especial cuando estos presentan un rango amplio. Después del ADEVA, se debe interpretar y comparar los datos transformados, pero no se puede reconvertir a las unidades originales.

En una publicación en la que se presente los resultados de un ensayo, se debe presentar los datos originales, explicando que, para sus análisis, han

sido transformados. Puede también presentarse los datos transformados, con la observación típica de los mismos.

Se puede recordar que la varianza de los datos viene dada por \sqrt{Npq} , o lo que es igual $\sqrt{p(1-p)N}$. La transformación de arco-seno de las proporciones observadas presenta una varianza aproximadamente constante, a menos que $Np < 0,8$. La transformación puede obtenerse usando la tabla de funciones de una proporción p para los valores tabulares que están en radianes (1 radian = $180^\circ / 3,1416$), unidad de medida de ángulos, y la varianza de las medias transformadas es aproximadamente

$$x = \frac{1}{\left(N + \frac{1}{2}\right)}$$

La fórmula para la transformación es:

$$\varphi = \text{arco.seno} \sqrt{\frac{x}{(N+1)}} + \text{arco.seno} \sqrt{\frac{(X+1)}{(N+1)}}$$

$$\varphi = \text{arco.seno} \sqrt{x}$$

La segunda alternativa es la más usual; en este caso, las observaciones transformadas resultan aproximadamente normales.

CAPÍTULO III. SEPARACIÓN DE MEDIAS

*La Fe es creer lo que no vemos
y la recompensa es ver lo que creemos.*
(SAN AGUSTÍN)

SEPARACIÓN DE MEDIAS

Comparación entre medias de tratamientos

Mediante la prueba Fisher en el ADEVA, se comprueba las diferencias entre tratamientos; cuando se acepta la hipótesis nula, parecería innecesario plantearse más preguntas. Sin embargo, considerar el conjunto de tratamientos en el experimento agropecuario hace pensar que esta es una simplificación exagerada. A través de la inferencia estadística, se debe recurrir a la comparación entre medias de tratamientos (Stihl y Torrie, 1988).

En una investigación, no basta comprobar hipótesis; es necesario realizar comparación entre medias de los tratamientos con la finalidad de conocer cuál de las alternativas dio mejor resultado; esto quiere decir, cuando determinamos mediante el ADEVA diferencias significativas, necesariamente tenemos que realizar la comparación o separación de medias, con la finalidad de distinguir el tratamiento que mejor impacto ha generado sobre las unidades experimentales. Una cuidadosa consideración de los siguientes principios para decidir sobre los tratamientos puede ayudarnos a seleccionar un plan para la separación de medias. La prueba t de Student permite comparaciones de dos medias de tratamientos. Esto desprende claramente de la relación

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{\bar{d}}}$$

La separación de medias es aplicable y necesaria también en arreglos factoriales cuando se consideran más de un factor en estudio.

En una investigación, necesariamente planteamos varias alternativas con la finalidad de identificar el mejor nivel o mejor producto, según sea el caso; por ejemplo, utilizamos diferentes niveles de pasta de higuera en la alimentación de conejos, incluido el testigo al cual se le proporcionará alimento balanceado, pero sin incluir esta materia prima no tradicional.

Cuando existen varios factores de estudio en un experimento, la comparación entre tratamientos en forma separada puede ser un trabajo no satisfactorio y extenso. En el presente documento se presentan algunas comparaciones entre tratamientos, las que tienen como base un principio similar y difieren el grado de estrictez, en cuanto a declarar diferencias significativas entre medias de tratamientos. Es preciso ordenar las medias de mayor a menor, para aplicar una de las pruebas de separación de medias de entre las más comúnmente usadas, en la siguiente forma: diferencia mínima significativa (DMS), rango múltiple de Duncan, Tukey, Scheffé, Dunnet y/o contrastes ortogonales, entre otras muy aprovechables.

Prueba de la diferencia mínima significativa (DMS)

La prueba DMS es la más fácil de calcular y, probablemente, la más usada para comparar pares de medias de tratamientos. Esta prueba no debe utilizarse a menos que la prueba F sea significativa (Little y Hill, 1976). Estrictamente hablando, la DMS solo debe emplearse para comparar medias adyacentes en un arreglo ordenado. Cuando se usa esta indiscriminadamente para probar todas las posibles diferencias entre diversas medias, ciertas diferencias serán significativas, pero no en nivel significativo que hemos escogido. Se puede utilizar en medias adyacentes y se puede comparar el tratamiento alternativo *vs.* el estándar o control, pues su fundamento es la aplicación con comparaciones respecto al testigo.

$$DMS = t_{(gl.error)} S_{\bar{d}} ;$$

donde

t : valor t-Student según el número de grados de libertad del error en el ADEVA y al nivel de significancia del ADEVA

$S_{\bar{d}}$: desviación típica entre medias de tratamientos

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2CM_{(error)}}{r}}$$

$$DMS = t_{(gl.error)} \sqrt{\frac{2CM_{(error)}}{r}}$$

Cuando se realiza dos comparaciones y asoman las medias una sola vez, se diría que tales comparaciones son independientes u ortogonales; si quisiera comparar con cualquier otra media, se rompería la ortogonalidad (independencia), que es una suposición básica para el uso del DMS. Sin embargo, esto no quiere decir que no se debe hacer tal comparación: como se verá más adelante, si la comparación ha sido planeada antes de iniciar el experimento y el investigador cree que existe una buena razón para hacerla, se puede usar la DMS en forma válida.

Con las medias de los tratamientos, se debe hacer lo siguiente:

$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - \bar{x}_3 - \bar{x}_4$ para la condición de ortogonalidad

$\bar{X}_4 - \bar{X}_1 = d \leq 0 >$ DECISIÓN ESTADÍSTICA
 $\bar{X}_4 - \bar{X}_2 = d \leq 0 >$ DECISIÓN ESTADÍSTICA
 $\bar{X}_4 - \bar{X}_3 = d \leq 0 >$ DECISIÓN ESTADÍSTICA
 $\bar{X}_3 - \bar{X}_1 = d \leq 0 >$ DECISIÓN ESTADÍSTICA
 $\bar{X}_3 - \bar{X}_2 = d \leq 0 >$ DECISIÓN ESTADÍSTICA
 $\bar{X}_2 - \bar{X}_1 = d \leq 0 >$ DECISIÓN ESTADÍSTICA

\bar{d} : valor de la diferencias entre las medias consideradas

Una vez procesada la información y como ejemplo, observamos que existen diferencias entre estas comparaciones y sobrepasan el valor de DMS

teórico al nivel de 5% o 1%, declaramos que las diferencias son significativas o altamente significativas.

Desventajas del uso del DMS (González, 1985)

- La DMS no toma en consideración el número de tratamientos dentro de un experimento; es decir, no ofrece protección cuando el número de medias aumenta a partir de dos. En este caso, no puede darse la situación de que demasiadas medias aparecen como significativas, razón por la que se considera a la DMS como una prueba poco liberal; la DMS da pruebas correctas cuando se compara dos medias de tratamientos.
- No se debe usar la DMS a menos que el valor de F del ADEVA dé un valor significativo.
- Al usar esta prueba, la probabilidad de cometer un error de tipo I en comparaciones individuales aumenta.
- Cuando se hacen comparaciones no ortogonales, puede concluirse erróneamente que hay mayor cantidad de información de la que realmente existe.

Ventajas del uso de la DMS

- Es un valor fácil de calcular y de simple utilización.
- La prueba es válida cuando se hacen comparaciones planeadas de antemano, comparaciones que se identifican con los objetivos del experimento.
- La DMS da resultados satisfactorios cuando se compara cada una de las medias con el testigo:

$$\bar{x}_1 \text{ vs. } \bar{x}_2; \bar{x}_3; \bar{x}_4; \bar{x}_5; \dots; \bar{x}_n$$

Prueba del rango múltiple de Duncan (RMD)

En 1955, Duncan desarrolló una nueva prueba de amplitud múltiple, que, aunque no es tan potente como la S-N-K, tiene la ventaja de su sencillez (Stihll y Torrie, 1988).

Una de las ventajas de la presente prueba consiste en el hecho de que no necesita que el valor de F sea significativo para poder usarla. Es una prueba más estricta que la DMS. De esta manera, permite comparar todas las medias entre sí, sin restricciones. Si consideramos que existen seis medias de tratamientos (González, 1985), es posible efectuar $6(6 - 1)/2$ comparaciones.

La prueba incluye el cálculo de las diferencias significativas mínimas (Little y Hill, 1976) para todas las posiciones relativas posibles entre las medias de los tratamientos cuando estas se encuentran dispuestas en orden de magnitud.

Para aplicar la prueba, se procede de la siguiente forma:

- Calcular el valor $S_{\bar{X}}$

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{2CM_{(\text{error})}}{r}}$$

- Multiplicar el valor $S_{\bar{X}}$ tratamientos existentes y los grados de libertad del error $RMS = RMD_{\text{teórico}} * S_{\bar{X}}$.
- Colocar las medias en orden, de menor a mayor.
- Comparaciones entre medias: teóricamente, se resta el valor mayor del valor más pequeño; si su diferencia es mayor que el valor de RMS para cinco medias, se le declara significativo; luego, se resta el segundo valor más pequeño del más grande y, si su valor es mayor que el de RMS para cuatro medias, se le considera significativo; en este perfil se sigue

hasta restar el segundo valor más grande del más pequeño, es decir:

$$\begin{aligned}\bar{x}_1. - \bar{x}_5 &> RMS \text{ Significativo} \\ \bar{x}_1. - \bar{x}_4 &> RMS \text{ Significativo} \\ \bar{x}_1. - \bar{x}_3 &> RMS \text{ Significativo} \\ \bar{x}_1. - \bar{x}_2 &< RMS \text{ No Significativo}\end{aligned}$$

En la vida práctica, se debe economizar el tiempo; por tal razón, cuando el número de medias de los tratamientos es grande, se comienza por el valor teórico al 5% o 1% según el número de restando de la media mayor, el valor de RMS para cinco medias como sigue a continuación:

$\bar{x}_5 - RMS$: se ubica el valor de esta diferencia entre dos medias y se asigna la letra a por delante del valor de la diferencia hasta la media con la que se obtuvo esa diferencia (\bar{x}_5). Mediante este proceso, continuamos con las demás medias y los correspondientes valores RMS.

Consideración 1: si el valor de la diferencia, vuelve a ubicarse en el lugar en que la diferencia anterior se ubicó, no se asigna otra letra del alfabeto.

Consideración 2: si el valor de la diferencia se ubica por debajo del valor de la media de valor más bajo, todas las medias recibirán el rango o letra que, por secuencia, debe asignarse siempre hasta el valor de la media con la que se calculó la diferencia $\bar{x}_i - RMS$.

Consideración 3: cada valor de la media tiene un correspondiente valor de RMS.

De otra manera, el valor calculado de $\bar{x}_i - RMS$, nos permite conocer el rango que abarca un grupo de medias y se asigna una letra, por la que se dice que se integran un grupo de medias en la cual no existen diferencias significativas, sin embargo, puede ser que existan valores que queden fuera

del grupo y se les asigne otra letra de la cual se diferenciarán significativamente; estas comparaciones pueden agrupar a las medias de los tratamientos en rangos, los mismos que pueden compartir un promedio; sin embargo, con alguna de las medias de los tratamientos puede diferenciar estadísticamente; pero esto no es una regla. Esto depende de la naturaleza de los datos. Los mismos permiten agrupar o separar de ellos a las medias de los tratamientos.

Prueba de Duncan modificada o Waller Duncan

El interés de Duncan en procedimientos de comparaciones múltiples ha continuado con varios enfoques. La prueba en esta sección es la que se espera que reemplace a otra usada por pares de comparaciones. Una presentación completa de este procedimiento y solución exige esfuerzo considerable, así que solo podemos dar un tratamiento somero. Se puede calcular estimaciones de intervalos (Stihl y Torrie, 1988).

Ante todo, no intervienen los niveles de significancia; en lugar de esto, se escoge la gravedad del error o peso de error tipo I o tipo II. Esto es difícil para muchos; se nos aconseja que razones de 50:1, 100:1 y 500:1, pueden considerarse en sentido amplio, en vez de $\alpha = 0,10, 0,05$ y $0,01$. Como se puede observar en el apéndice 11, en el cual contiene t de riesgo promedio mínimo para $k = 100$.

Prueba de Tukey (Q)

Esta prueba es similar a la DMS en cuanto se refiere a que es necesario un solo valor para determinar la significación de las diferencias. Es una prueba de gran adaptabilidad y superior a la DMS.

La prueba consiste en calcular el valor D (González, 2010), que es el producto de S_x y un factor Q, tomado del apéndice 5, rangos mínimos, para el 5% y 1% de probabilidades y de acuerdo a los grados de libertad del error y del número de tratamientos que se encuentren en estudio.

$$D = Q_{(gl,error)} S_{\bar{X}}$$

D es el valor calculado que nos sirve para comparar, ya sea determinando el límite inferior del grupo de tratamientos que abarca o comparando entre el **D** calculado y la diferencia entre las medias mayor y menor.

De esta manera se puede determinar así:

Media mayor del tratamiento – media menor de otro tratamiento >
D significativo

Media mayor del tratamiento – media menor de otro tratamiento <
D no significativo

Caso contrario puede aplicarse la misma metodología que se cita en la prueba de Duncan, utilizando la media aritmética menos el valor de mínimo de significancia **D** de la prueba para identificar los rangos.

Esto lo veremos en la práctica en el capítulo de desarrollo de los experimentos, para mayor comprensión.

En experimentos factoriales, se han tomado en consideración ciertas medidas, para determinar el promedio y las comparaciones respectivamente, para lo cual se han utilizado las siguientes ecuaciones como herramientas.

En caso de un experimento trifactorial se puede calcular los promedios de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{\sum x \dots \dots}{abc}$$

$$\bar{x}_A = \frac{\sum x_A}{bcr}$$

$$S_{\bar{x}_A} = \sqrt{\frac{S^2 \text{Error}}{bcr}}$$

$$\bar{x}_B = \frac{\sum x_B}{acr}$$

$$S_{\bar{x}_B} = \sqrt{\frac{S^2 \text{Error}}{acr}}$$

$$\begin{aligned} \bar{x}_c &= \frac{\sum x_C}{abr} & S\bar{x}_C &= \sqrt{\frac{S^2\text{Error}}{abr}} \\ \bar{x}_{AB} &= \frac{\sum x_{AB}}{cr} & S\bar{x}_{AB} &= \sqrt{\frac{S^2\text{Error}}{cr}} \\ \bar{x}_{AC} &= \frac{\sum x_{AC}}{br} & S\bar{x}_{AC} &= \sqrt{\frac{S^2\text{Error}}{br}} \\ \bar{x}_{BC} &= \frac{\sum x_{BC}}{ar} & S\bar{x}_{BC} &= \sqrt{\frac{S^2\text{Error}}{ar}} \\ \bar{x}_{ABC} &= \frac{\sum x_{ABC}}{r} & S\bar{x}_{ABC} &= \sqrt{\frac{S^2\text{Error}}{r}} \end{aligned}$$

Para la comparación de medias, de la misma manera se considera el cuadrado medio del error, el mismo que nos permite calcular el error estándar acorde a la necesidad, como se observa en las fórmulas anteriormente expresadas.

Prueba de Scheffé (Sh)

El método Scheffé asume que todas las posibles comparaciones pueden probarse en cuanto a significancia o bien pueden contribuirse intervalos de confianza para las correspondientes funciones lineales de parámetros. Esto quiere decir que son permisibles infinito número de pruebas simultáneas, aunque solo se lleve a cabo un número finito, lo que da como resultado una tasa de error no mayor que la planeada.

Esta es una forma de separar las medias de los tratamientos para lo cual se utiliza Fisher teórico sobre la base de los grados de libertad del error, los factores de estudio y el error diferencial.

A esta prueba se representa con la letra S que significa Scheffé y nos permite obtener un valor que hace referencia a determinar los límites y agrupar las medias de tratamientos en función de una probabilidad de aceptación.

$$S_h = F_o S_d \quad , \text{ donde:}$$

$$F_o = \sqrt{F_\alpha (t - 1)}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{CM_{(\text{error})}}{r}}$$

El valor F que se enuncia en la fórmula F_o es un valor teórico que se obtiene en las tablas de referencia tanto para el error como para el número de tratamientos en estudio, *según el número de gl del error*. Resulta ser el mismo valor que se utiliza en el sumario del ADEVA a cualquiera de los niveles de significancia $P < 0,05$ o $P < 0,01$.

El valor calculado de Scheffé es el límite que se toma en consideración como límite para agrupar los tratamientos y los que quedan fuera de este límite pertenecen a otro grupo; por consiguiente, son diferentes al grupo y tienen un nivel de significancia a una probabilidad establecida, ya sea al 5% o 1%.

El mecanismo de ordenamiento de medias de la menor a la mayor y la asignación de rangos (letras) que se hizo en Duncan puede aplicarse también para esta prueba, teniendo en cuenta que como DMS y Tukey, solo hay un valor de la mínima diferencia de Sheffé para identificar estas diferencias.

Prueba de Dunnett (ALS)

Eizaguirre (2004) reporta que la prueba de Dunnett es utilizada cuando se tiene que comparar los tratamientos alternativos frente al trata-

miento estándar. En esta prueba, el error es familiar. Los supuestos para la realización de esta prueba son:

- Varianzas homogéneas
- Las muestras son extraídas al azar

La amplitud límite significativa de Dunnett se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$ALS(D_n) = t(D_n)S_d$$

- $t(D_n)$: valor teórico para la prueba, obtenido desde la tabla de Dunnett con α = nivel de significancia, p = número de tratamientos del experimento sin incluir el control y los grados de libertad del error experimental.
- El error diferencial es la desviación estándar de la diferencia de las medias muestrales del tratamiento testigo y el tratamiento i para la prueba de Dunnett cuando los tratamientos tienen un mismo número de repeticiones.

Si los tratamientos no tienen el mismo número de repeticiones, entonces la desviación estándar de la diferencia entre medias puede calcularse de la siguiente manera:

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{CM_{\text{Error}} \left(\frac{1}{r_t} + \frac{1}{r_i} \right)}$$

Si la diferencia entre las medias de los tratamientos es mayor que la amplitud límite significativa de Dunnett ALS (D_n) se rechaza la hipótesis nula. Esta prueba es importante desde el punto de vista de que cada tratamiento alternativo se contrasta con el testigo. Otra de las oportunidades para decidir por este tipo de análisis está relacionada únicamente en experimentos que incluyan un testigo.

Comparaciones ortogonales

Las comparaciones ortogonales no son sino la contrastación entre tratamientos y determinar el nivel de significancia entre estos, para lo cual tomamos la decisión a través de probabilidades o Fisher calculado y teórico, lo que significa que tenemos que incluir en el ADEVA, como fuente de variación, el desglose de tratamientos. El propósito de esta comparación es determinar la eficiencia de un tratamiento en una investigación; además, dar cumplimiento o equivalencia al grado de libertad de los tratamientos.

Las comparaciones ortogonales se deben realizar en experimentos simples o factoriales cuando integramos como fuente de comparación a los testigos o tratamiento control. Esto significa que, cuando incluimos un testigo frente a determinados tratamientos, no necesitamos explicar como análisis funcional las comparaciones ortogonales, ya que está implícito este término.

Mediante el cálculo de las comparaciones ortogonales como fuente de variación, incluimos los grados de libertad y la suma de cuadrados y, por ende, el cuadrado medio que su sumatoria será igual a la de los tratamientos como apreciaremos de mejor manera en la aplicación metodológica.

Los contrastes que se incluyen como fuente de variación tiene su forma de cálculo; de esta manera, vamos a especificar a continuación:

- En primera instancia, se debe ordenar la información conforme las necesidades planteadas en la investigación.
- Al mencionar que van a comparar el testigo frente al resto de tratamientos alternativos, colocamos el número de tratamientos alternos con el signo negativo al control y, por el resto de tratamientos, el valor unitario positivo.
- Este valor de contraste lo multiplicamos por el valor de la sumatoria de cada tratamiento.
- La sumatoria del producto contraste por suma de tratamientos, lo elevamos al cuadrado.
- Elevamos al cuadrado cada contraste.
- Sumamos los valores elevados al cuadrado.

- Este valor al cuadrado lo multiplicamos por el número de repeticiones.
- Dividimos la sumatoria de tratamientos elevados al cuadrado sobre la sumatoria del producto contraste al cuadrado por el número de repeticiones.

$$SC_{T_0(VS)T_{\text{Alternativo}}} = \frac{(-t * \Sigma T_0 + \dots + n * \Sigma T_n)^2}{(-t) + \dots + (+1)r}$$

Para determinar si es significativo, este valor va a representar al cuadrado medio de cada contraste, para posteriormente relacionar con el error experimental y comparar con el Fisher teórico al 1% o 5%, independientemente de cada comparación.

Con este cálculo no necesitamos realizar otra prueba de separación de medias y se puede explicar directamente con el ADEVA y en cuadro de resultados.

Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento científico en las ciencias agropecuarias corresponde a la obra matemático-estadística de la que todo estudiante, y profesional o investigador debe disponer en su biblioteca, y principalmente en su acervo de conocimientos, para facilitar los procesos de indagación y auscultamiento que ameriten la formulación y dócima de hipótesis en el sustento de nuevos conocimientos o nuevas ideas, de una manera sencilla y práctica.

Luis Alfonso Condo Plaza, nacido en Chillanes, provincia de Bolívar (Ecuador), el 15 noviembre de 1968, es un apasionado de las ciencias exactas, particularmente del Diseño Experimental. Su inspiración se fundamenta en la formación de Ingeniero Zootecnista, magíster en Proyectos Productivos y Sociales, especialista en Economía y Administración Agrícola, y la formación en el Doctorado en Ciencia Animal, y la demanda de esta herramienta en distintas universidades del país. El interés por desarrollar y publicar este libro se basa en el dominio absoluto y el desdoblamiento de la varianza en los experimentos no tradicionales; particularidad que compartió a través de cursos y conferencias y que fue acogida por José María Pazmiño Guadalupe, quien apoyó con sus conocimientos y experiencias para el progreso de nuestros pueblos.

José María Pazmiño Guadalupe, oriundo de Riobamba, provincia de Chimborazo (Ecuador), el 11 de enero de 1954, Ingeniero Zootecnista y Maestro en Ciencia Animal, se formó en la Politécnica de Chimborazo, y con una Especialización en la FLACSO. Participó en diferentes universidades extranjeras en: Colombia, Estados Unidos, Cuba y Perú. Su trayectoria profesional data desde 1984 en calidad de investigador analista, docente, biometrista de tesis de pre y posgrado en varias universidades del país y de la FCP de la ESPOCH. La idea propuesta por Luis Alfonso Condo Plaza de elaborar y publicar fue acogida con responsabilidad y sinceridad, para que la generación del conocimiento sea fructífera en beneficio de la sociedad.

ISBN: 978-9942-21-569-7



9 789942 215697

