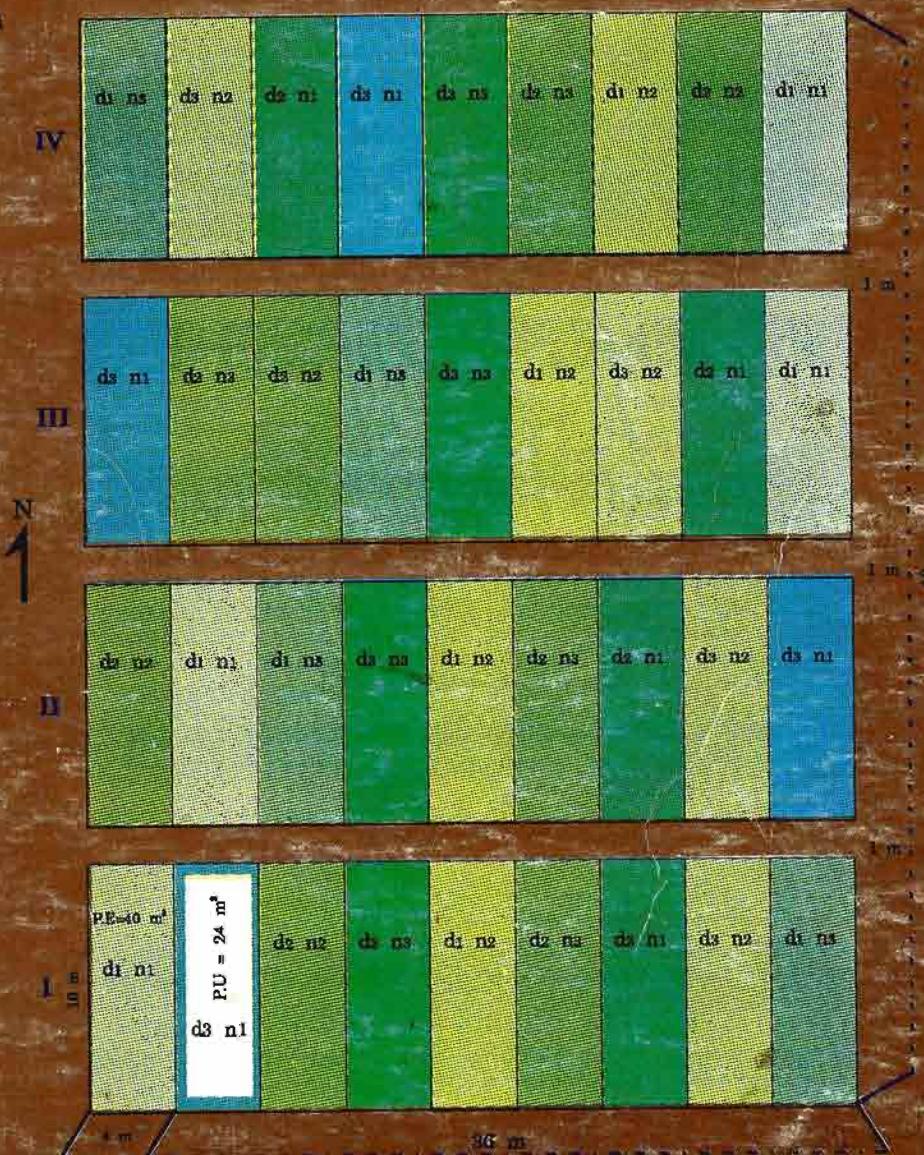




CENTRO DE ESTUDIOS DE ECODESARROLLO
PARA EL TROPICO

FUNDAMENTOS DE EXPERIMENTACION AGRICOLA

Henry Pedroza



$$\Sigma Y_{i..}^2 / br - F.C.$$

Managua, Nicaragua
Junio, 1993

CECOTROPIC, es una asociación civil, sin fines de lucro, de utilidad pública y duración indefinida, con personalidad jurídica reconocida.

CECOTROPIC promueve eventos científico-técnicos: seminarios, cursos y demás encuentros para apoyar la capacitación, investigación y transferencia de tecnología apropiada, impulsando modelos de desarrollo autosostenibles que garanticen la vida del nicaragüense en armonía con el medio ambiente.

CECOTROPIC tiene como objetivo promover el desarrollo socio-económico, mediante un enfoque alternativo que integre los aspectos de desarrollo y medio ambiente, esto es basado en los conceptos de sostenibilidad, autogestión e interdependencia.

Entre sus actividades principales **CECOTROPIC**:

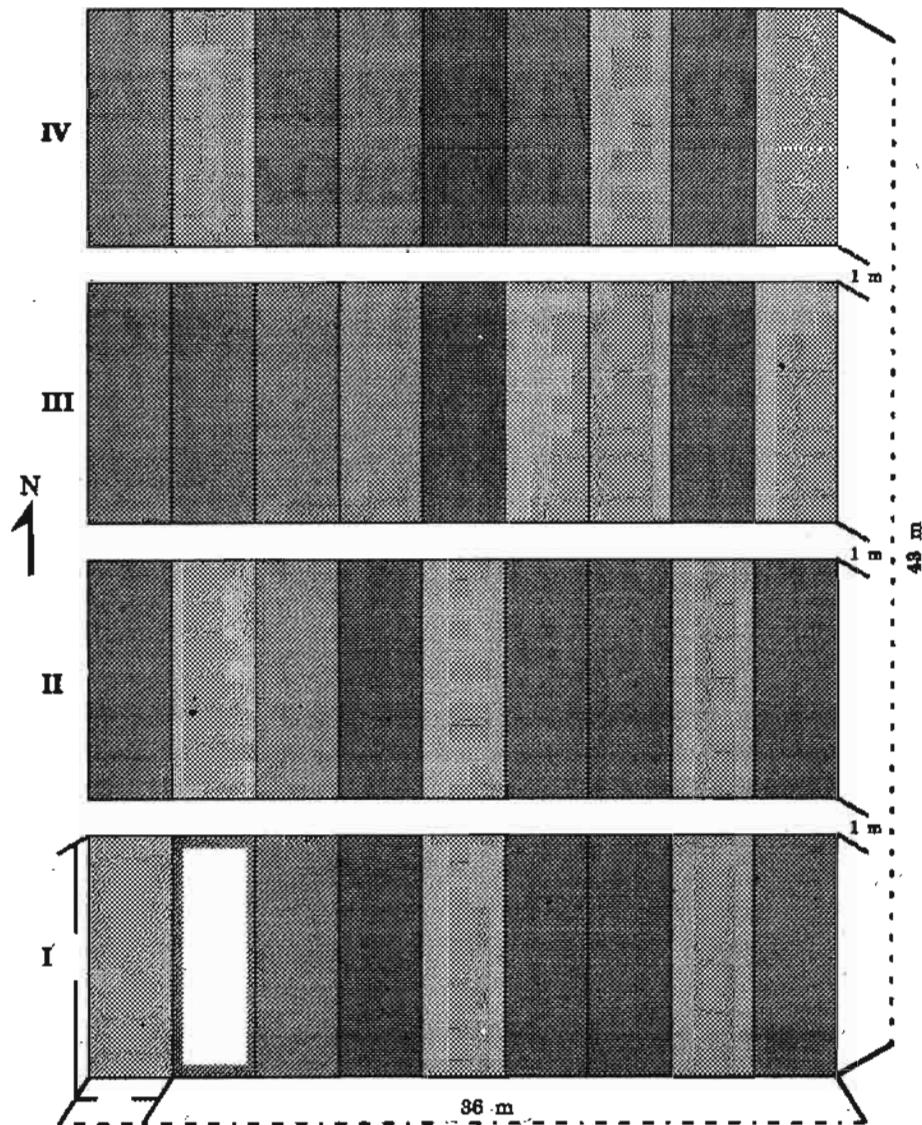
- * Genera y divulga conocimientos.
- * Rescata, valida y transfiere tecnología apropiada.
- * Organiza y capacita a profesionales, técnicos y a grupos que participan en desarrollo comunal.
- * Efectúa estudios, elabora y evalúa proyectos de:
 - Impacto Ambiental
 - Agrosocioeconomía
 - Manejo y Economía Forestal
 - Agroforestería
 - Silvicultura
 - Desarrollo municipal
 - Ecodesarrollo
 - Agrosilvopastura
- * Brinda asesoría en:
 - Producción artesanal de semilla.
 - Manejo Integrado de Plagas.
 - Conservación del Medio Ambiente
 - Conservación de suelo.
 - Labranza cero.
- * Edita, publica y reproduce bibliografía científico-técnica.

FUNDAMENTOS DE EXPERIMENTACION AGRICOLA / HENRY PEDROZA



CENTRO DE ESTUDIOS DE ECODESARROLLO
PARA EL TROPICO

FUNDAMENTOS DE EXPERIMENTACION AGRICOLA



$$\Sigma Y_{i..}^2 / br - F.C.$$

Managua, Nicaragua
Junio, 1993

N
630.7
P372

Pedroza, Henry

Fundamentos de experimentación agrícola / Henry Pedroza.-- Managua: Editora de Arte, 1993. 264 páginas.

1. AGRICULTURA-ENSEÑANZA.
 2. EXPERIMENTACION EN AGRICULTURA - LIBROS DE TEXTO.
 3. EXPERIMENTOS DE CAMPO (AGRICULTURA) - NICARAGUA.
 4. ENSEÑANZA PROFESIONAL. I.:

© Pedroza, Henry

© Centro de Estudio de Ecodesarrollo para el Trópico (CECOTROPIC)

Derechos reservados conforme a la ley

Esta publicación puede ser citada o reproducida, parcialmente, con fines educativos y científicos, o con propósitos no lucrativos, sin que se requiera la autorización especial de quien sustenta los derechos, y siempre que se otorgue el crédito correspondiente. Cualquier reproducción total o parcial con otros fines requerirá de la autorización explícita de **CECOTROPIC**.

Diagramación y diseño: Henry Pedroza

Diseño de portada: Henry Pedroza

Producción técnica: Editora de Arte, S.A. (EDITARTE)

Edición al cuidado de: Ing. Bayardo Serrano
Ing. Néstor Alvarado

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
CAPITULO 1. LOGICA, INVESTIGACION Y EXPERIMENTO.	
1.1. Observación y Experimento.	1
1.1.1. Observación.	1
1.1.2. Experimento.	2
1.1.3. Tipos de experimentos.	2
1.2. Desarrollo Contemporáneo de la Investigación Científica.	3
1.3. El Diseño de Experimentos en la Investigación Científica.	7
1.3.1. El Método Científico.	8
1.3.2. De la identificación del problema hasta su solución.	9
CAPITULO 2. PRINCIPIOS GENERALES DE EXPERIMENTACION AGRICOLA.	
2.1. Concepto de Error Experimental.....	14
2.1.1. Fuentes del Error Experimental.	15
2.1.2. Como reducir el Error Experimental.	16
2.2. Porqué los Métodos Estadísticos son necesarios en la Experimentación Agrícola ?	16
2.3. Hipótesis y Prueba de Significancia Estadística	18
2.4. Principios Básicos del Diseño Experimental.	21
2.4.1. Repetición.	21
2.4.2. Aleatorización o Azarización.	22
2.4.3. Control Local.	22
2.5. Concepto, Objetivo e Importancia de la Experimentación Agrícola..	24
2.5.1. Qué es la Experimentación Agrícola ?.	24
2.5.2. Objetivo de la Experimentación Agrícola.	24
2.5.3. Importancia de la Experimentación Agrícola.	25
2.6. Relación de la Experimentación Agrícola con las diferentes ramas de la Agronomía.	25
2.7. Premisas fundamentales al realizar el trabajo experimental.	26

2.7.1.	Relación estrecha entre el trabajo experimental y la producción.	26
2.7.2.	Conocimiento y utilización del método dialéctico materialista.	26
2.7.3.	Correcta interpretación de la relación entre el organismo y el medio ambiente.	26
2.7.4.	Presencia de conocimientos técnicos amplios y profundos en la especialidad	27
2.7.5.	Ánalisis de los factores desde todos los puntos de vista.	27
2.8.	Exigencias fundamentales al realizar un experimento de campo.	27
2.8.1.	Tipicidad (representatividad).	27
2.8.2.	Disminución del error sistemático (Uniformidad).	28
2.8.3.	Grado de precisión experimental.	29
2.8.4.	Control efectivo de las medidas y observaciones.	29
2.8.5.	Rango de validez de las conclusiones.	30
2.9.	Clasificación de los experimentos de campo.	30
2.9.1.	De acuerdo al lugar en que se desarrollan los experimentos. ..	30
2.9.2.	De acuerdo a su finalidad u objetivo.	30
2.9.3.	De acuerdo a su Rotación.	31
2.9.4.	De acuerdo al tamaño de la parcela.	31
2.9.5.	De acuerdo a su duración.	31
2.9.6.	De acuerdo con su relación con otros experimentos.	32
2.9.7.	De acuerdo al número de factores que intervienen en el estudio.	32

CAPITULO 3. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA HETEROGENEIDAD DEL SUELO.

3.1.	Principios Generales e Importancia de la Heterogeneidad del Suelo..	34
3.2.	Determinación del Coeficiente de Heterogeneidad del suelo “b”, para datos provenientes de experimentos establecidos en Bloques Completos al Azar.	35
3.2.1.	Cálculo de las varianzas No ponderadas (V).	35
3.2.2.	Determinación de las Varianzas Ponderadas (V').	36
3.2.3.	Aplicación del método de Hatheway y Williams, (1958).	36
3.3.	Determinación del Coeficiente de Heterogeneidad del suelo “b”, para datos provenientes de experimentos establecidos en Diseño de Parcelas Divididas.	38
3.3.1.	Cálculo de las varianzas No ponderadas (V).	38
3.3.2.	Determinación de las Varianzas Ponderadas (V').	39
3.3.3.	Aplicación del Método de Hatheway y Williams, (1958).	40

3.4.	Determinación del Coeficiente de Heterogeneidad del suelo, para datos provenientes de los ensayos de Uniformidad.	41
3.4.1.	Cálculo de las varianzas No Ponderadas (V).	41
3.4.2.	Determinación de las Varianzas Ponderadas (V').	42
3.4.3.	Aplicación del método de Hatheway y Williams, (1958).	45

CAPITULO 4. CONSIDERACIONES PRACTICAS PARA ESTABLECER UN EXPERIMENTO DE CAMPO Y SU INFLUENCIA EN LA PRECISION EXPERIMENTAL.

4.1.	Fundamentos Básicos sobre La Heterogeneidad del Suelo.	46
4.2.	Elementos Estructurales de un Experimento de Campo.	48
4.2.1.	Tamaño de la Parcela Experimental.	49
4.2.2.	Forma de la Parcela Experimental.	50
4.2.3.	Orientación de la Parcela Experimental.	53
4.2.4.	Defensas internas y externas del experimento de campo.	54
4.2.5.	Número de repeticiones.	56

CAPITULO 5. FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DE VARIANZA.

5.1.	Introducción.	62
5.2.	Modelo Aditivo Lineal (M.A.L.).	62
5.3.	Bases para la prueba de F.	64
5.3.1.	Procedimiento para determinar las Sumas de Cuadrados.	65
5.3.2.	Prueba de hipótesis a través de F (ANDEVA).	67
5.4.	Fórmulas operacionales.	68
5.5.	Supuestos del Análisis de Varianza.	69
5.5.1.	Independencia.	69
5.5.2.	Normalidad.	69
5.5.3.	Homogeneidad de varianza.	70
5.5.4.	Aditividad.	71
5.6.	Forma de presentación del Análisis de Varianza.	71
5.7.	Aplicación del Análisis de Varianza.	72

CAPITULO 6. ANALISIS ESTADISTICO DE RESULTADOS PROVENIENTES DE EXPERIMENTOS UNIFACTORIALES.

6.1.	DISEÑO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO, (D.C.A.).	73
6.1.1.	Introducción.	73

6.1.2. Ventajas.	73
6.1.3. Desventajas.	74
6.1.4. Proceso de Aleatorización o Azarización del D.C.A.	74
6.1.5. El Modelo Aditivo Lineal (M.A.L.) para un D.C.A.	74
6.1.6. La tabla del Análisis de Varianza.	75
6.1.7. Ilustración del procedimiento para realizar el ANDEVA para un D.C.A. con igual número de repeticiones por tratamiento.	76
6.1.8. Ilustración del procedimiento para realizar el ANDEVA para un D.C.A. con diferente número de repeticiones por tratamiento.	78
6.1.9. Algunos estadísticos importantes a utilizar.	81
6.2. DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR, (B.C.A.).	82
6.2.1. Introducción.	82
6.2.2. Criterios acerca de la disposición de los bloques en campo	83
6.2.3. Consideraciones técnicas y prácticas para la aplicación del Diseño de B.C.A.	85
6.2.4. Ventajas del Diseño de B.C.A.	86
6.2.5. Desventajas del Diseño de B.C.A.	86
6.2.6. Proceso de azarización del diseño de B.C.A.	87
6.2.7. El Modelo Aditivo Lineal (M.A.L.) para un B.C.A.	87
6.2.8. La Tabla del Análisis de Varianza para un diseño de B.C.A.	88
6.2.9. Ilustración del procedimiento para realizar el ANDEVA para un B.C.A.	89
6.2.10. Prueba de Rangos Múltiples de Duncan.	92
6.2.11. Prueba de Rangos Múltiples de Tukey.	93
6.2.12. Prueba de Rangos Múltiples de S.N.K.	95

6.2.I3. Eficiencia del Bloqueo.	96
6.3. DISEÑO CUADRADO LATINO.	99
6.3.1. Introducción.	99
6.3.2. Ventajas.	99
6.3.3. Desventajas.	100
6.3.4. Azarización.	100
6.3.5. El Modelo Aditivo Lineal (M.A.L.) para un D.C.L.	103
6.3.6. La Tabla del Análisis de Varianza para un D.C.L.	104
6.3.7. Ilustración del procedimiento para realizar el ANDEVA para un D.C.L.	104
6.3.8. Prueba de Rangos Múltiples de S.N.K.	108

CAPITULO 7. TECNICAS DE SEPARACION DE MEDIAS.

7.1. Introducción.	110
7.2. Pruebas a Posteriori.	111
7.2.1. Diferencia Mínima Significativa (D.M.S.).	111
7.2.2. La Prueba de Dunnet (D').	114
7.2.3. Pruebas de Rangos Múltiples.	116
Prueba de Rangos Múltiples de Duncan.	119
Prueba de Rangos Múltiples de Tukey.	121
Prueba de Rangos Múltiples de S.N.K.....	123
7.3. Pruebas a Priori o Pruebas de F Planeadas.	126
7.3.1. Ilustración.	128

CAPITULO 8. ANALISIS ESTADISTICO DE RESULTADOS PROVENIENTES DE EXPERIMENTOS BIFACTORIALES.

8.1. Principios Generales e Importancia.	132
8.2. Notación.	134

8.3.	Ventajas.	138
8.4.	Desventajas.	139
8.5.	Azarización.	140
8.6.	El Modelo Aditivo Lineal.	140
8.7.	Tabla de ANDEVA para un Bifactorial en D.C.A. y B.C.A.	142
8.8.	Ilustración del procedimiento estadístico para realizar el ANDEVA de un Experimento Bifactorial establecido en D.C.A.	144
8.9.	Ilustración del procedimiento estadístico para realizar el ANDEVA de un Experimento Bifactorial establecido en B.C.A.	153
8.10.	Diseño de Parcelas Divididas.	160

CAPITULO 9. ANALISIS ESTADISTICO DE RESULTADOS PROVENIENTES DE EXPERIMENTOS TRIFACTORIALES.

9.1.	Principios Generales e Importancia.	179
9.2.	Azarización.	180
9.3.	Modeo Aditivo Lineal.	180
9.4.	Tabla del ANDEVA para un Trifactorial en B.C.A.	181
9.5.	Ilustración de un Trifactorial Propiamente Dicho en B.C.A.	183
9.6.	Diseño de Parcelas Subdivididas.	192

CAPITULO 10. PLANIFICACION DEL EXPERIMENTO DE CAMPO.

10.1.	Principios Generales e Importancia.	194
10.2.	Premisas para la elaboración del Anteproyecto Experimental.	200
10.3.	Guía Metodológica para la elaboración del Anteproyecto Experimental.	203

Indice de cuadros	215
Indice de figuras	221
Bibliografía consultada	222

A mi madre María Luisa Pedroza

AGRADECIMIENTO

A mis asesores durante el Post-Grado: Prof. Zaprian Ivanov y Prof. Ilia Delchev, por sus ejemplos y sabios consejos; ellos forjaron en mí elevados valores no sólo científico-técnicos, sino también humanos. Sin duda se constituyeron en luz y guía de mi vida profesional.

A los estudiantes de la **UNA**, quienes a través de varias generaciones, con sus inquietudes y sugerencias cotidianas, coadyuvaron a forjar en mí una corriente metodológica-docente reflejada en el contenido mismo de este libro.

A los profesores de la **UNA** por su abnegación y perseverancia en su labor docente. Con ellos he compartido alegrías, éxitos y fracasos; seguro de que este texto está inspirado por su lucha cotidiana en las aulas de clases de la **UNA**.

A los cros. Profesor Ing. Nestor Alvarado Díaz e Ing. MSc. Venancio Izaguirre Silva, por sus exhaustivas correcciones, que mejoraron significativamente la calidad de esta obra.

A los técnicos y trabajadores de campo de la Estación Experimental Raúl González del Valle de Sébaco, quienes durante la década de los ochenta me brindaron siempre su apoyo en la ejecución de diversos experimentos de campo, algunos de los cuales constituyen parte integral de este texto.

A la compañera Carolina Padilla, quien mecanografió la mayor parte de este texto.

A la Junta Directiva de **CECOTROPIC**, por su decidido respaldo que hizo posible la conclusión exitosa de este libro.

Al Ing. Bayardo Serrano Fernández y al Dr. Denis Corrales Rodríguez, sin su apoyo profesional y ético-moral no hubiera sido posible concluir esta obra.

PREFACIO

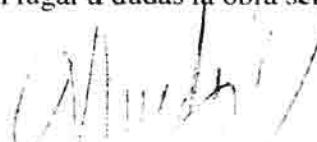
Desde que comencé a impartir la asignatura de Experimentación Agrícola, que forma parte del Plan de Estudios de la Carrera de Ingeniería Agronómica y que se imparte en la Universidad Nacional Agraria, no encontré ningún libro de Experimentación Agrícola de los que existen actualmente, y que reuniera el contenido programático de la asignatura. Entonces me di cuenta que los estudiantes necesitaban algo más del contenido que se les imparte en clase, y este libro que presento al lector, viene a llenar el gran vacío existente de literatura básica específica para la asignatura de Experimentación Agrícola.

La objetividad y veracidad de la obra del Dr. Henry Pedroza Pacheco es tal, que casi todos los ejemplos utilizados para explicar los diseños corresponden a ensayos reales montados y/o analizados por el mismo, y la fundamentación teórica del libro está basada en una revisión de literatura reciente, y que junto con la gran experiencia docente e investigador del autor, logra conformar diez capítulos, concatenando de una manera clara y sencilla los fundamentos teóricos-prácticos de la metodología de investigación, el diseño experimental y la planificación del experimento de campo.

Por tal razón, es mi criterio, que esta obra tendrá una gran utilidad, tanto para los estudiantes de Ingeniería Agronómica, como también para técnicos de los Centros de Investigación Agrícola y profesionales afines de la Agronomía, donde encontrarán una herramienta básica de trabajo, metodológicamente diseñada para la docencia y la investigación.

Quiero hacer un reconocimiento especial al autor, quien trabajó en la Universidad Nacional Agraria hasta 1992, y que en 1985 elaboró un programa nuevo de la asignatura de Diseño Experimental por Experimentación Agrícola, siendo aprobado en 1986 y actualmente está vigente en los Planes de Estudio de la Carrera de Ingeniería Agronómica, dirigida por la Escuela de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria.

Finalmente, quiero hacer resaltar los esfuerzos realizados por el Dr. Henry Pedroza, por presentar esta obra que ha venido trabajando desde 1986 y que hoy puede verse el fruto de ese esfuerzo transformado en el libro que servirá de Texto Básico en la asignatura de Experimentación Agrícola, y que sin lugar a dudas la obra será todo un éxito.



Ing. Néstor Allan Alvarado Díaz
Director de la Escuela de Producción Vegetal
F.C.C.A.-U.N.A.

CAPITULO 1.

LOGICA, INVESTIGACION Y EXPERIMENTO

1.1. Observación y Experimento

El conocimiento que tenemos de la naturaleza y el mundo que nos rodea lo adquirimos principalmente mediante la observación y el experimento. Cuando observamos y evaluamos (siguiendo métodos razonables), los fenómenos naturales sin intervenir en lo posible, en el desarrollo de los procesos de dichos fenómenos y las condiciones en que los mismos tienen lugar, se dice que adquirimos un conocimiento de la naturaleza tal y como se manifiesta espontáneamente. Pero el hombre no se limitó a este simple proceso de observación, sino que trató de intervenir en estos acontecimientos, sometiendo su desarrollo a condiciones arbitrarias para ver sus cambios, descubrir sus secretos, examinar después tales intentos y evaluar como se han desarrollado los hechos, tomando en consideración las condiciones a que fueron sometidos. Esta forma de intervenir en el proceso natural, es la que constituye la experimentación.

La investigación científica, es el estudio y la explicación de las regularidades en el desarrollo de los fenómenos y los procesos en todo el campo de la ciencia, puede ser teórica o experimental. Sin embargo, la diversidad y sobre todo la complejidad y el dinamismo de las cuestiones estudiadas en la Biología aplicada conducen muy a menudo a la necesidad de relacionar y aplicar conjuntamente las investigaciones teóricas y experimentales. La Biología aplicada utiliza dos métodos generales en la investigación : La Observación y el Experimento.

La base primaria de las investigaciones teóricas es la observación directa. De ella se generó el experimento y creó por su parte la posibilidad de desarrollar la teoría a una nueva y más alta etapa del conocimiento.

1.1.1. Observación

En esencia es la comprobación de propiedades o características dadas en el objeto estudiado por el investigador, o el registro de distintas manifestaciones en algún proceso vivo con vista a su conocimiento, que finalmente en la práctica se traduce en la recolección de datos concretos numéricos o cualitativos.

La observación sobre las manifestaciones vitales de las plantas o animales y sobre todo en sus formas cultivadas se han hecho desde los tiempos más remotos. Sin embargo, esto se hizo sin planificación ni sistematización, como tampoco se efectuó control alguno para determinar las conclusiones hechas sobre la base de las investigaciones realizadas, éstas eran observaciones espontáneas impuestas por la vida, que no obstante permitieron acumular grandes conocimientos en el cultivo de las plantas agrícolas y en la crianza de los animales.

En el pasado las observaciones se realizaban generalmente de manera visual y directa, en la actualidad al efectuar las observaciones de diferentes caracteres y fenómenos, se utilizan los medios e instrumentos más variados para efectuar las mediciones, lo que permite realizar observaciones cada vez más profundas y exactas sobre los procesos vitales en el organismo.

Existen observaciones sistemáticas, por ejemplo las que llevan a cabo en las estaciones meteorológicas, donde se observan factores como temperatura, humedad relativa del aire, precipitaciones, velocidad del viento, etc. Otras veces se hacen observaciones en momentos en que es necesario resolver alguna dificultad en la producción como por ejemplo, contenido de sustancias nutritivas en el suelo, deficiencias nutricionales de un lote de animales, etc.

En la mayoría de los casos la observación proporciona las características cuantitativas o cualitativas del objeto o fenómeno, pero con la sola ayuda de la **observación** ordinaria no se podrá descubrir su esencia y los factores que la condicionan, o sea, es **insuficiente para el conocimiento completo y multilateral de los fenómenos**. Para resolver en su totalidad las características del fenómeno, así como determinar las causas que los condicionan, se requiere la realización de la denominada observación activa, dirigida a un fin o experimento.

1.1.2. Experimento

Se han dado muchas definiciones al respecto, sin embargo, de modo más técnico se define como el **proceso donde el investigador provoca artificialmente un fenómeno, con el fin de estudiar su esencia, causa, origen e interrelación con otros procesos o fenómenos**. Del concepto establecido es importante establecer una interrogante para su reflexión : *Qué diferencias existen entre observación y experimento ?*

Las siguientes características son señaladas por Henao (1983), para que un experimento sea considerado como tal :

1. Concepto ANDEVA: Permitir un análisis de las fuentes de variación que influyen en los resultados.
2. Concepto Aleatorización: Permitir medida del efecto de los tratamientos, libres de error sistemático.
3. Concepto Repetición: Permitir medida del error sistemático.
4. Concepto Probabilidad: Permitir hacer inferencia sobre diferencias de tratamientos.

1.1.3. Tipos de experimentos

Little y Hills (1981), clasifican los experimentos de la siguiente manera :

1.- Experimento preliminar : Es aquel en el que se prueba un gran número de tratamientos, con el objeto de obtener pautas o guías para futuras investigaciones. Casualmente los tratamientos no se repiten en el experimento de campo.

2.- Experimento Crítico : Consiste en la comparación de varios tratamientos empleando suficiente repeticiones, para poder determinar las diferencias significativas entre los tratamientos estudiados.

3.- Experimento Demostrativo : Es aquel realizado generalmente por extensionistas, para comparar un nuevo tratamiento con el tratamiento tradicional.

En este texto básico, por el objetivo principal con que ha sido escrito, se abordan únicamente los experimentos críticos, que requieren un Diseño, tal que permita detectar diferencias significativas entre los tratamientos.

1.2. Desarrollo Contemporáneo de la Investigación Científica

Todo parece indicar que el despertar de la investigación tuvo que ver, antes que otra cosa, con las ciencias de la Física y de la Astronomía. Desde este punto de vista, los griegos ocupan un lugar relevante, al aportar las primeras contribuciones sobre la redondez de la tierra, medidas de ésta y el movimiento de los astros. Posteriormente los árabes en su deseo de transmutación de materiales al oro, lograron interesantes avances en el campo de la Química.

En la rama biológica han descollado, entre otros: Aristóteles, Lamarck, Linneo, Burnet, Pasteur y Mendel, para citar sólo unos pocos nombres. Uno de los más destacados, sin embargo, es Carlos Darwin. Sus observaciones y análisis en materia de evolución de las especies, establecieron muchas de las bases actuales de esta ciencia y de otras afines como la Botánica y la Ecología, (Caballero D.M., 1980).

En la etapa actual del desarrollo de la investigación científica, los enormes avances tecnológicos en la agricultura son un fenómeno relativamente reciente, con el desarrollo del maíz híbrido, seguido por el uso de fertilizantes completos y tecnologías mejoradas para el control de malezas y plagas después de la Segunda Guerra Mundial.

A partir de los años 60, con el impulso de la denominada “Revolución Verde”, se seleccionaron las primeras variedades de trigo, arroz, maíz, mijo y sorgo, capaces de dar altos rendimientos en las condiciones tropicales, en el supuesto de poder resolver el problema del hambre del llamado “Tercer Mundo”. Sin embargo, sólo fue posible usar las nuevas variedades mediante la modificación completa de los Sistemas de Producción anteriores y la introducción de “**Nuevos Paquetes Tecnológicos**”, muy complejos y costosos, (Dufumier M., 1990).

En Nicaragua, una de las restricciones principales que históricamente ha afectado la eficiencia económica de la producción agropecuaria y que es un fuerte obstáculo para su reactivación y desarrollo sostenido, es el marcado atraso científico-técnico. La producción agropecuaria ha tenido rendimientos bajísimos por unidades de superficie. En 1990, el rendimiento promedio nacional de maíz fue de 16.7 qq/Mz, frijol 9 qq/Mz y sorgo 24.5 qq/Mz. En 1950 el rendimiento del café fue de 4.7 qq oro/Mz, el que ascendió a 9.0 qq oro/Mz en 1988. Un novillo para venta al matadero requiere 3.5 años, mientras que en EE.UU. requiere 1.5 a 2 años, (9). De tal forma que, en Nicaragua no ha sido posible generalizar tales condiciones de la agricultura de los países industrializados, ni elevar significativamente los rendimientos (salvo algunas excepciones), y por el contrario, se han creado condiciones objetivas para la degradación y deterioro progresivo de los Recursos Naturales a nivel nacional. ***Por lo tanto, deben transformarse sustancialmente las Políticas del Desarrollo Agropecuario Nicaragüense; lo cual implica, transformar Los Sistemas de Producción existentes y evidentemente, el Sistema de Investigación y Transferencia de Tecnología que tradicionalmente ha existido en el país.***

La metodología de “Investigación Tradicional” siempre ha enfatizado fuertemente en la realización de experimentos con un alto grado de control, que sólo ha sido posible en la Estación Experimental o en el laboratorio. El valor de este tipo de experimentación y de la ciencia en sí son incuestionable, ya que la mayor parte de los adelantos importantes en la agricultura han venido de la realización de **experimentos críticos**.

Sin embargo, ciencia y conocimientos nuevos no son suficientes por sí solos. El conocimiento nuevo debe convertirse en una tecnología, que a su vez debe poder incorporarse a un sistema de producción. Es notorio que los agricultores usan tecnología, no ciencia, aunque la tecnología esté basada en la ciencia.

La mayoría del personal agrícola que sirve las necesidades tecnológicas de los agricultores, tratan más con tecnología que con ciencia. De ahí que, demandan una metodología propia para el desarrollo de tecnología, para ser empleada por aquellos que trabajan en innovar, sin el lujo del control típico de un laboratorio o la estación experimental.

Los técnicos y los productores necesitan de su Tecnología Apropriada. Dentro de este enfoque, conocido como de “**Investigación en Fincas**”, Hildebrand y Poey (1989), denominan los experimentos específicamente “**Ensayos en Fincas**”; el término, ha sido aplicado desde los años 70, implica la participación de científicos y técnicos de varias disciplinas, como medio para entender a la finca como un sistema completo; a diferencia de aislar los componentes del sistema de producción para investigarlos por separado. La investigación y extensión de sistemas agrícolas (**IESA**), es un enfoque para la generación, evaluación y entrega de tecnología. Es aplicada, orientada al productor y con investigación agrobiológica apoyada por ciencias socioeconómicas, todo ello en un marco de trabajo en equipo, el cual incluye responsabilidades en extensión. El producto principal es tecnología y el cliente primario es el productor. Su implementación depende de las políticas sobre el desarrollo agropecuario, que orientan la investigación hacia ciertas regiones, tipos de agricultores o cultivos, etc.

Hildebrand y Poey (1989), clasifican los “**Ensayos en Fincas**” en :

- 1.- Experimentos Exploratorios**
- 2.- Experimentos en sitios específicos**
- 3.- Experimentos Regionales**
- 4.- Experimentos Manejados por el agricultor**

Una breve descripción de cada uno de ellos se presenta a continuación.

1 . Experimentos Exploratorios

Los ensayos exploratorios son útiles en, cuando menos, dos tipos de situaciones: cuando la investigación es iniciada en una nueva región, o cuando no hay información previa disponible como para estimar la respuesta de nuevas alternativas. En áreas nuevas se puede lograr una mayor eficacia si las actividades de diagnóstico son complementadas con ensayos exploratorios.

Este tipo de ensayo normalmente prevé resultados cualitativos que más tarde podrán ser cuantificados por medio de otros tipos de experimentos. Los ensayos exploratorios comúnmente incluyen varios factores (usualmente tres o cuatro), con al menos dos niveles para cada factor y con pocas repeticiones.

2 . Experimentos en sitios específicos

Los ensayos en la estación experimental a menudo son diseñados para estudiar el efecto “potencial”, o máximo de una tecnología. Las variedades experimentales, por ejemplo, son examinadas bajo condiciones que no limitan la expresión de su potencial genético. Este potencial, sin embargo, es medido para una sola localidad: la estación experimental. Para obtener información más útil, el mismo diseño y análisis puede establecerse en dos o más sitios, en fincas, para medir las “desviaciones del potencial”, independientemente, en diferentes localidades. Este tipo de ensayo es denominado “en sitios específicos”.

Debido a que estos ensayos en general son complejos, con un número relativamente grande de tratamientos y repeticiones, se les conduce en un número limitado de localidades. La información buscada es agronómica y no socioeconómica, de manera que las parcelas son pequeñas. Muchas de las posibles fuentes de variación, como por ejemplo la fertilidad del suelo, frecuentemente son controladas a los mismos niveles encontrados o usados en la estación experimental. La participación de los agricultores es mínima en estos ensayos manejados por el investigador.

3. Experimentos Regionales conducidos por el investigador

Los ensayos regionales están constituidos por un grupo de ensayos similares conducidos en una región, que previamente fue identificada como un dominio de recomendación. Su principal objetivo es el de evaluar los datos de ensayos en finca o en la estación experimental, y poder definir la interacción de la tecnología con las condiciones ambientales, tanto desde un punto de vista agronómica como socioeconómico. Puede tener como resultado la verificación de la homogeneidad dentro del dominio de recomendación previamente identificado, o bien, una evidencia que apoye la necesidad de subdividir el dominio de recomendación. Del análisis e interpretación de los ensayos regionales deben resultar recomendaciones de tratamientos (tecnologías) para ser sometidas a ensayos conducidos por el agricultor.

Al diseñar los ensayos regionales, el número de localidades debe ser todo lo amplio que permitan los recursos, siendo la estación experimental regional tratada como un sitio más. Dentro de un dominio de recomendación no debiera haber menos de cinco localidades. Aunque se pueden hacer análisis con menos localidades, su precisión sería cuestionable. Los agricultores deben participar en el manejo de los ensayos y tener un conocimiento completo sobre las variables estudiadas y los resultados esperados. Durante todo el experimento, los agricultores deben estar en estrecho contacto con la(s) persona(s) responsable(s) de los ensayos.

4. Experimentos manejados por el agricultor

Un proceso mediante el cual los investigadores evalúan alternativas tecnológicas ha sido descrito anteriormente. En él, los investigadores evalúan alternativas a través de una o más localidades y años; aplican su propio criterio en el uso de los recursos e interpretación de las preferencias y capacidades de los agricultores, los cuales tienen una participación creciente en los ensayos conducidos por el investigador. Después de analizar los resultados de esos ensayos, las mejores alternativas se dejan en manos de los agricultores para su evaluación. Teniendo siempre en cuenta que es el propio agricultor quien debe tomar decisiones respecto a la adopción, o rechazo de las nuevas alternativas, los ensayos manejados por el agricultor (**EMA**) proveen la oportunidad de la nueva tecnología. Para que puedan ser evaluados por el propio agricultor, los **EMA** deben tener características que son críticas :

- 1.- La tecnología debe ser lo suficientemente simple, como para que los agricultores la entiendan y la manejen.
- 2.- Los agricultores deben usar sus propios recursos, para así comprender todas las implicaciones de las alternativas.
- 3.- El diseño del ensayo debe ser lo suficientemente simple, como para que los agricultores puedan observar las diferencias entre los tratamientos y/o medirlas con

sus propios instrumentos de medición. Un ejemplo de un **EMA** puede ser la evaluación de una nueva variedad, usando los procedimientos de siembra y cultivos normales del agricultor. Los agricultores pagan por todos los gastos usuales, más el costo de la semilla de la nueva variedad. El diseño del ensayo sería simple: los agricultores siembran parcela con la nueva variedad y una parcela similar, de control, con su variedad tradicional.

Los **EMA** pueden ser diseñados para proporcionar datos agronómicos y económicos para el investigador, pero el proceso del ensayo no debe interferir con las actividades habituales del agricultor y con su habilidad para interpretar los resultados como él los ve. Debido a que hay poco control de la variabilidad, se requiere de un número grande de fincas a través de una región, para que los investigadores puedan medir el efecto del tratamiento. El análisis regional determinará el nivel de estabilidad de la nueva tecnología.

Las técnicas del análisis estadístico para los Ensayos en Finca, por las particularidades que los distinguen, deben ser estudiadas en cursos específicos sobre Investigación en Fincas. Los aspectos relativos a la identificación de factores para la investigación en fincas, pueden profundizarse en Tripp R y Wooley J. (1989).

1.3. El Diseño de Experimentos en la Investigación Científica

Desde el punto de vista científico, investigación es la colección sistemática, clasificación y análisis de datos (Le Clerg et al., 1966). Así mismo, Ostle B. (1981), define que, "la investigación científica es la búsqueda continuada del conocimiento y entendimiento". El investigar es una característica innata del ser humano. Es la manifestación del hombre por satisfacer una inquietud natural. Es la búsqueda de respuestas a los fenómenos y cosas que le rodean. La investigación, en sus principios, fue el despertar de la curiosidad natural del *homo sapiens*, quien tuvo en sus orígenes como únicos elementos y recursos, a su imaginación y al inmenso laboratorio que le ofrecía la naturaleza. Sería difícil precisar cuando se inició la investigación científica. Para ello habría que remontarse, quizás al momento mismo en que el *homo sapiens*, como ser racional, hizo su aparición en la Tierra. Sin embargo, hoy día, esta actividad ha adquirido matices impresionantes en las diferentes disciplinas científicas, con el auxilio de técnicas sumamente evolucionadas, (Caballero D.M., 1980).

Autores como Schluter W.C., en "Como hacer investigación", citado por Arias C.L. (1980), enfatizan que "*El estudio científico consiste en sustituir el hábito indolente de suponer las cosas y el hábito aún mas grave de hacer afirmaciones irresponsables, por los procedimientos serios destinados a asegurarse de las cosas*".

Para asegurarse es necesario despojarse primero de la descuidada actitud de "dar un vistazo" a las cosas y realizar en cambio observaciones cuidadosas y repetidas. Es necesario tomar medidas y llevar registros, sustituir el pensar iluso por el pensamiento realista y desarrollar una comprobación sistemática. La ciencia no es otra cosa que dirigirse a los hechos y tratar de entenderlos para transformarlos.

La investigación es la actividad que caracteriza a la ciencia. El propósito de la investigación científica es descubrir hechos o ideas que no han sido previamente conocidas por el hombre. El descubrir tales hechos se logra mediante el uso del Método Científico lo cual implica que los supuestos formulados deben ser verificados por el experimento. Como parte integral de este proceso, el Diseño Experimental juega un papel fundamental en la planeación del experimento, los factores a evaluar, el análisis e interpretación de los datos, etc. Esto justifica la necesidad del estudio detenido del Diseño Experimental, ya que un problema bien planeado está ya medio resuelto. El planteamiento equivocado del problema conduce a que la subsiguiente indagación resulte errada o inexacta.

1.3.1. El Método Científico

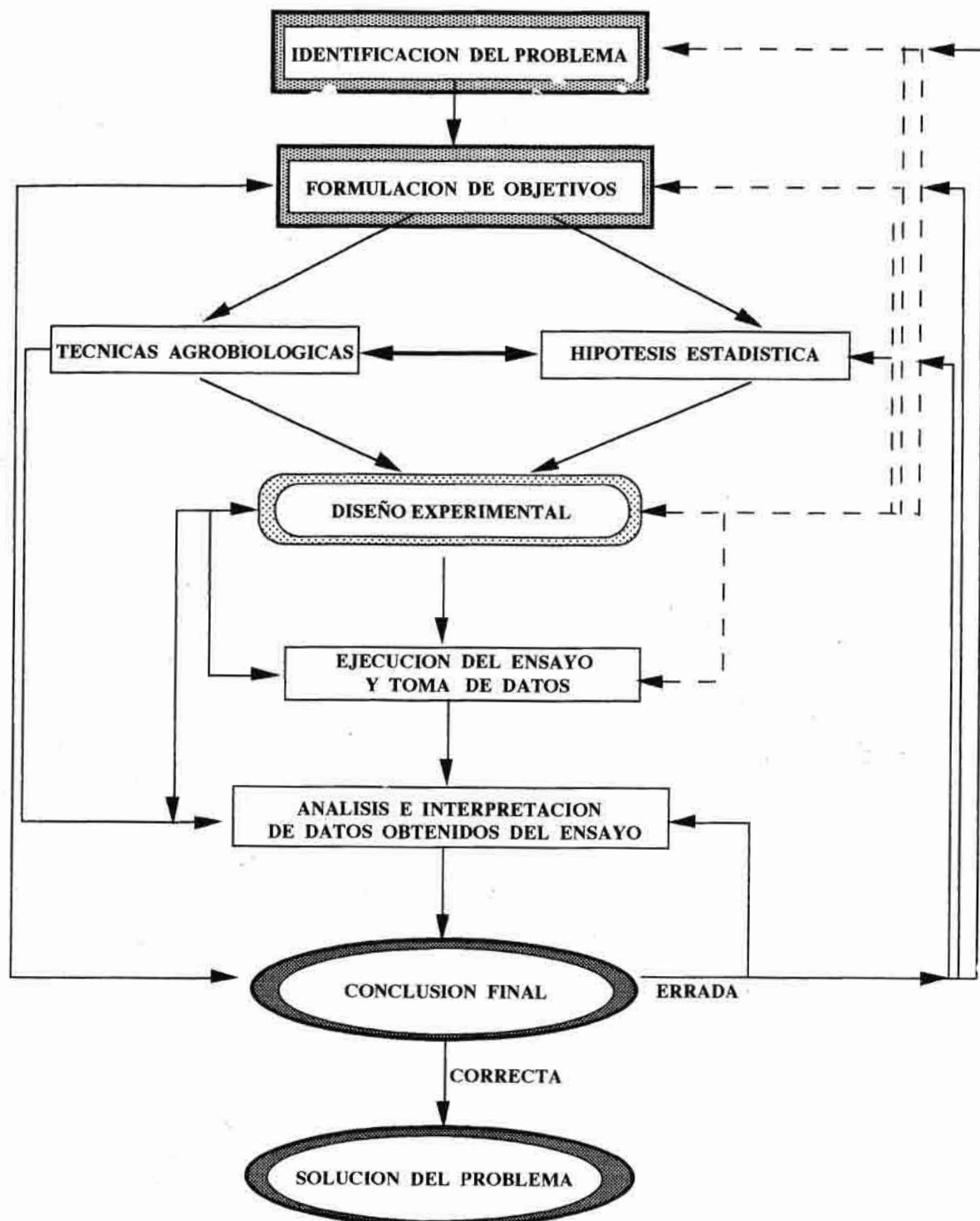
Claud Bernard, el eminentе fisiólogo francés citado por Le Clerg *et al.* (1966), ha señalado: "*Buenos Métodos pueden enseñarnos a desarrollar y a usar para buenos propósitos las facultades con que nos ha dotado la naturaleza, mientras que una metodología pobre nos impide obtener esos logros*". La capacidad de análisis del investigador como expresión inmediata del más alto grado de desarrollo y especialización alcanzado por la materia, puede verse limitada o aún asfixiada por un método pobre, en tanto que un buen método puede incrementarla y desarrollarla. En las ciencias biológicas, el papel del Método Científico es aún más importante que en las otras ciencias, debido a la complejidad de los fenómenos y a las incontables fuentes de variación aleatoria.

Este juicio enfatiza la necesidad de una evaluación minuciosa del problema objeto de estudio y del procedimiento antes de que el trabajo sea iniciado. Un aspecto muy importante de estas consideraciones comprende los principios básicos del método científico, que prácticamente son aplicados en cualquier trabajo de investigación. El método científico es el procedimiento que consiste en la búsqueda de hechos, la formulación de hipótesis y la obtención de principios y leyes que rigen tales hechos. En general comprende dos importantes métodos: **a) Método Deductivo; b) Método Inductivo.** Le Clerg *et al.*, (1966), señalan que el método científico incluye aquellos procesos por medio de los cuales, un investigador llega a una conclusión razonable a través de la observación y la experimentación, a la luz del conocimiento presente que existe sobre la materia. Es evidente que la adopción del método científico en la investigación ha permitido superar las deficiencias del empirismo y ha dado bases sólidas y razonables para la aceptación o rechazo de hipótesis. La discusión del método científico puede parecer mas que obvio, pero estos principios son, después de todo, la base para conducir una investigación científica eficiente y efectiva.

1.3.2. De la Identificación del Problema hasta su Solucion

Para propósito del texto que nos ocupa, con el fin de interpretar el Método Científico en relación a la conducción de experimentos, se señala el desarrollo y las relaciones entre los distintos pasos que existen entre la formulación del problema objeto de estudio y su posible solución a través de la experimentación. Esto, se representa por medio del esquema siguiente :

DEL PROBLEMA A SU SOLUCION



Del esquema se destacan los principales pasos a seguir en la conducción de un experimento :

- 1- Identificación del Problema
- 2- Formulación de los Objetivos.
- 3- Establecimiento de las Hipótesis y sugerencias de las técnicas agrobiológicas.
- 4- El Diseño Experimental. Representa en sí el arte de integrar tanto las técnicas agrobiológicas necesarias a ejecutar, como las posibilidades que las hipótesis de el modelo estadístico permite corroborar.
- 5- Examen de los sucesos y análisis de si el ensayo proporcionará la información requerida y la extensión adecuada. Es decir, si el ensayo fracasa deben replantearse de nuevo: el problema, los objetivos, las técnicas agrobiológicas y por supuesto el Diseño utilizado.
- 6- Ejecución con éxito del experimento. Es una expresión de un correcto planteamiento estadístico y agrobiológico, respaldado por una correcta ejecución en el campo, sin errores vulgares.
- 7- Consideración de los posibles resultados, para asegurar que se satisfagan las condiciones necesarias que hacen válidos los procedimientos estadísticos.
- 8- Aplicación de las técnicas estadísticas a los resultados experimentales obtenidos.
- 9- Formulación de las conclusiones con medidas de confiabilidad de las estimaciones, para disminuir los riesgos y evitar consecuencias negativas. **Fundamentalmente las conclusiones deben responder a los objetivos planteados. La correcta formulación de las conclusiones está indivisiblemente vinculada con el problema objeto de estudio, los objetivos definidos, las técnicas agrobiológicas y las hipótesis pre-establecidas. Si las conclusiones finales son inequívocas, se habrá arrivado a la solución del problema en estudio.**

Deberá darse cuidadosa atención a la validez de las conclusiones para la población de objetos o eventos a la cual se van a aplicar. Esto es de suma importancia porque las inferencias que se puedan hacer, dependen de la forma en que fue diseñado el experimento; por lo que, todo debe quedar bien definido en la etapa de planificación. Cuando se está planeando el experimento, es cuando se debe pensar en la inferencia estadística que se hará; esto es, a qué población inferirán los resultados.

Para contribuir a una mejor comprensión de los pasos recién descritos, se abordan algunos elementos sobre la formulación de los mismos.

Hechos Observados e Identificación del Problema objeto de estudio

La ciencia empieza con la observación de los hechos tal como los plantea la naturaleza. La necesidad de superar un obstáculo, dificultad o problema y la urgencia de encontrar su respuesta, es lo que ha puesto al hombre en el camino de la civilización. La civilización fue adelantando conforme el hombre fue capaz de observar los fenómenos del mundo, de reconocer y aislar sus problemas, investigarlos y obtener respuestas. El primer y más importante paso para solucionar un problema, es tener un completo entendimiento de los hechos conocidos y de las ideas aceptadas en el campo de interés, para poder establecer las causas y efectos del mismo. En esencia, la formulación de un problema no es identificar la ausencia de una solución, sino identificar un estado negativo objetivamente existente.

Objetivos e Hipótesis

La observación conduce al científico a reconocer el problema, pero..., también sugiere una respuesta tentativa, Eisntein citado por Le Clerg *et al.* (1966), afirma que "*A menudo la formulación de un problema es más esencial que su solución*". **La formulación de las hipótesis que se probarán, las metas que se alcanzarán, los efectos de los tratamientos que se van a medir, etc., implican una exposición lúcida y específica de los objetivos de la investigación a realizar.**

La formulación de los objetivos consiste en establecer futuras soluciones de los problemas identificados; lo cual, debe ser definido de manera concreta y verificable.

Siendo la investigación científica una actividad con propósitos definidos, es obvio que, para poder realizarla correctamente, es condición necesaria haber definido previamente sus objetivos. La formulación de objetivos es un paso fundamental en la etapa de planificación de cualquier investigación. Los objetivos surgen al contestar la pregunta acerca de por qué se va a realizar la investigación, y están directamente vinculados a la justificación e importancia de la investigación proyectada.

Cuando la respuesta alude a las razones últimas que motivan la investigación, se está en presencia de los objetivos "finales"; cuando la respuesta refiere a metas más próximas y menos diferidas en el tiempo, los objetivos son "mediatos". Sin embargo, cuando se está ante un problema muy concreto, cuya solución es necesaria para poder alcanzar otros objetivos más alejados, se trata de objetivos "inmediatos" de la investigación. Estos objetivos muchas veces se refieren a establecer, sobre bases científicas, cómo debe procederse para avanzar hacia el alcance de objetivos mayores.

Estrechamente vinculadas a los objetivos están las hipótesis a establecer. Una hipótesis es una herramienta en la tarea científica, que pretende explicar o interpretar ciertos hechos, pero que va más allá de los mismos, aspirando a dar cuenta explicativa o predecir también algunos hechos independientes de aquellos que la originaron.

Las hipótesis se caracterizan, entonces, por poseer predictibilidad (capacidad de predecir hechos no observados) y son, naturalmente, provisionales. La provisionalidad es un rasgo inherente a la hipótesis, aludiendo al hecho de que toda conjetura o suposición es susceptible de corrección o rectificación en función del nuevo conocimiento adquirido.

La predictibilidad y provisionalidad evidencian claramente la índole instrumental que poseen las hipótesis, pues el predecir es un estímulo al quehacer de verificación, y la provisionalidad como rasgo de temporabilidad, es decir, de vigencia meramente transitoria, destinada por fin a la caducidad, apunta hacia la permanente renovación y rectificación del conocimiento científico. Sin embargo, no por provisionales dejan de ser útiles, pues los mismos elementos (evidencia factual), que en un momento dado marcan su caducidad y rechazan o niegan su validez, constituyen a la vez, una nueva base impulsora para la construcción del conocimiento futuro.

Las hipótesis pueden ser simples cuando son generalizaciones sencillas efectuadas a partir de experiencias o datos, o bien pueden tener un nivel de abstracción y complejidad mayor, que no pueden reducirse a nuevas acumulaciones de datos. Los requisitos fundamentales para la formulación de una hipótesis científica son:

- a). Su corrección formal, tanto en el significado de lo que expresa (semántica), como en la conformación de sus constituyentes (sintaxis). La corrección formal no garantiza la veracidad sino, solamente, la viabilidad lógica de las hipótesis.
- b). Su fundamento y apoyo en el conocimiento científico previo, con el cual deberá ser compatible; esto es, su relación con las Fuentes de Variación que evalúan.
- c). Su condición de ser empíricamente contrastable, lo cual significa que, por procedimientos objetivos, puede ser sometida a aceptación o rechazo.

Experimento

Obviamente, que el investigador debe estar informado tan completamente como sea posible de las fuentes de variación no controladas que afectan los tratamientos. Solamente a través del experimento y el esfuerzo continuo por reducir los factores o efectos aleatorios es que se puede alcanzar mejorar la calidad de los datos y el análisis comparativo de los mismos.

El investigador debe de estar convencido que los tratamientos incluidos en el experimento y el diseño experimental usado, son los apropiados para responder a los objetivos. Muchos experimentos son iniciados con el espíritu de "probemos un conjunto misceláneo de alternativas, y luego midamos cualquier cosa que parezca luz". Esto no es correcto. Muy amenudo el éxito de un experimento depende de la escogencia de los tratamientos.

El manejo experimental es otro aspecto importante. Si el manejo experimental no es uniforme se podría convertir luego en una fuente de variación no controlada. Esto dá lugar a que la variabilidad entre observaciones sea mayor de lo esperado. Debe recordarse pues, que el manejo debe ser tal que no sea una fuente importante de variabilidad aleatoria en el trabajo experimental.

El experimento debe plantear claramente la población acerca de la cual se van a hacer inferencias. Es obvio que no pueden hacerse conclusiones válidas sobre una población extensiva a partir de un único experimento.

Debe tenerse bien claro que alcanzar los objetivos planteados en un experimento, requiere de la planeación cuidadosa del mismo antes de iniciarla. Solamente así se puede esperar obtener el máximo de eficiencia en la conducción de la investigación. La descripción del experimento incluye una serie de elementos como: El diseño a usar, los tratamientos, el número de réplicas, las variables a tomar, procedimientos de muestreo, el método estadístico propuesto para analizar los datos, etc.

Resultados y su interpretación

Los científicos prueban sus hipótesis luego que los datos o resultados del experimento son analizados e interpretados. Si una hipótesis no pasa la prueba, se revisa de acuerdo con los nuevos hechos encontrados por medio del experimento. Por el contrario, si la hipótesis es demostrada con suficientes pruebas, ésta llega a ser una de las generalizaciones aceptadas por la ciencia, constituyendose así en un aporte.

En resumen se puede señalar : Observacion de los hechos; luego se identifica el problema, éste conduce a la formulación de los objetivos y al establecimiento de una o varias hipótesis; se conduce un experimento para probar las hipótesis; se recolectan los datos de la investigación y se registran; se analizan e interpretan; las preguntas que el experimento pueda contestar, son fundamento para rechazar o aceptar las hipótesis planteadas.

CAPITULO 2.

PRINCIPIOS GENERALES DE

EXPERIMENTACION AGRICOLA

2.1. Concepto de Error Experimental

Es conocido el hecho de que, al cosechar un conjunto de parcelas de Maíz de igual área sometidas exactamente a la misma agrotécnica, no se va a obtener el mismo rendimiento para cada parcela. Así mismo, de un grupo de animales de cualquier especie, alimentados con una misma ración, no se va a obtener la misma proporción de ganancia de peso por cada animal. Tales diferencias son propias de la variabilidad genética que caracteriza a los seres vivos o la variabilidad medio ambiental que incide sobre su comportamiento. Tales diferencias son realmente aleatorias o casuales y son ajenas al control razonable del experimentador. Esta variabilidad, también está presente en los resultados que provienen de un conjunto de Unidades Experimentales sometidos a la influencia de diferentes tratamientos.

Con fines meramente docentes, antes de definir el concepto de Error Experimental es necesario abordar dos conceptos fundamentales: **Tratamiento** y **Unidad Experimental**.

Desde el punto de vista experimental, el concepto **Tratamiento** se refiere al **conjunto particular de condiciones experimentales que el investigador impone a las unidades experimentales**. Tómese como ejemplo de tratamientos el hecho de estudiar diferentes variedades de maíz, diferentes dosis de fertilizante nitrógenado, tipos de herbicidas, fungicidas, tipos de labranza, etc.

El término de **Unidad Experimental (U.E.)** se usa para representar el **conjunto de materiales al cual se aplica un tratamiento en un solo ensayo**. La unidad experimental puede ser una parcela, un grupo de cerdos, un lote de semilla, etc., (Ostle B., 1981).

Al abordar el concepto de error experimental, se debe tener en cuenta que los resultados experimentales siempre están afectados tanto por la acción de los tratamientos como por las variaciones extrañas o aleatorias, que tienden a encubrir el efecto real de los tratamientos.

La variación aleatoria (*no explicada*), ajena al control razonable del experimentador se conoce con el nombre de error experimental, error del azar o simplemente error. Es un término técnico que no significa equivocación sino que forma parte de las características biológicas innatas del individuo. Debe de quedar bien claro que el término error experimental o error no es sinónimo de equivocaciones, sino que incluye todos los tipos de variación extraña o del azar, (Little y Hills, 1981).

2.1.1. Fuentes del Error Experimental

Cochran y Cox (1981), establecen que existen dos fuentes principales del error experimental :

a. La variabilidad inherente al material experimental al cual se aplican los tratamientos. Es característico de las U.E. que produzcan diversos resultados aún cuando se someten al mismo tratamiento. Estas diferencias contribuyen a incrementar la magnitud del error experimental.

b. La falta de uniformidad en la conducción o manejo físico del experimento. La segunda fuente de variabilidad está referida a la deficiencia en poder uniformar las técnicas de manejo experimental. Cuando se realiza cualquier experimento se efectúan necesariamente muchas labores técnicas, en las cuales siempre es posible incurrir en deficiencias técnicas.

La distribución poco uniforme al realizar las aplicaciones de fertilizantes al cultivo , es otra fuente de variación aleatoria. El mismo hecho de que el cultivo y los animales son afectados por plagas y enfermedades de manera desigual, es otra causa de error experimental. Así como también, el hecho de que no se puede proteger al cultivo en un 100% del ataque de plagas y enfermedades. La influencia no uniforme de las malezas sobre el desarrollo del cultivo producto de la distribución desigual de las malas hierbas. Además, el metabolismo en los animales, producto del efecto de las razas y sexo es otra causa de error experimental.

La causa más importante de variabilidad aleatoria es sin duda alguna la diversa fertilidad del suelo que incide de manera sistemática; o el potencial genético de cada animal y su capacidad metabólica.

Existen muchas y muy variadas formas de manifestarse el error experimental. Cualquiera que sea su forma siempre se originarán por características propias de la U.E. o bien por la falta de uniformidad en el manejo experimental.

Es conveniente diferenciar claramente el concepto de Error Experimental, de lo que constituyen los "**Errores Vulgares**". Los errores vulgares son aquellos producidos por ignorancia en el trabajo experimental o por confusión, por ejemplo mezclar la cosecha de dos parcelas, anotar erroneamente algunos datos, etc. Los errores vulgares cuando existen y se comprueban, es necesario eliminar una parte de los resultados, sí es posible, o bien eliminar todo el experimento. De ahí que, debe prestarse una gran atención en la práctica experimental

2.1.2. Como reducir el Error Experimental

Se supone que el error experimental es uniforme para todas las U.E., su distribución es normal, su media es cero y su variación está estimada por medio de la varianza , (S^2_e). No se puede eliminar el error experimental, *pero si reducirse*, con el fin de obtener una mejor estimación del efecto de los tratamientos. Entre las modalidades o técnicas más recomendadas para reducir el Error, Reyes C. (1982), señala las siguientes :

- a. Utilización de U.E. tan uniforme como sea posible (suelos homogéneos), en el caso de parcelas experimentales, o bien que los animales sean homógenos en peso, edad, sexo, etc.
- b. El tamaño de las Unidades Experimentales a usar que sea el más adecuado.
- c. Eliminación del efecto de orilla y competencia mútua entre tratamientos. Esto es, uso de parcela útil, (P.U.)
- d. Utilización de un eficiente número de repeticiones para cada tratamiento.
- e. Manejo de las U.E. tan uniforme como sea posible (riegos, densidad de siembra, fertilización, control de plagas y malezas). También alimentación, albergue y control higiénico de los animales.
- f. Poner a todos los tratamientos en igualdad de condiciones; de manera que, si alguno es superior a los demás tenga la oportunidad de mostrarlo.
- g. Adecuada distribución de los tratamientos por medio de sorteos, estratificación; en otras palabras una buena azarización.
- h. Aplicación de métodos estadísticos, que permitan separar las diversas causas de variación y obtener el mejor provecho de los resultados, esto es, el uso del Diseño Experimental apropiado.

2.2. Porqué los Métodos Estadísticos son necesarios en la Experimentación Agrícola ?

Los experimentos son llevados a cabo para que proporcionen información, pero en muchos experimentos la generación de la información deseada, depende en gran medida de la

valoración que se haga de las situaciones experimentales.

Los datos biológicos son inevitablemente complejos; por lo que, el investigador se encuentra siempre en la situación de decidir si las comparaciones que miden los efectos de los tratamientos revelan las suficientes diferencias como para que no puedan ser atribuidas al azar o a la variación incontrolada. Por mucho que se intente, no se puede tener todas las fuentes de variación bajo control. Los datos siempre muestran diferencias que provienen de fuentes en las cuales no se tiene interés. Tal error de variación puede enmascarar el efecto de los factores que se desean investigar; de manera que, las comparaciones por medio de las cuales se establecen el efecto entre los tratamientos, pueden ellas mismas reflejar la variación proveniente de estas fuentes no controladas y a menudo desconocidas; *por lo tanto, para evaluar la gran variabilidad de la mayoría de los materiales experimentales, se requiere el uso de métodos estadísticos que aseguren la exactitud de las conclusiones con el mínimo gasto de recursos y esfuerzos humanos.*

Algunos investigadores no utilizan los modernos diseños experimentales ni ninguna prueba estadística en sus procedimientos de trabajo; de hecho, aseguran que no lo necesitan. Unos pocos tienen la tendencia de examinar estadísticamente cada uno de los datos obtenidos aunque no sea necesario, este último grupo no toma decisiones, ni publican los resultados sin hacer gala de la estadística.

En algunos casos las diferencias son tan grandes y los datos tan consistentes que la evaluación estadística rigurosa no es esencial. Sin embargo, hay muchos problemas experimentales que requieren de manera indispensable el apoyo de la estadística para asegurar una completa evaluación de los datos.

Hoy por hoy, casi ninguna rama de las ciencias físicas o biológicas, está libre de las matemáticas o de la estadística. Porque se debe partir de conocimientos claramente demostrados, es que la estadística (como ciencia) trata del desarrollo y aplicación de métodos y técnicas para la recolección, análisis e interpretación de datos de modo que la inseguridad de las conclusiones se pueda evaluar por medio de las matemáticas de las probabilidades, (Ostle B., 1981).

Los resultados experimentales no son, desde luego, absolutos sino relativos; de manera que, las bases que proporcionan para la acción no pueden ser absolutas o perfectas, sino solamente son más o menos confiables. *Los métodos estadísticos tienen como función evaluar la confiabilidad de los resultados experimentales, el análisis y condensación apropiada de los datos experimentales;* por eso, ante todo debe tenerse siempre presente que la estadística es sólo una herramienta que se utiliza en la implementación del trabajo investigativo.

Desde el punto de vista estadístico, lo ideal sería que cada agrónomo investigador tenga dominio de las herramientas de análisis que le proporciona la estadística, así como bien calificado en su propio campo, (Suelos, Sanidad Vegetal o Cultivos). Sin embargo, el investigador que trabaja con organismos vivos debe ser naturalista, esto es: agrónomo, zootecnista, veterinario, microbiólogo, fitopatólogo etc. Evidentemente los organismos con los cuales trabaja (plantas o animales), se desarrollan en condiciones que varían en tiempo y espacio, por eso, debe también conocer los Métodos Estadísticos que le permitan valorar los errores cometidos durante las observaciones, confrontar los datos obtenidos, determinar las relaciones entre magnitudes y fenómenos estudiados, elaborar conclusiones correctas y argumentarlas científicamente.

En primer lugar siempre debe hacerse una valoración biológica de los datos experimentales obtenidos y después aplicar los métodos estadísticos a los datos. Si en la valoración inicial se comprueba que los datos no están argumentados desde el punto de vista biológico, que hay errores en su obtención, los mismos deben de ser depurados o excluídos, ya que su análisis biométrico no tendría sentido.

El destino del experimento se decide en el proceso de su realización, los métodos estadísticos pueden ayudar, pueden mostrar si se ha trabajado bien, es decir con exactitud y si los datos son representativos, etc. *La aplicación de los métodos estadísticos solo permite expresar matemáticamente lo que existe de modo objetivo y se observa, pero no descubrir la esencia y causas de los fenómenos, por ello los datos siempre deben ser sometidos a un análisis agrobiológico y no sólo estadístico.*

2.3. Hipótesis y Prueba de Significancia Estadística

Al probar una hipótesis, se está interesado en la suposición de que la diferencia verdadera tenga algún valor específico, siendo cero el caso más común (H_0). Se parte del conocimiento de que una **hipótesis estadística es una suposición hecha respecto a la función de distribución de una variable aleatoria, o en términos prácticos es un supuesto referente a algún parámetro**. La Hipótesis nula (H_0) se usa para determinar si un tratamiento tuvo algún efecto, se considera la H_0 como la ausencia de efectos ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$).

Cuando se trata de estimación estadística la dificultad surge debido a la variabilidad aleatoria típica de los datos experimentales, estos datos nunca están exactamente de acuerdo con la hipótesis y el problema es, decidir si la discrepancia (ó diferencia) entre los datos y la hipótesis va ha ser atribuida a las variaciones aleatorias o al hecho de que la hipótesis es falsa

realmente. La contribución de la estadística para resolver este problema es la técnica conocida como **PRUEBA DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA**, la cual es el procedimiento estadístico que consiste en verificar la probabilidad de que las medias tan divergentes como aquellas provenientes de las muestras, pudieran ocurrir "por casualidad", si estas fueran en realidad muestras aleatorias de poblaciones $-N(0, s^2_e)$ normalmente distribuidas con medias y varianzas iguales, (Little y Hills, 1981).

Al realizar una prueba de significancia dos resultados son posibles alcanzar :

- a.** Si el análisis estadístico conduce a la conclusión de que se puede esperar que tales diferencias entre las medias ocurran con bastante frecuencia "**POR CASUALIDAD**", esto nos lleva a aceptar la H_0 y se concluye que no existen suficientes evidencias para afirmar que el efecto de los tratamientos es real.

Esto puede expresarse de una forma mas simple : Si $P(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) > 5\%$

"POR CASUALIDAD": Es indicativo que la diferencia observada entre las medias es obviamente casual, puesto que ocurre por casualidad frecuentemente (por ejemplo 20, 60, 80, 90 ó 95 veces de 100) y sólo existe una probabilidad de éxito menor del 5% de que esa diferencia sea producto del efecto del tratamiento y no de causas aleatorias. De ahí que, este resultado conduce a afirmar que el efecto de los tratamientos **NO ES REAL, SINO CASUAL**, entonces se acepta H_0 de que **no hay efecto de los tratamientos**. Queda claro el hecho de que las diferencias observadas en las medias muestrales son meramente casuales, fortuitas o aleatorias. En el cuadro 2.1., se sintetiza tal interpretación .

- b.** Si el análisis estadístico indica que las diferencias observadas rara vez podrían ocurrir **POR CASUALIDAD**, en muestras aleatorias extraídas de poblaciones con medias y varianzas iguales, se rechazará la H_0 . y se concluirá que al menos un par de tratamientos tienen efectos reales. Se dice que al menos un par de las medias es significativamente diferente de las otras.

Análogamente puede simplificarse : Si $P(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) < 5\%$

"POR CASUALIDAD": es indicativo de que las diferencias observadas entre las medias existen realmente, puesto que ocurre rara vez por casualidad esa diferencia, (5 veces de 100), es decir, solo hay un 5% de probabilidad de que esa diferencia observada, sea producto de razones casuales y no producto de los factores que evaluamos. Por tratarse de un experimento, en el cual todos los factores son constantes excepto los que deseamos evaluar

(los tratamientos), esto conduce a afirmar que existe una probabilidad de éxito del 95% de que las diferencias observadas se deben realmente al efecto de los tratamientos. **Entonces se rechaza la H_0 y se acepta que sí, el efecto de los tratamientos es REAL y no CASUAL.** En el cuadro 2.1., se sintetiza lo antes expresado.

Cuadro 2.1. Acerca de la Prueba de Significancia'Estadística

DECISION	EFFECTO CASUAL	EFFECTO REAL
	$(H_0: \mu_1 = \mu_2)$	$(H_0: \mu_1 \neq \mu_2)$
ACEPTO H_0	X	
RECHAZO H_0		X

En agricultura es conveniente usar una probabilidad de error, o de rechazar la hipótesis nula siendo verdadera (**alfa**) de 5% ó 1 %, el cual debe de interpretarse como el margen de error que el investigador prudentemente se fija, atendiendo al grado de precisión estadística con que se pretende presentar los resultados.

El 5% (nivel de significación), indica que el experimentador está dispuesto a aceptar los resultados, sabiendo que hay una probabilidad de 5% que las conclusiones que él emita a partir del experimento sean erradas o deberse a la casualidad. El 1% (nivel de significación), indica que el experimentador está dispuesto a aceptar los resultados, sabiendo que hay una probabilidad de 1% que las conclusiones que él emita a partir del experimento sean erradas o deberse a la casualidad.

Si la probabilidad de que la variación aleatoria observada entre las medias, pudiera ocurrir por casualidad es de un 5% o menos se dice que las medias son SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES, y se simboliza con un asterisco el estadístico F_c . Si la probabilidad de que la variación observada entre las medias la cual pudiese esperar ocurriera por casualidad es de 1% o menos, se dice que las diferencias son ALTAMENTE SIGNIFICATIVAS y se simboliza con dos asteriscos el estadístico F_c .

El hecho que la H_0 no sea rechazada y que se concluya que no existen diferencias significativas entre las medias; no prueba que algunos de los tratamientos no produjeron efecto. Siempre hay una probabilidad definida (por mínima) que sea de que existió un efecto real, pero que el experimento no tuvo la precisión necesaria para detectar la diferencia en el nivel de probabilidad deseado, (Little y Hills, 1981).

2.4. Principios Básicos del Diseño Experimental

Diferentes autores,- Cochran y Cox (1981); Ostle B., (1981); Little y Hills, (1981); - han establecido que hay tres principios básicos del Diseño Experimental.

2.4.1. Repetición

Por repetición se entiende la reproducción del experimento básico o en términos más técnicos, la réplica, (Li Ch. Ch., 1969). Rara vez una sola observación o un hecho único permite sacar una conclusión. "La experimentación es esencialmente un proceso para conocer y solo se conoce mediante la repetición".

Al repetir una observación cualquiera, el investigador se encuentra con que la segunda vez los resultados no son idénticos a los obtenidos inicialmente. En realidad pueden ser totalmente diferentes. En el análisis de los experimentos hay que tener en cuenta ésta variación.

Realmente hay muchas fuentes de variación. Las sucesivas medidas sobre un mismo objeto darán diferentes lecturas debido a la variación humana en el acto de tomar las observaciones, a la variación del instrumento al indicar la medida exacta o debido a ambas cosas. Cuando las medidas no se toman sobre un mismo objeto, sino sobre un grupo de objetos aparentemente uniforme, se introduce otra fuente de variación ya que, dos objetos nunca son realmente idénticos. *"La variación es un fenómeno fundamental en las Ciencias Biológicas: algunas variaciones son sistemáticas y se pueden explicar, pero otras son aparentemente fluctuaciones al azar, que sólo se pueden observar y describir mediante observaciones repetidas, bajo determinadas condiciones en las cuales se controlan las variaciones sistemáticas. El objetivo principal de la experimentación consiste en separar las variaciones sistemáticas de las debidas al azar, mediante observaciones repetidas". Es evidente que la repetición, la elección al azar y la estimación del error, se entrelazan para convertirse en una operación completa de la experimentación y no se puede tener una sin las otras dos,* (Ostle B., 1981).

Función de la Repetición :

- a. Proporciona una estimación del error experimental:** actúa como una unidad básica de medida para indicar el significado de las diferencias observadas.

b. Brinda una medición más precisa de los efectos de los tratamientos:

De ahí que la reproducción: Hace posible la prueba de significancia estadística, (Little y Hills, 1981).

2.4.2. Aleatorización o Azarización

Aleatorización es la asignación de tratamientos a las Unidades Experimentales (U.E.), de modo que todas las unidades consideradas tengan igual probabilidad de recibir un tratamiento cualquiera". *Esto permitirá asegurar estimaciones imparciales de las medias de tratamientos y del error experimental".*

Habiendo mencionado que la repetición proporciona una estimación del error experimental, que puede usarse para indicar el significado de las diferencias observadas; es evidente que, "La reproducción hace posible una prueba de significancia" . . . Pero que es lo que hace válida tal prueba?. Es conocido que cada procedimiento de prueba tiene ciertas suposiciones fundamentales, que deben satisfacerse si la prueba va a ser válida.

Función de la aleatorización :

Tal vez la suposición más frecuente es que las observaciones (o los errores en ellas) están distribuidas independientemente. "Como se puede comprobar que esa suposición es verdadera?". Insistiendo en una muestra al azar de una población o sobre una asignación al azar de tratamientos a las U.E. se puede proceder como cuando la suposición es verdadera. **Es decir, "La aleatorización hace válida la prueba de significación, haciéndola apropiada para analizar los datos como si la suposición de errores independientes fuera cierta".**

En cualquier experimento, la independencia de errores completamente verdadera, es sólo ideal y nunca puede lograrse. Sin embargo, por todo concepto debe buscarse tal independencia y la aleatorización es la mejor técnica empleada para lograr el fin deseado.

2.4.3. Control Local

Este principio del Diseño experimental, permite ciertas restricciones sobre la selección aleatoria para reducir el error experimental. **El control local se refiere a la cantidad de balanceo, bloqueo y agrupamiento de las Unidades Experimentales que se emplean en el Diseño adoptado.** Anteriormente se explicó que la reproducción y la aleatorización hacen una prueba de significación posible y válida, entonces cuál es la función del control local ?

Función del control local :

"**Hacer al Diseño Experimental mas eficiente**". Es decir, el control local hace más sensitiva cualquier prueba de significación. Este aumento de eficiencia (ó sensibilidad) resulta porque el uso adecuado del control local reducirá la magnitud de la estimación del error experimental", (Ostle B., 1981).

Criterios de Agrupamiento

Las parcelas cercanas entre sí, tienden a ser más similares en sus rendimientos que parcelas más separadas. La práctica casi universal es la de "poner parcelas vecinas en el mismo grupo, con los grupos aproximadamente de forma cuadrada, siempre que sea posible". Con frecuencia, la contigüidad forma una buena base para el agrupamiento, inclusive en experimentos de invernadero, donde las diferencias pueden existir a lo largo de un espectro en temperatura, luz, solar, corriente de aire, o accesibilidad al riego.

En muchos experimentos con plantas y particularmente en experimentos con animales, algunas características de la planta o animal es mucho más útil; la localización física de la U.E. a través del curso de la prueba, tiene una influencia relativamente menor en los resultados. "La edad, el peso, el vigor, el sexo y la constitución genética", son algunos de los factores mas comúnmente usados como criterios de agrupamiento en zootecnia.

En experimentos de campo, el agrupamiento puede establecerse de manera que se acomoden todos los tratamientos, en un mismo bloque, esto es lo que se conoce como Bloques Completos. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el error estandar por parcelas tiende a incrementarse lentamente cuando el tamaño del bloque se aumenta. En experimentos con un gran número de tratamientos, se han hecho numerosos intentos por evitar esta pérdida de presición, por medio de la formación de grupos de U.E. que no contienen todos los tratamientos y que pueden así permanecer pequeños. Estos grupos son llamados Bloques Incompletos.

Los bloques incompletos están hechos de tal manera que, aún se puede eliminar el efecto de las diferencias entre grupos, tal como estas diferencias son automáticamente eliminadas en el Diseño en Bloques al Azar. Con Bloques incompletos, sin embargo, ésta eliminación comúnmente requiere de la aplicación de ajustes a las medias de los tratamientos, en tal forma que el análisis estadístico de los resultados llega a ser mas complejo, (Cochran y Cox, 1981).

2.5. Concepto, Objetivo e Importancia de la Experimentación Agrícola

2.5.1. Qué es la Experimentación Agrícola ?

La experimentación es un método científico de investigación que consiste en hacer prácticas destinadas a demostrar, comprobar o descubrir fenómenos o principios básicos. **La Experimentación Agrícola en particular, comprende las pruebas, ensayos, observaciones, análisis o estudios prácticos de todo aquello que interesa en la agricultura. Se considera una investigación cuando se estudia la relación causa y efecto de un fenómeno.**

De acuerdo al criterio establecido por Reyes C. (1982), la experimentación agrícola puede considerarse tanto un Arte como una Ciencia.

COMO ARTE : Por la habilidad necesaria para ingeniar, planear o aplicar un conjunto de técnicas, a fin de eliminar causas extrañas y realizar experimentos de campo y de laboratorio o de invernadero. Por lo tanto, el Diseño de experimentos, es una parte esencial de la experimentación agrícola, de ahí la necesidad de conocer con claridad el concepto de Diseño de un Experimento.

Qué se entiende por el Diseño de un Experimento?. Diseñar un experimento significa, "*Planear un experimento, de modo que se reuna la información que sea pertinente al problema bajo investigación". El diseño de un experimento es entonces, la secuencia completa de pasos tomados de antemano para asegurar que los datos apropiados se obtendrán de modo que permita un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas con respecto al problema establecido, (Ostle B., 1981).*

Tal definición del Diseño de un Experimento implica, por supuesto, que la persona que formula el diseño entienda claramente los objetivos de la investigación propuesta.

COMO CIENCIA : Por la aplicación del Método Científico y un conjunto de conocimientos para el desarrollo de tecnologías, que permitan formar nuevos tipos de plantas o nuevas prácticas agrícolas, que conduzcan al incremento de la producción agrícola o pecuaria.

2.5.2. Objetivo de la Experimentación Agrícola

El objetivo de la experimentación agrícola, es proporcionar la cantidad máxima de información relativa al problema bajo investigación. Sin embargo, también es importante que el Diseño o programa de prueba sea tan simple como sea posible; además la investigación debería conducirse lo mas eficientemente posible. Esto es, debe hacerse, todo esfuerzo para

ahorrar tiempo, dinero, personal y material experimental.

Afortunadamente, la mayoría de los Diseños estadísticos simples, no sólo son fáciles de analizar sino también son eficientes en ambos sentidos, el económico y el estadístico.

Habiendo dicho que el propósito de la experimentación, es proporcionar la máxima cantidad de información al mínimo costo, es evidente que la experimentación implica tanto a la metodología estadística, como el análisis económico. Una persona que plantea un experimento debería incorporar ambos factores en sus diseños, para lograr eficiencia estadística y economizar recursos.

2.5.3. Importancia de la Experimentación Agrícola

La importancia de la experimentación agrícola se debe principalmente a que descansa en ella el progreso de la agricultura mundial. Cualquier idea formulada en relación con la producción agropecuaria, por genial que pueda ser, necesita pasar por el crisol de la experimentación, para que pueda ser aceptada y divulgada. La introducción y generalización de variedades nuevas en determinadas regiones o países, el establecimiento de métodos genéticos para la mejora de las plantas, las normas en que descansa la aplicación de fertilizantes, la modificación paulatina que han sufrido las prácticas culturales en el transcurso del tiempo, los métodos de combate y prevención de las plagas, enfermedades y cuantos hechos han contribuido a la evolución de la agricultura, se han establecido como consecuencia de experimentos de campo, llevados a cabo en cada ocasión de acuerdo al grado de perfección alcanzado, en el momento de la técnica experimental, (De La Loma, 1966).

2.6. Relación de la experimentación agrícola con las diferentes ramas de la Agronomía

En la planeación o diseño de un experimento para realizar una investigación, es necesario aplicar un conjunto de disciplinas y conocimientos agronómicos con el fin de encontrar respuestas correctas al problema específico. Para lograr lo anterior, es necesario contar con los siguientes conocimientos sobre:

- 1.- Suelos, a fin de elegir el terreno y poder escoger el más uniforme y adecuado para realizar experimentos sobre fertilización o aplicar abonos químicos comerciales u orgánicos.
- 2.- Topografía, hidráulica para trazar parcelas, riegos, etc.
- 3.- Biología, Botánica, Entomología, Fitopatología, Fisiología Vegetal, Genética,

- Ecología, etc. para trabajar con seres vivos.
- 4.- Tecnología de cultivos y Zootecnia, para manejar las unidades experimentales.
- 5.- Estadística (Biometría o Bioestadística), para evaluar y separar las diversas causas de variación y la interpretación de los resultados experimentales.

2.7. Premisas fundamentales al realizar el trabajo experimental

Para que el trabajo experimental se realice correctamente, son necesarias determinadas premisas; Ivanov Z. (1977), establece las siguientes :

2.7.1. Relación estrecha entre el trabajo experimental y la producción

Esta es necesaria porque en la producción surgen tareas inmediatas, como también cuestiones problemáticas a largo plazo, las cuales debe investigar la experimentación agrícola para ser efectiva y cuya solución debe fundamentarse científicamente.

2.7.2. Conocimiento y utilización del método científico

Esto dará la posibilidad al investigador de seleccionar entre los múltiples problemas surgidos, los fundamentales, los más esenciales, de más perspectiva y dirigir su atención a su solución. Además de esto, es necesario el uso del método científico para facilitar la solución de las cuestiones biológicas.

2.7.3. Correcta interpretación de la relación entre el organismo y el medio ambiente

Es necesario una idea correcta sobre las relaciones entre el organismo y el medio que lo rodea, sobre la importancia de los distintos factores del medio en la formación del organismo, en las condiciones concretas del lugar dado.

También es necesario una interpretación correcta del papel de las posibilidades hereditarias del organismo en la formación de la producción en un ambiente dado, etc. La interpretación de todos estos factores dará la posibilidad de combinar lo mejor posible, en una investigación dada, el conjunto de causas que condicionan el desarrollo del organismo y esto creará las condiciones típicas necesarias al realizar el trabajo experimental.

2.7.4. Presencia de conocimientos técnicos amplios y profundos en la especialidad

El dominio de conocimientos técnicos amplios en la esfera de la agronomía, profundos y generales por el experimentador, conocimientos de las condiciones del suelo, clima, histórico-natural y económicos de la región donde el investigador va a realizar el trabajo y la tendencia general de variación de estas condiciones en el futuro, son importantes como premisas para el trabajo experimental.

2.7.5. Análisis de los factores desde todos los puntos de vista

Cada problema surgido debe ser, enfocado desde distintos ángulos. De lo expuesto anteriormente se desprende que el experimentador debe ser un especialista de amplia visión. Sin embargo, esto no excluye, sino por el contrario presupone, la colaboración de diversos especialistas, en dependencia de los objetivos y las tareas del trabajo experimental correspondiente.

Con esto cada experimentador está obligado a conocer y estudiar los trabajos de otros autores especialistas en la materia, debe de estar al día en los trabajos de investigación y los más recientes. Además, debe tener dedicación y tenacidad por su trabajo.

2.8. Exigencias fundamentales al realizar un experimento de campo

2.8.1. Tipicidad (representatividad)

El concepto de tipicidad del experimento es sumamente amplio y complejo, pero ante todo, significa que el experimento se debe llevar a cabo en condiciones de suelo, climáticas, agrotécnicas, etc. análogas a aquellas donde se aplicarán posteriormente las conclusiones, formadas sobre la base de su realización.

La cuestión de la tipicidad del experimento, está indisolublemente ligada con la cuestión de la aplicación en la práctica de los resultados obtenidos de éste y por eso debe ser valorado a fondo, desde el comienzo del trabajo, al diseñar el experimento. Un experimento será efectivo, o sea los resultados y las conclusiones hallarán aplicación en la producción, cuando el material con que se trabaja y las condiciones en que se efectuará corresponda con las condiciones de producción y a la tendencia de variación que tengan esas condiciones en perspectivas.

Un experimento puede haber sido realizado muy bien y sus resultados pueden ser excelentes, pero sino se ha mantenido el requisito de tipicidad, es lo mismo, que sí de ese experimento no hubiera un aporte práctico. Un experimento dado será típico, únicamente cuando sea realizado en un lugar tal que sus condiciones climáticas y de suelo, sea representativas de esas mismas condiciones en la región a que se destine. Sería incorrecto, si los resultados que se destinan por ejemplo a un suelo arcilloso, han sido demostrados sobre un suelo arenoso.

En el concepto de tipicidad, se incluye el requisito de realizar los experimentos de campo, en concordancia con el nivel agrotécnico y de producción de la agricultura de la región correspondiente. Esta parte constituyente del concepto de tipicidad es sumamente dinámica y variable. Las condiciones de la producción agrícola se desarrollan y perfeccionan incesantemente, producto de lo cual, las condiciones típicas de producción y agrotécnicas para un momento dado, después de un tiempo no muy largo dejan de ser típicas.

Entre los investigadores mucho se discute con relación al nivel agrotécnico con que se debe hacer el trabajo de investigación y particularmente sobre la realización de los experimentos de campo. Unos están por la agrotécnica normal, correspondiente al nivel de producción, otros consideran más conveniente la aplicación de una agrotécnica elevada al realizar el trabajo experimental. Ivanov Z. (1977), sostiene : "A causa de que las conclusiones y recomendaciones del trabajo investigativo y sobre todo de los experimentos de campo, se hacen generalmente después de trabajar varios años, el investigador debe conocer las perspectivas en el desarrollo de las condiciones de producción, y por tanto realizar los experimentos con una agrotécnica alta. En esta situación las conclusiones serán correctas y las recomendaciones serán útiles en la práctica de la producción".

2.8.2. Disminución del error sistemático (Uniformidad)

Al conducirse un experimento debe tratarse de asegurar que las parcelas experimentales que reciban un tratamiento no defieran sistemáticamente de aquellas que reciben otro tratamiento, de manera que pueda obtenerse una estimación imparcial del efecto de los tratamientos.

Es por esa razón que debe de procurarse al máximo el realizar el experimento de campo en un lote especialmente separado, que tenga un historial agrotécnico bien conocido y con un alto grado de uniformidad en la fertilidad del suelo. Estas exigencias son una consecuencia lógica de la necesidad de uniformizar las condiciones para todos los tratamientos en estudio, variando solamente el factor o los factores objeto de estudio. A partir de esta concepción es

necesario la organización de campos experimentales especiales, donde se inviertan muchos esfuerzos para mantener la homogeneidad del suelo.

2.8.3. Grado de precisión experimental

El más importante de todos los requisitos, cuando se realiza un experimento de campo, es una alta precisión en todos los procesos del trabajo experimental. Un experimento bien planeado, debe permitir al investigador medir diferencias de tratamientos con el grado de precisión esperado; al mismo tiempo implica que, existe siempre algún grado de incertidumbre en cuanto a la validez de los resultados. Por supuesto, esta exigencia está íntimamente relacionada con el Diseño Experimental y el número de repeticiones a usar, es decir, que permita evaluar la probabilidad de obtener los resultados observados debido únicamente al azar.

Que no se cometan errores al establecer el experimento y durante la realización del mismo, es una tarea de primer orden. Por esto para obtener resultados precisos hay que tener extremos cuidados en la conducción o manejo experimental. En términos prácticos, el concepto de precisión experimental se contrapone al concepto deficiencias en el trabajo experimental. Cuanto menores y más insignificantes sean los errores al llevar a cabo los experimentos, tanto más alta es la precisión experimental obtenida y viceversa.

Estrechamente vinculado al concepto de precisión experimental está el concepto **Veracidad, tanto en Esencia como Matemática** : Por veracidad se entiende, la validez de la solución a un problema científico, la cual es tan compleja como la metodología misma implementada para su solución. Si el experimento fue establecido y conducido con seguridad, es de esperar una alta veracidad de los resultados finales. Es decir, que en esencia el experimento por su planteamiento metodológico y por su conducción técnica, debe responder al objetivo con que fue establecido, por supuesto que debe existir una correspondencia lógica en cuanto a la significancia o diferencias que resulte entre los tratamientos estudiados.

2.8.4. Control efectivo de las medidas y observaciones

Para comparar los tratamientos de un experimento, es necesario anotar las manifestaciones vitales de los organismos y registrar con exactitud los rendimientos de ellos obtenidos. Este es también un requisito fundamental sin el cual no se puede determinar las causas de las diferencias entre los tratamientos. Se debe seguir sistemáticamente el cumplimiento de los objetivos del experimento, durante el tiempo del desarrollo del mismo.

2.8.5. Rango de validez de las conclusiones

Las conclusiones deben tener un rango de validez tan amplio como sea posible. Este requisito es básico en la realización del experimento de campo, dado que por la compleja variabilidad de los seres vivos (plantas o animales), no es posible extraer los resultados obtenidos en un experimento determinado a cualquier condición medio-ambiental.

La repetición de un experimento en tiempo y espacio ayudará a incrementar el rango de validez de las conclusiones que puedan darse del mismo. Los experimentos factoriales, tienen la ventaja de estudiar los efectos de un factor simultáneamente con los niveles variantes de uno, dos o más factores, esto también permite incrementar el rango de validez de las conclusiones.

2.9. Clasificación de los experimentos de campo

Como es natural, esta agrupación es condicional, es relativa a diversos indicadores de orden práctico. Ivanov Z. (1977), clasifica los experimentos de campo tal como sigue :

2.9.1. De acuerdo al lugar en que se desarrollan los experimentos

- a. En estaciones experimentales; b. En centros de producción**

2.9.2. De acuerdo a su finalidad u objetivo

a. Experimentos Agrotécnicos en sentido general : Todos los experimentos que tienen por objetivos la determinación del papel de una u otra medida agrotécnica o sistemas de medidas agrotécnicas para elevar los rendimientos de un cultivo, entran en la primera categoría de los experimentos agrotécnicos. En este grupo se incluyen todos los experimentos de : Fertilización; Preparación del suelo; Irrigación; Determinación del cultivo procedente en la rotación; Tiempo, modo y profundidad de siembra más adecuada; Densidad de siembra más adecuada; Medios y métodos más idóneos para luchar contra plagas y enfermedades. Todos estos y muchos otros se clasifican como experimentos agrotécnicos, los cuales ocupan en la investigación agrícola una esfera muy amplia de problemas.

b. Experimentos de mejoramiento genético : A la segunda categoría pertenecen los experimentos de comparación de variedades. A través de ellas, se trata de determinar el rendimiento y las cualidades de la producción de las distintas variedades de un cultivo dado.

Se pueden agrupar en ésta categoría los experimentos para determinar el efecto del crecimiento y desarrollo de variedades, así como los experimentos para investigar el papel de la polinización artificial complementaria en algunos cultivos, también los experimentos para examinar el rendimiento y la importancia de distintas generaciones de semillas de una variedad y además, semillas de una variedad pero de diferentes orígenes geográficos, etc.

2.9.3. De acuerdo a su Rotación

a. **Permanentes** : Son aquellos que se establecen en las rotaciones de cultivos instaladas en los campos experimentales de los institutos científicos de investigación y las estaciones experimentales y se alternan en las parcelas del cultivo.

b. **Temporales** : Son aquellos que se establecen en parcelas sin rotación de cultivo predeterminada y sobre todo en áreas de producción.

2.9.4. De acuerdo al tamaño de la parcela se clasifican en

a. **Micro-experimentos** : Generalmente coinciden con los experimentos preliminares o de orientación como también se les llama.

b. **Normales o Regulares** : Son fundamentales para resolver un problema dado y coinciden muchas veces con los experimentos permanentes.

c. **Macro-experimentos** : Son aquellos que ocupan grandes áreas que coinciden con los experimentos de producción y se realizan, sobre todo en las condiciones de producción (validación tecnológica).

2.9.5. De acuerdo a su duración

a. **Anuales**: Como su nombre lo indica son aquellos experimentos que tienen como duración solo un año. De este tipo de experimentos no se pueden hacer conclusiones completas y definitivas sobre la calidad de los tratamientos porque en ellos se reflejan las variaciones de las condiciones externas en el tiempo.

b. **De varios años** : Son aquellos que se realizan por 2 ó 3 años. Este tipo de experimentos es el más común y los resultados de los mismos tienen gran confiabilidad, ya que se replican en condiciones ambientales diferentes. A veces se hacen con dos años pero lo más recomendable es que se realicen durante 3 años.

c. Permanentes : Sobre la base de resultados de más de 3 años se elaboran conclusiones estables y mucho más objetivas. En este sentido la categoría de experimentos de larga duración son aquellos que se realizan durante decenas de años con una tarea determinada y de un mismo modo, proporcionan el más rico y variado material para evaluaciones prácticas.

2.9.6. De acuerdo con su relación con otros experimentos

a. Unitarios : Son aquellos que se efectúan solamente en un lugar con una tarea concreta determinada y no tienen relación con otros experimentos.

b. En serie : Se establecen en muchos lugares simultáneamente según una misma metodología, con vista a resolver un mismo problema a una escala, tales son por ejemplo, los experimentos de fertilización para establecer la necesidad de nutrientes en un tipo de suelo dado a nivel nacional. También los experimentos de comparación de variedades que se realizan en lotes, para examinar variedades dispersas por todo el territorio nacional. Mediante los experimentos en serie se acelera la solución de un problema dado y además es un medio de acción muy amplio, a veces hasta nacional.

2.9.7. De acuerdo al número de factores que intervienen en el estudio

a. Unifactoriales : En los experimentos Unifactoriales el objetivo de investigación es un sólo factor. Ellos se han elaborado sobre el principio de la diferencia única y por lo tanto las condiciones para el desarrollo de las plantas son uniformes con excepción del factor investigado. En el experimento unifactorial puede ser objeto de investigación el efecto de distintos modos de preparación del suelo, la época óptima de aplicación de un pesticida el comportamiento de diferentes herbicidas en el control de las malas hierbas en un cultivo determinado.

Por ejemplo, si se establece un experimento de comparación de variedades, para determinar cual es la más productiva, se debe mantener todas las otras condiciones lo más uniforme posible, por lo que el suelo debe ser igual en su calidad y preparado del mismo modo, la siembra, los cuidados durante el período vegetativo, la fertilización, el modo de recoger la cosecha y todas las otras influencias sobre las variedades deben ser ejercidas de igual manera. Solamente así, puede ser revelado el papel del factor investigado en los resultados del experimento.

b. Multifactoriales : En el proceso de desarrollo de la experimentación agrícola la actividad de investigación dirige cada vez más sus esfuerzos a dilucidar la influencia simultánea de varios factores sobre el desarrollo de los organismos.

Mediante la compilación gradual del esquema experimental, se realiza el experimento multifactorial, donde el principio de la "**Diferencia Unica**" es sustituido por el principio de la "**Diferencia Múltiple**".

Actualmente en la experimentación agrícola, el estudio de muchos problemas agronómicos se lleva a cabo mediante un solo experimento con todas las combinaciones posibles entre los niveles de los factores investigados y como los resultados obtenidos son de un experimento único es totalmente posible la obtención de información, tanto sobre la acción compleja de los factores investigados como la influencia principal de cada factor y además sobre la denominada interacción de los factores.

CAPITULO 3.

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA HETEROGENEIDAD DEL SUELO (b)

3.1. Principios Generales e Importancia de la Heterogeneidad del Suelo

La heterogeneidad del suelo es un fenómeno generalizado y persistente, el cual debe tomarse en cuenta para cada trabajo experimental. La importancia de la Heterogeneidad del suelo es tal, que se requiere del mayor cuidado de las técnicas y prácticas agronómicas, así como hacer uso de los métodos estadísticos modernos para analizar los datos experimentales, con el fin de corregir o reducir al menos, el efecto distorsionador de la heterogeneidad del suelo sobre la influencia de los tratamientos, ya que puede enmascarar el efecto significativo de los factores objeto de estudio, (Reyes C., 1982).

Está establecido por diferentes autores, -Steel y Torrie, (1985); Gómez y Gómez, (1984); Lugo Ch. (1977)-, que la heterogeneidad del suelo es el factor que tiene fundamental importancia en la determinación del número de repeticiones así como el tamaño y forma de la parcela experimental; por lo tanto, la determinación del coeficiente de heterogeneidad del suelo (por los métodos matemático-estadísticos), es de singular importancia para obtener una información científicamente fundamentada y de ahí que el experimento de campo realizado asegure resultados objetivos, exactos y veraces, de utilidad para la práctica en la producción.

Ante todo, el procedimiento para determinar el coeficiente de heterogeneidad del suelo “**b**” se basa en la ley empírica de Smith F. (1938), el cual lo estableció como el coeficiente de regresión de la ecuación del logaritmo de la varianza de las parcelas básicas (V_1), menos el logaritmo del número de las parcelas elementales (X).

$$\text{Log } Vx = \text{Log } V_1 - b \log X$$

Las varianzas no ponderadas obtenidas por el método de Ficher, partiendo de los datos obtenidos de experimentos de campo establecidos en Bloques Completos al Azar (B.C.A), Diseño de Parcelas Divididas (D.P.D.), Diseño de Parcelas Subdivididas, Diseño de Látices o bien partiendo de datos obtenidos en Ensayos de Uniformidad, se analizan por el método de Koch y Rigney (1951), lo que permite su correspondiente ponderación.

Con las varianzas ponderadas obtenidas, se aplica el método de Hatheway y Williams (1958), lo que permite obtener el coeficiente de regresión ponderado mediante el factor W_i y así, el coeficiente “**b**” expresa el grado de dependencia conjunta de las parcelas vecinas establecidas en el lote experimental; lo cual refleja la variabilidad conjunta obtenida por influencia del suelo, a esto se le denomina heterogeneidad del suelo.

El coeficiente de heterogeneidad del suelo, se utiliza principalmente para calcular el tamaño óptimo de parcela experimental. El coeficiente “**b**” expresa una única valoración

como medida cuantitativa de la heterogeneidad del suelo en determinada área. El valor de este coeficiente muestra el grado de correlación entre parcelas experimentales vecinas, variando entre la unidad y cero, ($0 < b > 1$). Cuando el coeficiente se aproxima a 1, el grado de correlación es significativo y el suelo es considerado heterogéneo; por el contrario, si el coeficiente se aproxima a 0 el grado de correlación es no significativo y el suelo se considera homogéneo. Cuando $b > 0.50$, el suelo es relativamente heterogéneo; por el contrario, cuando $b < 0.50$ el suelo es relativamente homogéneo -Reyes C., (1982); Escobar S.C., (1981); Gómez y Gómez., (1984); Exposito I., (1988); Steel y Torrie, (1985).

3.2. Determinación del Coeficiente de Heterogeneidad del suelo “b”, para datos provenientes de experimentos establecidos en Bloques Completos al Azar

3.2.1. Cálculo de las varianzas No ponderadas (V_i)

En el cuadro 3.1. se muestran los valores del análisis de dispersión, los cuales corresponden al experimento realizado por Alemán M. (1990), en la estación experimental “Raúl González” del Valle de Sébaco. El análisis de dispersión fue realizado para los datos del ensayo de comparación de variedades con el cultivo del tomate, establecido en B.C.A.. El objetivo de investigación fue la valoración agronómica e industrial de diferentes genotipos de tomate, de origen búlgaro (Martí, Topacio, Estela). El número de tratamientos en el experimento fue 5; el tamaño de las parcelas elementales (unidades básicas en el ensayo) fue de 12.8 m^2 ; el experimento fue establecido con 4 repeticiones.

Cuadro 3.1. Análisis de dispersión para los valores del rendimiento potencial obtenido (kg/p.e.). Alemán M., (1990).

Fuente de Variación	S de C	Gl	(V_i)	F_c
Bloques	288.1836	3	96.06119	1.3420
Tratamientos	211.2383	4	52.80957	0.7378
Error	858.918	12	71.5765	
TOTAL		19	CV% = 18.60%	

3.2.2. Determinación de las Varianzas Ponderadas (V'_i)

Para el diseño B.C.A. Koch y Rigney (1951), establecieron el método para la ponderación de las varianzas no ponderadas obtenidas. Los componentes correspondientes están mostrados en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Componentes de Varianzas : Varianzas no ponderadas (V_i) y Varianzas ponderadas (V'_i), para el diseño de B.C.A. Koch y Rigney, (1951).

Fuente de variación	GL	Varianzas No ponderadas (V_i)	Varianzas ponderadas (V'_i)
Bloques	$r - 1$	V_1	V'_1
Tratamientos	$t - 1$		
Error	$(r - 1)(t - 1)$	V_2	$V'_2 = \frac{(t - 1)V_2 + (r - 1)V_1}{rt - 1}$
TOTAL	$rt - 1$		

La correspondiente ponderación se realiza como sigue:

$$V_1 = V'_1 = \text{Varianza de los Bloques} = 96.06119$$

$$V'_2 = \frac{4(5-1) * (71.57) + (4-1) * (96.06119)}{20-1}$$

$$V'_2 = \frac{(16) * (71.57) + (3) * (96.06119)}{19}$$

$$V'_2 = 75.437$$

3.2.3. Aplicación del método de Hatheway y Williams, (1958)

Al final, después de que se obtienen las varianzas ponderadas, el coeficiente de heterogeneidad del suelo se calcula mediante el método de Hatheway y Williams (1958), expresado en la siguiente ecuación:

Procedimiento para determinar la Heterogeneidad del suelo (b)

$$b = \frac{SX'_i Y'_i W_i - (SX'_i W_i) (SY'_i W_i) / SW_i}{SX'^2_i W_i - (SX'_i W_i)^2 / SW_i}$$

donde:

X'_i: Es el logaritmo del número de parcelas condicionales (X_i)

Y'_i: Es el logaritmo del cociente de las varianzas ponderadas y el número de parcelas correspondientes, esto es : **Y'**_i = Log (V'_i/X_i)

W_i: Es el factor con el cual se ponderan c/u de los componentes en la ecuación, siendo

W_i = tr/X_i, para experimentos de campo establecidos en B.C.A. ó D.P.D. y

W_i = 1/V'_i, para los ensayos de uniformidad.

S : Suma

Los componentes logarítmicos para la aplicación de la fórmula de Hatheway y Williams (1958), se muestran en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Logarítmos de las parcelas condicionales y de las varianzas unitarias correspondientes al experimento de campo establecido en B.C.A

X _i	X' _i = Log X _i	W _i = tr/X _i	(V' _i /X _i)	Y' _i = Log(V' _i /X _i)
5	0.6989	4	19.2122	1.2835
1	0.0000	20	75.4370	1.8775

Al final, los elementos necesarios para el cálculo del coeficiente de heterogeneidad del suelo se ordenan para una aplicación más apropiada del método, tal como se señala en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Elementos necesarios para el cálculo del coeficiente de Heterogeneidad del suelo.

W _i	Y' _i	X' _i	X' _i Y' _i W _i	X' _i W _i	Y' _i W _i	X' _i ² W _i
4	1.2835	0.6989	3.5881	2.7956	5.1340	1.9538
20	1.8775	0.0000	0.0000	0.0000	37.550	0.0000
24	3.161	0.6989	3.5881	2.7956	42.684	1.9538

El cálculo final se realiza como sigue:

$$b = \frac{3.5881 - (2.7956) * (42.6849) / 24}{1.9538 - (2.7956)^2 / 24}$$

$$b = \frac{-1.383}{1.6282}$$

$$\mathbf{b = -0.8499}$$

3.3. Determinación del Coeficiente de Heterogeneidad del suelo “b”, para datos provenientes de experimentos establecidos en Diseño de Parcelas Divididas, (D.P.D.)

3.3.1. Cálculo de las varianzas No ponderadas (V_i)

En el Cuadro 3.5., se presentan los valores del análisis de dispersión que corresponden al experimento realizado por Pedroza H. (1985), en la estación experimental “Raúl González” del Valle de Sébaco.

El análisis de dispersión fue realizado para los datos del experimento de campo con el cultivo del tomate establecido en D.P.D. El objetivo de estudio fue determinar el efecto de 3 densidades de siembra (establecidas en las parcelas principales o parcelas grandes) y 4 niveles de nitrógeno (establecidos en las subparcelas o parcelas pequeñas). El tamaño de las parcelas elementales (unidades básicas) fue 6.4 m^2 . El número de tratamientos en el experimento fue 12 y el número de repeticiones 4.

Cuadro 3.5. Análisis de dispersión para los valores del rendimiento potencial obtenido, (kg/p.e). Pedroza H., (1985).

Fuente de Variación	S de C	G.L.	V_i	F_c	$F_{5\%}$
Bloques	302.3289	3	100.7763	0.25	4.7
Densidad	44.8926	2	22.4463	0.05	5.1
Error (a)	2387.322	6	397.8870		
Nitrógeno	2670.6435	3	890.2145	7.55*	2.9
Den*Nit	1469.7864	6	244.9644	2.07	2.4
Error (b)	3179.9709	27	117.7767		
TOTAL	10054.945	47		CV% = 30.08	

3.3.2. Determinación de las Varianzas Ponderadas (V'_i)

Para los datos provenientes de experimentos de campo establecidos en D.P.D., Koch y Rigney (1951), establecieron el método para la ponderación de las varianzas no ponderadas, los componentes correspondientes se muestran en el cuadro 3.6.

Cuadro 3.6. Componentes de varianzas: Varianzas no ponderadas (V_i), y Varianzas ponderadas (V'_i) para el D.P.D. Koch y Rigney, (1951).

Fuente de Variación	G.L.	Varianzas No. ponderadas (V_i)	Varianzas ponderadas (V'_i)
Bloques	r-1	V_1	V'_1
Factor A	a-1		$r(a-1)V_2 + (r-1)V_1$
Error	(r-1)(a-1)	V_2	$V'_2 = \frac{r(a-1)V_2 + (r-1)V_1}{ra - 1}$
Factor B	(b-1)		
A*b	(a-1)(b-1)		$ra(b-1)V_3 + r(a-1)V_2 + (r-1)V_1$
Error	a(r-1)(b-1)	V_3	$V'_3 = \frac{ra(b-1)V_3 + r(a-1)V_2 + (r-1)V_1}{rab - 1}$
TOTAL	abr - 1		

La correspondiente ponderación se realiza como sigue:

$$V_1 = V'_1 = \text{La varianza de Bloques} = 100.7763$$

$$V'_2 = \frac{4(3-1) * (397.8870) + (4-1) * (100.7763)}{12 - 1}$$

$$(8) * (397.8870) + (3) * (100.7763)$$

$$V'_2 = \frac{(8) * (397.8870) + (3) * (100.7763)}{11}$$

$$V'_2 = 316.8568$$

$$(4*3) * (4-1) * (117.7767) + 4(3-1) * (397.8870) + (4-1) * (100.7763)$$

$$V'_3 = \frac{(4*3) * (4-1) * (117.7767) + 4(3-1) * (397.8870) + (4-1) * (100.7763)}{48 - 1}$$

$$V'_3 = \frac{4239.9612 + 3183.096 + 302.3289}{47}$$

$$V'_3 = 164.3699$$

3.3.3. Aplicación del Método de Hatheway y Williams, (1958)

La ecuación de Hatheway y Williams (1958), está descrita en el apartado 3.2.3. De acuerdo a la misma, se forman los componentes logarítmicos para la aplicación del método.

En el cuadro 3.7., se presentan los componentes para los datos obtenidos del Diseño de Parcelas Divididas.

Cuadro 3.7. Logarítmos de las parcelas condicionales y las varianzas unitarias, correspondientes al experimento establecido en Diseño de Parcelas Divididas

X_i	$X'_i = \log X_i$	$W_i = rt/X_i$	(V'_i/X_i)	$Y'_i = \log(V'_i/X_i)$
12	1.0791	4	8.3980	0.9241
4	0.6020	12	79.2142	1.8988
1	0.0000	48	164.3699	2.2158

Al final los elementos para el cálculo del coeficiente de heterogeneidad del suelo se ordenan como sigue en el cuadro 3.8.

Cuadro 3.8. Elementos necesarios para el cálculo del coeficiente de heterogeneidad del suelo.

W_i	Y'_i	X'_i	$X'_i Y'_i W_i$	$X'_i W_i$	$Y'_i W_i$	$X'^2_i * W_i$
4	0.9241	1.0791	3.9887	4.3164	3.6964	4.6578
12	1.8988	0.6020	13.7169	7.2240	22.7856	4.3488
48	2.2158	0.0000	0.0000	0.0000	106.3584	0.0000
64	5.0387	1.6811	17.7056	11.5404	132.8404	9.0066

El cálculo definitivo se realiza tal como sigue:

Procedimiento para determinar la Heterogeneidad del suelo (b)

$$17.7056 - (11.5404) * (132.8404)/64$$

$$b = \frac{17.7056 - (11.5404) * (132.8404)/64}{9.0066 - (11.5404)^2/64}$$

$$= -6.2480$$

$$b = \frac{-6.2480}{6.9256}$$

$$b = -0.9021$$

3.4. Determinación del Coeficiente de Heterogeneidad del suelo, para datos provenientes de los ensayos de Uniformidad

3.4.1. Cálculo de las varianzas No Ponderadas (V_i)

En el cuadro 3.9., están señalados los valores del análisis de dispersión, el cual corresponde al experimento realizado por Pedroza H. (1990), en el campo experimental "El Plantel", de la Universidad Nacional Agraria.

El análisis de dispersión fue realizado para los datos de un ensayo de uniformidad con el cultivo del sorgo. El objetivo de investigación fue determinar la influencia del tamaño de la parcela experimental y el número de repeticiones sobre la exactitud de los datos experimentales en el cultivo del sorgo.

Cuadro 3.9. Análisis de dispersión para el rendimiento (Kg/u.b.). Parcelas de 3 m. de longitud. Pedroza H., (1990).

Fuente de Variación	G.L.	S de C	V_i
36 Surcos	15	0.3093699	0.0206246
18 Surcos	16	1.4950465	0.0934404
9 Surcos	32	0.2804837	0.0087651
3 Surcos	128	1.6081603	0.0125637
1 Surco	384	3.4800793	0.0090627

El ensayo fue realizado en un lote experimental con área total de 1296 m², constituido por 36 surcos de 48 m. de longitud y distancia entre surco de 0.75 m. Cada uno de los 36 surcos fue dividido en parcelas elementales con 3 m. de longitud, esto es 2.25 m² de área para cada una.

Así se formaron 576 parcelas básicas, de las cuales fueron seleccionadas como objeto de estudio, todas las posibles combinaciones obtenidas de las parcelas con : 3, 6, 12, 24 y 48 m. de longitud combinadas con: 36, 18, 9, 3, 1 número de surcos como ancho (27 m. hasta 0.75 m.). El arreglo se obtienen mediante la suma del rendimiento de las parcelas consecutivas y vecinas, para constituir las parcelas con diferentes tamaño.

De todas las posibles combinaciones, se toman las varianzas correspondientes a parcelas de 3m de longitud mostradas en el cuadro 3.9., para la ilustración del método de Hatheway y Williams (1958). Esto se debe a que las varianzas obtenidas de las parcelas más pequeñas expresan la más detallada gráfica de la variabilidad del suelo y por consiguiente la más exacta valoración de la heterogeneidad del suelo.

3.4.2. Determinación de las Varianzas Ponderadas (V'_i)

La ponderación de las varianzas no ponderadas obtenidas de los ensayos de uniformidad se realiza de acuerdo al método de Koch y Rigney (1951), señalado en el Cuadro 3.10.

Para el cálculo detallado de la ponderación de las varianzas no ponderadas obtenidas de los ensayos de uniformidad, es necesario dominar la obtención de los correspondientes grados del libertad (G.L.), mediante la determinación de los elementos: a, b, c, d, e, etc. Así como, el número correspondiente de las parcelas (X_i). Precisamente la determinación de ellos se realiza de la siguiente forma:

$X_1 \dots X_5$: Representa el número de parcelas elementales de acuerdo a los anchos de parcela investigados, previamente establecidos. Los anchos investigados de las parcelas básicas en nuestro estudio son los siguientes :

$X_1 = 36$ Surcos.

$X_2 = 18$ Surcos.

$X_3 = 9$ Surcos.

$X_4 = 3$ Surcos.

$X_5 = 1$ Surco.

La determinación de los niveles de jerarquía de las longitudes estudiadas, esto es : a, b, c, d, e; permite que se calculen los grados de libertad (G.L.) de los factores jerarquizados, ellos son:

- a: Número de parcelas con tamaño X_1 en todo el experimento
- b: Número de parcelas con tamaño X_2 en X_1
- c: Número de parcelas con tamaño X_3 en X_2
- d: Número de parcelas con tamaño X_4 en X_3
- e: Número de parcelas con tamaño X_5 en X_4

Para parcelas de 3 m. de longitud

Cómo se calcula “a” ? La pregunta es : Cuántas unidades básicas de 3 m. de largo por 36 surcos de ancho tiene una parcela de 48 m. de largo por 36 surcos de ancho (esto es todo el experimento)?

$$a = 48/3 \quad \Rightarrow \quad a = 16$$

Cómo se calcula “b” ? La pregunta es : Cuántas unidades básicas de 3 m., de largo por 18 surcos de ancho tiene una parcela de 3 m. de largo por 36 surcos de ancho?

$$b = 36/18 \quad \Rightarrow \quad b = 2$$

Cómo se calcula “c” ? La pregunta es : Cuántas unidades básicas de 3 m. de largo por 9 surcos de ancho tiene una parcela de 3 m. de largo por 18 surcos de ancho ?

$$c = 18/9 \quad \Rightarrow \quad c = 2$$

Cómo se calcula “d” ? La pregunta es : Cuántas unidades básicas de 3 m. de largo por 3 surcos de ancho tiene una parcela de 3 m. de largo por 9 surcos de ancho ?

$$d = 9/3 \quad \Rightarrow \quad d = 3$$

Cómo se calcula “e” ? La pregunta es : Cuántas unidades básicas de 3 m. de largo por 1 surco de ancho tiene una parcela de 3 m. de largo por 3 surcos de ancho ?

$$e = 3/1 \quad \Rightarrow \quad e = 3$$

El mismo proceso para determinar los niveles de jerarquía de las longitudes investigadas tienen que hacerse para las parcelas condicionales de 6, 12, 24 y 48 m. de longitud.

Procedimiento para determinar la Heterogeneidad del suelo (b)

Cuadro 3.10. Componentes de Varianzas: Varianzas no ponderadas (V_i) y Varianzas ponderadas (V'_i), para los ensayos de uniformidad. Koch y Rigney, (1951).

Fuente de Variación	G.L.	Varianzas No Ponderadas (V_i)	Varianzas Ponderadas (V'_i)
X1	a-1	V_1	$V'_1 = V_1$
X2/X1	a(b-1)	V_2	$V'_2 = [a(b-1) V_2 + (a-1)V_1] / (ab-1)$
X3/X2	ab(c-1)	V_3	$V'_3 = [ab(c-1)V_3 + a(b-1)V_2 + (a-1)V_1] / (abc-1)$
X4/X3	abc(d-1)	V_4	$V'_4 = [abc(d-1)V_4 + ab(c-1)V_3 + a(b-1)V_2 + (a-1)V_1] / (abcd-1)$
X5/X4	abcd(e-1)	V_5	$V'_5 = [abcd(e-1)V_5 + abc(d-1)V_4 + ab(c-1)V_3 + a(b-1)V_2 + (a-1)V_1] / (abcde-1)$

Los cálculos para la ponderación correspondiente se presentan en el cuadro 3.11.

Cuadro 3.11. Ponderación de las Varianzas no ponderadas para el ensayo de uniformidad con el cultivo del Sorgo. Pedroza H., (1990).

Fuente de Variación	G. L	Varianzas No Ponderadas (V_i)	Varianzas Ponderadas (V'_i)	X_i	(V'_i / X)
36 Surcos	15	0.0206246	0.0206246	36	0.0005729
18 Surcos	16	0.0934404	0.0582069	18	0.0032337
9 Surcos	32	0.0087651	0.0330936	9	0.0036770
3 Surcos	128	0.0125637	0.0193353	3	0.0064451
1 Surco	384	0.0090627	0.0124750	1	0.0124750

3.4.3. Aplicación del método de Hatheway y Williams, (1958)

Partiendo de las varianzas ponderadas señaladas en el cuadro 3.11., se calculan y ordenan los componentes logarítmicos, tal como se presenta en el cuadro 3.12, de acuerdo con la ecuación descrita en el acápite 3.2.3 de este texto.

Cuadro. 3.12. Elementos necesarios para el cálculo del coeficiente de heterogeneidad del suelo partiendo de los datos experimentales del ensayo de uniformidad con el cultivo del Sorgo.

$W_i = 1/V'_i$	Y'_i	X'_i	$X'_i Y'_i W_i$	$X'_i W_i$	$Y'_i W_i$	$X'^2_i * W_i$
48.4856	-3.2419	1.5563	244.6295	75.4583	-157.1863	117.4359
17.1800	-2.4902	1.2552	-53.7029	21.5656	-42.7834	27.0707
30.2172	-2.4344	0.9542	-70.1977	28.8346	-73.5638	27.5152
51.7186	-2.1907	0.4771	-54.0559	24.6760	-113.3035	11.7734
80.1601	-1.9039	0.0000	0.000	0.0000	-152.6215	0.0000
226.7617	-12.2614	4.2429	-422.5917	150.5346	-539.4588	183.7954

El cálculo final se realiza tal como sigue:

$$b = \frac{-422.5917 - (150.5346) * (-539.4588) / 227.7617}{183.7959 - (150.5346)^2 / 227.7617}$$

$$b = \frac{-66.0470}{84,3025}$$

$$b = -0.7834$$

que se ha de tener en cuenta es la necesidad de que el diseño sea lo más simple posible.

En el diseño de un experimento de campo se deben tener en cuenta los siguientes factores:

a) El tipo de diseño que se va a emplear.

b) La magnitud de los errores sistemáticos que se han de considerar.

c) La magnitud de los errores aleatorios que se han de considerar.

d) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los efectos.

e) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores.

f) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

g) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores de los errores.

h) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores de los errores de los errores.

i) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores de los errores de los errores de los errores.

j) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

k) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

l) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

m) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

n) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

o) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

p) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

q) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

r) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

s) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

t) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

u) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

v) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

w) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

x) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

y) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

z) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

aa) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

bb) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

cc) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

dd) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

ee) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

ff) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

gg) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

hh) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

ii) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

jj) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

kk) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

ll) La magnitud de los errores que se han de considerar en la estimación de los errores de los errores.

CAPITULO 4.

CONSIDERACIONES PRACTICAS PARA

ESTABLECER UN EXPERIMENTO DE CAMPO

Y SU INFLUENCIA EN LA PRECISION EXPERIMENTAL

4.1. Fundamentos Básicos sobre La Heterogeneidad del Suelo

A la variabilidad del suelo se le denomina heterogeneidad, la cual existe por diversos factores: pendiente, contenido de humedad, fertilidad, presencia de sales, distribución de plagas en el suelo, distribución de semillas de malezas, estructura distinta por las prácticas diferentes del suelo, etc.

En observaciones de campo sobre la variación de fertilidad, puede notarse en algunos casos que no sigue una tendencia uniforme de aumento o disminución, sino que está distribuida en el terreno en forma errática. A veces puede apreciarse una tendencia a aumentar la fertilidad o a disminuir hacia una dirección, o hacia dos direcciones perpendiculares. La uniformidad en sí es difícil conseguir, pues todos los suelos presentan un mayor o menor grado de heterogeneidad.

El método considerado mas sencillo para determinar el grado de variabilidad de los suelos es emplear el coeficiente de correlación (r). Para calcular el coeficiente de correlación se emplean los datos obtenidos de los así denominados "**Ensayos en Blanco**" o "**Ensayos de Uniformidad**". El término se refiere a los ensayos que se establecen mediante las técnicas siguientes :

- a.- Preparar el suelo uniformemente.
- b.- Sembrar una línea pura o F_1 entre líneas puras.
- c.- Parcelar el lote usando parcelas uniformes en tamaño, forma, densidad de siembra.
- d.- Manejar las parcelas uniformemente.
- e.- Cosechar cada parcela individualmente, llevando la producción a peso con humedad uniforme.
- f.- Agrupar los rendimientos de las parcelas, de tal manera que se puedan correlacionar las producciones, formando las series **X** e **Y**.

Diversos estudios sobre la variación del suelo muestran que, parcelas adyacentes son similares y están correlacionadas; pero cuando se tienen varias parcelas alejadas y el suelo es heterogéneo, al estudiar la correlación ésta resulta significativa, la variación es de importancia y el suelo se considera heterogéneo.

Ilustración

Con los datos en kg/p.u presentados en el cuadro 4.1., correspondientes a los valores del rendimiento de parcelas contiguas, se ilustra el procedimiento para calcular el grado de:

**Consideraciones prácticas para establecer un experimento
de campo y su influencia en la precisión experimental**

heterogeneidad del suelo, como el coeficiente de correlación (r).

**Cuadro 4.1. Datos del rendimiento obtenido de un Ensayo de Uniformidad.
Reyes C., (1982).**

2	2	4	6
3	3	6	4
3	3	5	5
5	5	4	4
6	6	5	4
7	6	5	5

X	Y	XY	X ²	Y ²
2	2	4	4	4
4	6	24	16	36
3	3	9	9	9
6	4	24	36	16
3	3	9	9	9
5	5	25	25	25
5	5	25	25	25
4	4	16	16	16
6	6	36	36	36
5	4	20	25	16
7	6	42	49	36
5	5	25	25	25
55	53	259	275	253

Sabiendo que $r = SPXY/\sqrt{(SCX*SCY)}$; $SPXY = 16.09$; $SCX = 22.92$; $SCY = 18.92$; finalmente se resuelve y se obtiene un $r = 0.773$. Se usa la prueba "t" de student, para probar la significancia estadística del coeficiente de correlación. Primero se plantea la hipótesis : $H_0 : \rho = 0$ vs $H_a : \rho \neq 0$.

donde : $t = r * \sqrt{(n-2)/(1-r^2)}$

Se obtiene un valor de $t_c = 3.865$, que comparado con el valor $t_{(5\% \text{ y } 10 \text{ g})}$ igual a 2.23, resulta ser significativo el coeficiente de correlación que se obtuvo. Se concluye que hay correlación entre las variables (producción por P.U.). Por lo tanto, el suelo se le considera heterogéneo, y la variación que se manifiesta, se debe a diferencias en fertilidad que origina distintas producciones entre las parcelas.

Hay que tener presente que, cuando un coeficiente de correlación es muy bajo será indicativo de que las series son independientes, es decir que la variación de una parcela no guarda relación alguna con la variación de la parcela vecina; en cuyo caso el suelo se considera Homogéneo. Mientras que, si el coeficiente de correlación es alto será indicativo de que ambas series varían simultáneamente y por tanto el suelo se considera Heterogéneo.

Si la variación de la producción de las diferentes parcelas establecidas en el ensayo en blanco se debe exclusivamente al azar, no habrá correspondencia entre las unidades contiguas. La variabilidad existente entre los rendimientos de las parcelas unitarias se debe únicamente al azar, la posible correspondencia entre ciertas parcelas contiguas quedará compensada por la falta de correspondencia entre otras también contiguas, siempre que el número de parcelas en que se dividió el campo sea lo bastante grande para que pueda manifestarse. En estas condiciones, se obtendrá un coeficiente de correlación bajo.

En cambio, si en el campo en cuestión existen variaciones de calidad de unos lugares a otros, ciertas parcelas contiguas tenderán a producir mucho al mismo tiempo, en tanto que aquellas que están también juntas, pero alejadas de las primeras, mostrarán la tendencia opuesta, es decir, producirán poco simultáneamente. En estas condiciones se obtendrá un coeficiente de correlación elevado.

Cuando se comparan dos o más campos para elegir el más homogéneo, en cada campo se debe cultivar la misma variedad y el manejo debe ser uniforme en los campos. El cálculo del Coeficiente de Variación (C.V) con las producciones de las parcelas, permitirá decidir cuál es el lote más homogéneo; el lote que presente el menor C.V. será el mas homogéneo y viceversa, (Reyes C., 1982).

4.2. Elementos Estructurales de un Experimento de Campo

Al establecer un experimento de campo, es importante integrar diferentes elementos que comúnmente tienen interdependencia, tales son : los tratamientos, la unidad experimental, las defensas a implementar y las repeticiones . La variabilidad del suelo es una consideración de

Consideraciones prácticas para establecer un experimento de campo y su influencia en la precisión experimental

gran importancia práctica, ya que es inherente a la parcela experimental. Debe destacarse la influencia significativa que, para aumentar la precisión de los datos obtenidos del experimento de campo juegan el número de repeticiones, el tamaño y forma de la parcela experimental, así como el número de tratamientos los cuales se investigan. *Por eso, la determinación previa de estos elementos fundamentales del experimento de campo, es una condición básica para la correcta planificación de los ensayos de campo.*

En experimentos de campo, la Unidad Experimental específicamente se conoce como Parcela Experimental; formada básicamente por dos partes : **El Área Útil y el Área de Defensa**. Ambos aspectos se abordarán en los acápite s siguientes.

Los tratamientos es un aspecto importante a considerar desde el punto de vista práctico. El número de tratamientos a estudiarse es un asunto muy relativo. Muchos factores pueden incidir tanto económicos, como agronómicos o estadísticos. Entre otros, el número de tratamientos estará afectado por el área disponible, el tipo de experimento, las particularidades del cultivo, la heterogeneidad del suelo, tamaño de la parcela etc. Es evidente que, en iguales condiciones, mientras mayor sea el número de tratamientos a estudiar, mayor será el área necesaria para establecer un experimento, por lo que los riesgos de falta de uniformidad en el manejo experimental, tienden a disminuir la precisión experimental.

Ante todo el número de tratamientos a establecer en un experimento dependerá fundamentalmente del objetivo del mismo. Como criterio se sugiere guiarse por el principio de que, en el experimento será necesario establecer el número de tratamientos mínimo, que permita responder al problema planteado.

4.2.1. Tamaño de la Parcela Experimental

Al decidir el tamaño adecuado de la parcela experimental, hay que considerar diversos factores de los que depende, entre otros :

- 1.- La heterogeneidad del suelo.
- 2.- El grado de precisión deseado (D%).
- 3.- El número de repeticiones a establecer en el experimento.
- 4.- Las particularidades del cultivo en que va a experimentarse, (métodos de manejo, control de malezas, riego, fertilización, etc.).
- 5.- El tipo de experimento.
- 6.- El Diseño experimental a usar.
- 7.- Las condiciones técnicas con que se disponen para el trabajo experimental.

Consideraciones prácticas para establecer un experimento de campo y su influencia en la precisión experimental

Diferentes investigadores, -Shanin I., (1970); Fuentes F., (1976); Gardon D., (1987)-, para diferentes cultivos, han establecido que con el aumento del tamaño de las parcelas (partiendo de una dimensión mínima) se aumenta la precisión experimental, pero hasta cierto límite, después del cual ese aumento del área de la parcela, por llevar a un área experimental mayor, tiene una influencia negativa en la precisión obtenida, producto de la heterogeneidad del suelo y las mayores diferencias en la ejecución de las operaciones de campo.

Contrario a las investigaciones realizadas, en la etapa actual del desarrollo de la experimentación agrícola, existe una determinada tendencia a utilizar, en lo posible, pequeñas parcelas en el supuesto de que esa medida crea mayor uniformidad dentro de la misma. Lo que ocurre realmente es sacrificar la precisión experimental, puesto que para cada caso debe establecerse el tamaño óptimo de parcela, lo cual está indivisiblemente vinculado a otros factores con los que interactúa para generar una precisión experimental determinada. A través de diferentes investigaciones se han determinado los siguientes tamaños óptimos de parcela.

Cuadro 4.2. Tamaño óptimo de la parcela experimental para diversos cultivos.

Reyes C., (1982).

Cultivo	Tamaño de parcela (m ²)	Recomendaciones en surcos
Cereales pequeños	25-30	3 surcos y cosechar el central. 6 surcos y cosechar 2 centrales.
Maíz	10-44	4 surcos y cosechar 2 centrales.
Trigo	5-12	2-3 surcos
Sorgo	20-40	2-4 surcos
Alfalfa	40	
Papa	13-20	
Remolacha	10-20	
Caña de Azúcar	200-800	
En frutales	1 árbol; CV = 41% 4 árbol; CV = 26% 8 árbol; CV = 24%	

4.2.2. Forma de la Parcela Experimental

La forma de la parcela experimental puede ser distinta y está determinada por su relación largo ancho.

**Consideraciones prácticas para establecer un experimento
de campo y su influencia en la precisión experimental**

a. Cuadrada : Cuando la relación largo : ancho de la parcela es 1:1.

b . Rectangular : Cuando la relación largo : ancho de la parcela es mayor que 1 pero menor que 10. Por ejemplo una parcela con $L = 20 \text{ m}$ y $A = 5 \text{ m}$; es decir, una relación de 4 : 1.

c . Alargada : Cuando la relación largo : ancho es mayor de 10; por ejemplo, una parcela con $L = 40 \text{ m}$. y $A = 2 \text{ m}$; la relación será entonces 20 : 1.

En la mayoría de los casos, en la experimentación agrícola se prefiere el uso de parcelas de forma alargada, ya que facilita el uso de la mecanización en los ensayos, el cuidado de las plantas durante el período vegetativo y la recolección de la cosecha. El defecto principal de las parcelas experimentales alargadas es la gran pérdida de área al formar defensas internas en el experimento. Esto puede observarse en los datos presentados en el cuadro 4.3.

Cuadro 4.3. Pérdida del área experimental al formar defensas internas de la P.E. alargada.
Ivanov Z., (1977).

Área de la P.E. (m^2)	Dimensiones en metro	Forma de la P.E. L:A	Área útil de la P.E D.I.=0.5 m	Área de la franja de defensa	Área de la defensa en % del Área útil.
100	50 x 2	25 : 1	$49 \times 1 = 49$	51	104
100	25 x 4	6,25 : 1	$24 \times 3 = 72$	28	38,8
100	10 x 10	1 : 1	$9 \times 9 = 81$	19	23,45

Como criterio práctico, se sugiere guiarse por el principio de tener la Parcela Experimental con una forma que proporcione un 75% del área igual a la Parcela Útil y un 25%, área de defensa. Así mismo, es sugerido que cuando el experimento tiene "parcelas pequeñas", es preferible usar la forma cuadrada; pero cuando el experimento tiene "parcelas grandes", es preferible usar la forma Alargada.

Para aclarar el rol del tamaño y la forma de la Parcela Experimental sobre la precisión de los datos experimentales, Pedroza H. (1991), realizó investigaciones con el cultivo del Sorgo. Los resultados promedios trianuales se presentan en el cuadro 4.4. Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes :

a) La variabilidad entre las parcelas en los experimentos de campo expresada mediante el C.V.%, disminuye sistemáticamente por el aumento del tamaño de la parcela, tanto por el alargamiento como por el ensanchamiento de la parcela, lo cual demuestra claramente que : el factor decisivo para el aumento de la precisión de los datos experimentales es el tamaño de la parcela experimental y no la forma.

Consideraciones prácticas para establecer un experimento
de campo y su influencia en la precisión experimental

b) En relación a la forma de la parcela experimental : Alargada, rectangular y cuadrada, los resultados de las investigaciones realizadas con el cultivo del sorgo (cuadro 4.4.), indican que la forma de la parcela no ejerce influencia significativa sobre la precisión de los datos experimentales; lo cual se demuestra por las diferencias no significativas establecidas por el criterio de la prueba de Tukey al 5%, realizada a las diferentes relaciones Largo : Ancho, para un mismo tamaño de parcela considerado.

Cuadro 4.4. Coeficientes de exactitud ($S_x\%$), obtenidos para diferentes formas en estudio para un mismo tamaño de parcela experimental. Resultados promedios trianuales en Sorgo. Pedroza H., (1991).

Surco por longitud (m)	9.00	13.50	18.00	22.50	27.00	40.50	45.00	54.00	Area útil (m ²)
1*12	0.81 a								
2*6	0.80 a								
4*3	0.79 a								
1*18		1.08 a							
2*9		0.94 a							
3*6		0.87 a							
6*3		0.86 a							
2*12			0.95 a						
4*6			0.97 a						
8*3			1.02 a						
2*15				1.09 a					
5*6				1.05 a					
10*3				1.14 a					
2*18					1.29 a				
3*12					1.06 a				
4*9					1.18 a				
6*6					1.08 a				
3*18						1.45 a			
6*9						1.33 a			
9*6						1.26 a			
4*15							1.39 a		
5*12							1.31 a		
10*6							1.46 a		
4*18								1.63 a	
6*12								1.38 a	
8*9								1.61 a	

Los valores designados por una misma letra, no tienen diferencias significativas entre sí; según los criterios estadísticos de Fischer 5% y Tukey 5%, ($W_p = 0.32$).

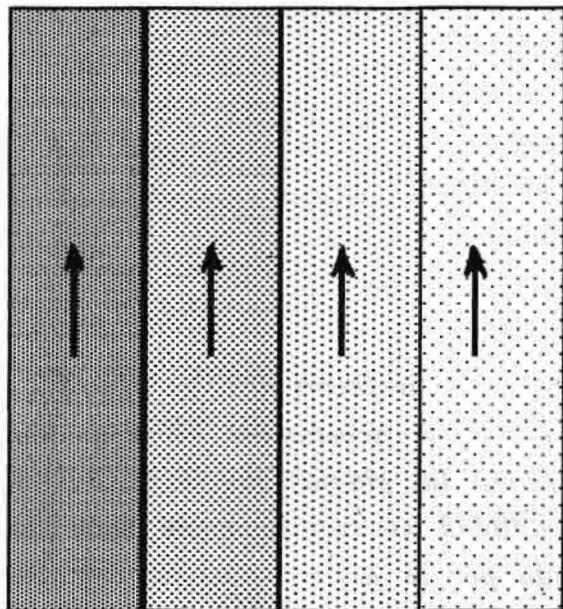
4.2.3. Orientación de la Parcela Experimental

Tiene significativa importancia para la precisión de los experimentos de campo, la orientación en que se dispongan las parcelas experimentales. Varios factores están entrelazados e influyen sobre la dirección de las parcelas experimentales, cuando ellas tienen una forma rectangular o alargada.

Se toma en cuenta la luz solar y la dirección de los vientos, pero el factor principal que determina la orientación de las parcelas experimentales, es la variación de la fertilidad del suelo. En un campo de fertilidad uniforme no tienen gran importancia la dirección en que serán dispuestas las parcelas experimentales. Sin embargo, no es lo mismo cuando la variación de la fertilidad del suelo se produce en una dirección determinada.

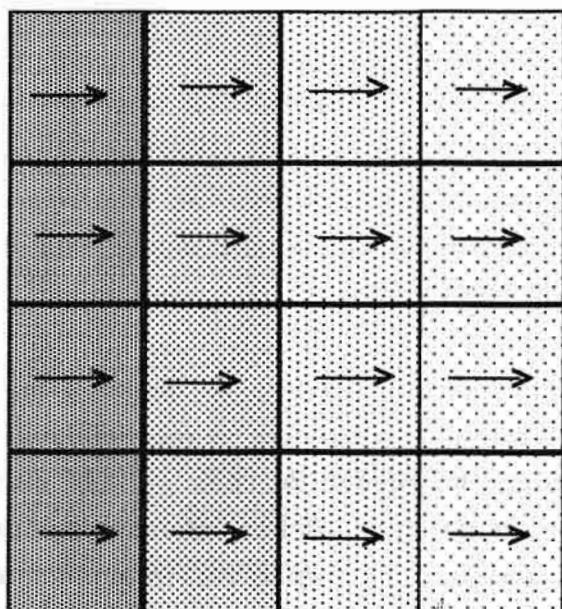
Para garantizar igualdad en la influencia de la Heterogeneidad del suelo sobre los tratamientos en estudio, las parcelas necesariamente deben ser alargadas, y su lado mayor debe estar orientado en la dirección que tienda a variar la fertilidad del suelo.

La disposición transversal a la dirección en que varía la fertilidad del suelo, conduce a una influencia desigual sobre los tratamientos del experimento, por parte de la fertilidad del suelo y por lo tanto, tiende a alterar la respuesta de los tratamientos, (Ivanov Z., 1977). Esto puede apreciarse en el esquema siguiente:



(+) ————— FERTILIDAD ————— (-)

Disposición Incorrecta



(+) ————— FERTILIDAD ————— (-)

Disposición Correcta

4.2.4. Defensas internas y externas del experimento de campo

Al observar atentamente el esquema de un experimento de campo se encuentra que existen algunas franjas dentro y fuera de la parcela experimental que no se toman en consideración en el momento de hacer algunas evaluaciones. Estas son las defensas internas y externas.

Las defensas internas y el efecto de borde u orilla

Las plantas situadas en los bordes de las parcelas experimentales suelen estar en condiciones diferentes que las del centro de las mismas, ya que cuando se establecen caminos o senderos, o por la distancia que se deja para separar un tratamiento de otro, se ponen en condiciones favorables a éstas plantas, debido a que tienen mayor área de absorción que el resto, reciben mayor cantidad de luz, etc. lo que hace más vigoroso el desarrollo que el resto de las plantas de la parcela. En otras oportunidades si estos caminos se mantienen enmalezados, esto crea una condición desfavorable para esas plantas. *A estas variabilidades se les denomina efecto de borde u orilla.*

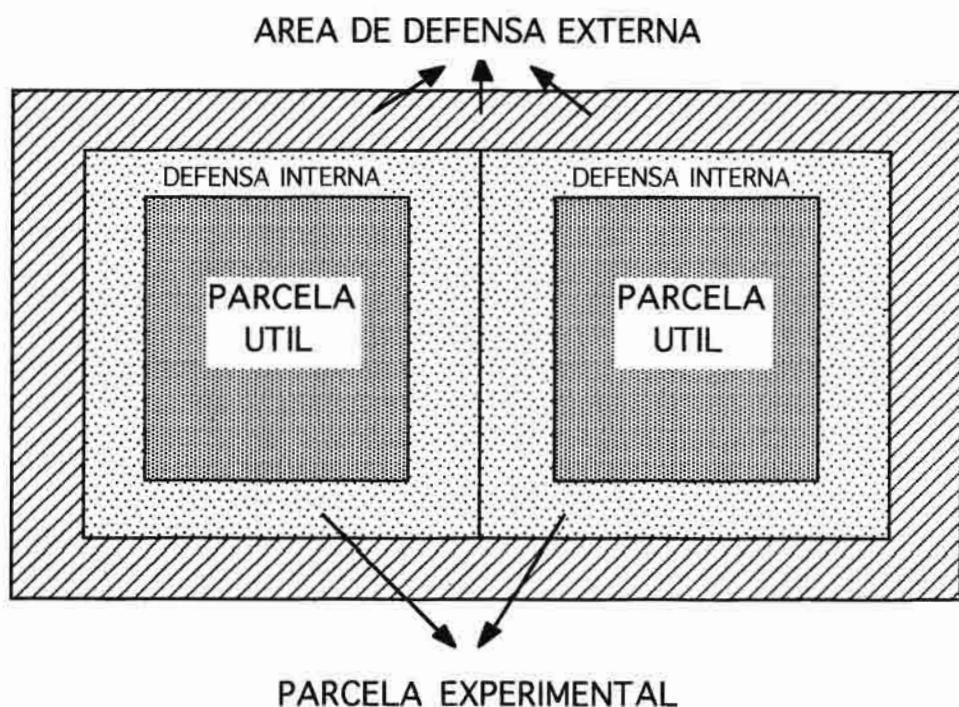
Por otro lado, es lógico esperar efectos de competencia mutua entre tratamientos, competencia intimamente relacionada con la naturaleza misma de los tratamientos. Por ejemplo, en experimentos que se estudian diferentes variedades, en diferentes momentos de siembra el porte alto y vigoroso de algunas variedades puede afectar el tratamiento vecino. Los experimentos de fertilización, prueba de diferentes agroquímicos, su dosis y época de aplicación, etc. son también ejemplos que ayudan a comprender la competencia no deseada entre tratamientos.

Con el objetivo de evitar estas influencias desfavorables del efecto de borde y competencia mutua entre tratamientos, se acostumbra eliminar una franja alrededor de cada parcela para suprimir las plantas que se consideran afectadas por dichos efectos. Esta modalidad se conoce como Defensas internas. La superficie interna delimitada por la defensa interna de cada parcela se le denomina : "Área Útil" ó "Parcela Útil".

**Consideraciones prácticas para establecer un experimento
de campo y su influencia en la precisión experimental**

Cada parcela experimental está compuesta de dos partes : Área de Cálculo y Área de Defensa. Tomadas en conjunto, ellas fórmnan el área de siembra de la parcela experimental.

Por consiguiente, desde la misma planificación del experimento es necesario tener presente la influencia mutua de los tratamientos vecinos. Deben determinarse las defensas internas, que serán necesarias para evitar la influencia negativa de los factores anteriores. El ancho de la defensa estará determinado por varios factores, entre otros : El tipo de cultivo, el objetivo del experimento, etc.



Las defensas externas

Además de las defensas internas, en el experimento se debe considerar también, la defensa externa alrededor de todo el experimento. El ancho de la franja de defensa externa no debe ser menor de 2 a 3 metros; ellas deben proteger al experimento de la influencia de factores aleatorios e indeseables, como plagas y enfermedades, del resto del área. Por eso, según las circunstancias pueden ser mucho más anchas. Estéticamente este tipo de defensa delimita el área experimental, a la vez que las protege, (Ivanov Z., 1977).

4.2.5. Número de repeticiones

Considerando los criterios de diferentes autores, -Smith F., (1938); Hatheway W.H., (1961); Cocran y Cox, (1981); Piskulich R., (1983); Steel y Torrie (1985); etc.-, se establece que, el número de repeticiones que se requerirán en un experimento de campo dependerá de :

- 1.- La magnitud de las diferencias que deseamos detectar como significativas o grado de precisión requerido (**D%**).
- 2.- La heterogeneidad del suelo.
- 3.- El número de tratamientos a compararse en el experimento.
- 4.- El diseño experimental a usar.
- 5.- El tipo del cultivo en que se realizará la experiencia.
- 6.- El tamaño de la Parcela Experimental.

Sobre los factores antes citados, hay algunos criterios que son necesario considerar.

El número de repeticiones para un experimento depende de varios factores, de los cuales el más importante, probablemente, sea el grado de precisión requerido. Así cuanto más pequeña sea la diferencia entre tratamientos que se quiera detectar como significativa, tanto más grande será el número de repeticiones que se requiere. Por ello, es muy importante en todo experimento tener una idea de la magnitud de las diferencias que se requieran detectar.

Considerando el problema de la heterogeneidad de un suelo, ciertos suelos, son más uniformes que otros y para la misma precisión, se requiere menos repeticiones en un suelo uniforme que un suelo muy variable.

El tercer factor que afecta el número de repeticiones, es el número de tratamientos a compararse. Así, si se van a comparar sólo dos tratamientos, entonces se requieren más repeticiones por tratamientos que si se van a comparan 10 tratamientos.

El Diseño Experimental también afecta la precisión de un experimento y el número de repeticiones requeridas. Así, cuando el número de tratamientos es grande y se usará un material experimental heterogéneo, el error experimental puede incrementarse. Un diseño apropiado permite controlar parte de esta variación.

Desafortunadamente el número de repeticiones, en algunos casos, estará limitada por los recursos y el tiempo disponible para el experimento. Cuando los recursos disponibles no permiten establecer el número de repeticiones para alcanzar la precisión deseada en un

**Consideraciones prácticas para establecer un experimento
de campo y su influencia en la precisión experimental**

experimento, la solución puede ser posponer el experimento hasta que se consigan los fondos suficientes o reducir el número de tratamientos, de tal modo que las repeticiones por tratamientos utilizados permitan detectar diferencias significativas.

En el capítulo 2, cuando se estudiaron los principios básicos del Diseño Experimental se estableció la importancia de la repetición para alcanzar mayor precisión del efecto de los tratamientos. Además del aspecto conceptual y funcional, el determinar que número de repeticiones se usarán en un experimento es un aspecto práctico de gran importancia. El número de repeticiones a establecer está estrechamente vinculado al tamaño de parcela a usar y el grado de precisión deseado. Estas complejas dependencias conducen a menudo al investigador al dilema de utilizar : experimentos con parcelas más grandes y menor número de repeticiones, o al contrario, establecer parcelas experimentales más pequeñas con un mayor número de repeticiones. Ivanov Z. 1977, señala que la tendencia actual es usar parcelas pequeñas a fin de aumentar el número de repeticiones.

Algunos investigadores recomiendan que el número de repeticiones a usar debe ser tal que el número de grados de libertad para el error experimental sea mayor de 10 y nunca menor de 4, (Monzon D., 1972). Otros autores señalan que, para garantizar representatividad y precisión de un experimento de campo, el número de repeticiones a usar nunca debe ser menor que 4. En muchas ocasiones es necesario revisar la bibliografía respectiva o bien consultar con investigadores de experiencia para tomar una correcta decisión.

En general, una de las limitaciones metodológicas que enfrenta la investigación agrícola en Nicaragua es la práctica generalizada de usar 4 repeticiones para experimentos de campo, lo cual no tiene relación con la heterogeneidad del suelo, ni con el tamaño de parcela, el grado de precisión deseado, el tipo de experimento en si, el problema objeto de estudio, la agroecología del sitio donde se realizará el experimento, el manejo experimental que en general se implementará, etc.; "De manera que tal recomendación no debe considerarse como un término absoluto".

Realmente lo que debería de hacerse es determinar la mejor interrelación entre el número de repeticiones y el tamaño de parcela para obtener datos de elevada precisión; para lo cual deben realizarse ensayos de uniformidad y por medio de la aplicación del método de Hatheway W.H. (1961), determinar el óptimo deseado del número de repeticiones a establecer. La importancia de la determinación del número de repeticiones, que se establecerán en un experimento de campo, es un aspecto práctico relevante, porque la mejor relación entre el tamaño de parcela experimental y el número de repeticiones

representa una optimización, la cual da posibilidad de revelar diferencias significativas entre los tratamientos examinados, si tales diferencias existen.

El procedimiento para determinar la relación óptima del tamaño de la parcela experimental y el número de repeticiones, a partir de los datos obtenidos de los ensayos de campo, se fundamenta en dos principios estadísticos básicos :

- a. Determinar el coeficiente de heterogeneidad del suelo "b", fundamentado en la ley de Smith F., (1938). El cálculo se realiza mediante la aplicación del método de Hatheway y Williams, (1958).
- b. Mediante la aplicación del método de Hatheway W.H. (1961), se obtienen los valores de las diferentes relaciones del tamaño de parcela y el número de repeticiones.

El método de Hatheway W.H. (1961), se expresa en los siguientes términos :

$$X^b = (2 CV_1^2 / D^2 * r) * (t_1 + t_2)^2 \dots \text{donde :}$$

X: Es el tamaño de la parcela experimental (expresado en Unidades Básicas).

b: Es el coeficiente de heterogeneidad del suelo.

r : Es el número de repeticiones.

D%: Es la magnitud de la diferencia que deseamos aceptar como significativa, expresado como un porcentaje de la media general de un experimento semejante ya realizado.

CV₁: Es el coeficiente de variación unitario.

t₁ : Es el valor de "t" en la prueba de significancia (con **α** y **gle**).

t₂ : Es el valor de "t" en la tabla ordinaria correspondiente a **2 (1-P)**, donde **P** es la probabilidad de obtener un resultado significativo.

Para determinar la expresión matemática que permite obtener la mejor relación entre el tamaño de parcela y el número de repeticiones, Hatheway W.H. (1961), se basó en los principios establecidos por Cochran y Cox (1957), para calcular el número de repeticiones necesarias para detectar como significativas diferencias obtenidas en un experimento; tales principios son los siguientes :

- a. Establecer el grado de precisión deseado (**D %**); esto no es más que establecer la **D.M.S. = t₁*S_d**.

Consideraciones prácticas para establecer un experimento de campo y su influencia en la precisión experimental

b. Determinar la probabilidad de obtener un resultado significativo para el grado de precisión deseado; tal probabilidad (**P**) se calcula mediante una segunda prueba de “**t**“ donde : $t_s = (d - D) / S_e$

Siguiendo el razonamiento de la segunda prueba de “**t**“ se puede obtener la regla para calcular la probabilidad aproximada de obtener un resultado significativo; esta regla es $P = 1 - 1/2 p_s$, de donde se deduce que : $p_s = 2(1 - P)$

El método ideado por Hatheway W.H. (1961) integra los planteamientos emitidos por Smith F. (1938), y Cochran y Cox (1957). Establece una relación matemática donde vincula tanto el tamaño de parcela como el coeficiente de heterogeneidad del suelo, al cálculo del número de repeticiones en un experimento, para obtener determinado grado de precisión. *En esencia, el método expresa que el tamaño de la parcela experimental es directamente proporcional a la variabilidad e inversamente proporcional al número de repeticiones y a las diferencias a detectar como significativas.*

Para ejemplificar la aplicación del método de Hatheway W. H. (1961), en la figura 4.1, se presentan las relaciones obtenidas en el cultivo del sorgo para $\alpha = 0.05$ y $P = 0.80$.

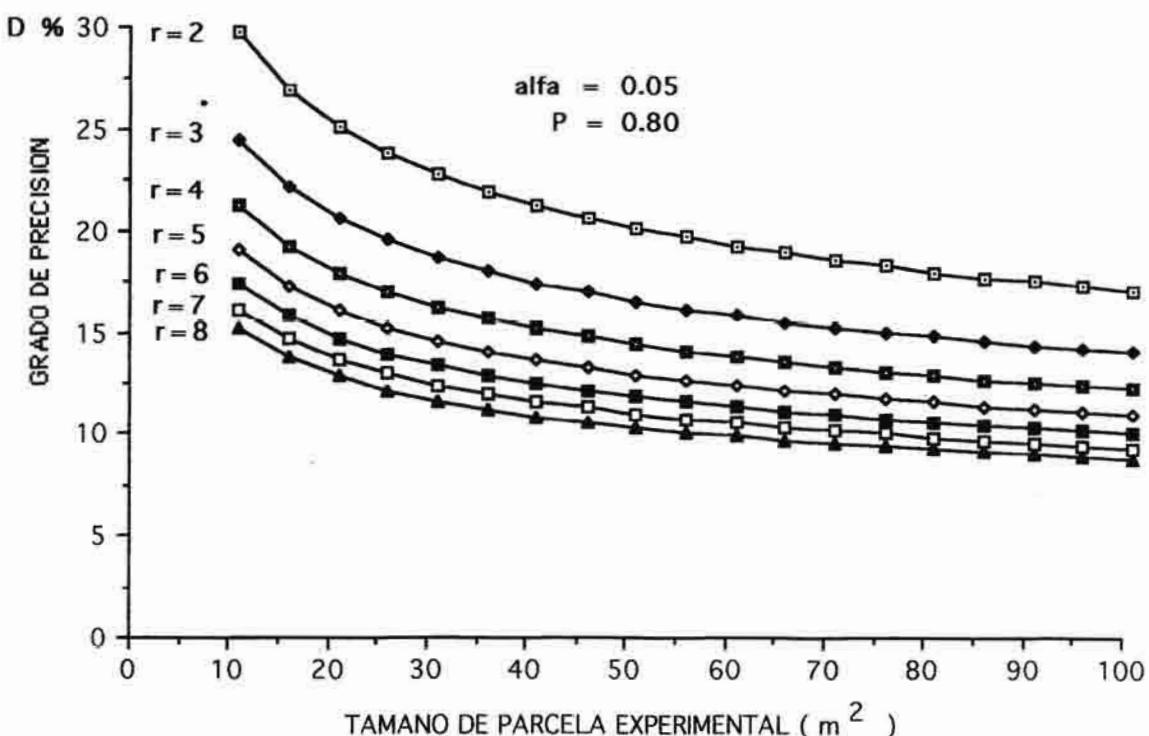


Fig 4.1. Relación entre Tamaño de Parcela, Número de Repeticiones y Diferencias a detectar como significativas, en el cultivo del Sorgo. Pedroza H., (1991).

**Consideraciones prácticas para establecer un experimento
de campo y su influencia en la precisión experimental**

Las curvas obtenidas señalan la tendencia a aumentar la presición de los datos experimentales con el incremento del tamaño de la parcela experimental, desde 10 hasta 100 m², para un número de repeticiones desde r=2 hasta r=8. Tal como se observa en la figura 4.1., la precisión experimental (D%), aumenta rápidamente para un tamaño de parcela desde 10 hasta 45-50 m², después del cual se obtiene un aumento mínimo de precisión en cada una de las repeticiones investigadas. Tendencias similares son obtenidas para los diferentes criterios estadísticos utilizados de $\alpha = 0.10$ y 0.01 con $P = 0.80$ y 0.90 .

El análisis e interpretación de los resultados trianuales obtenidos por Pedroza H. (1991), con los cultivos del Maíz, Sorgo y Tomate, permiten elaborar algunas conclusiones acerca de la interrelación entre parcela experimental y número de repeticiones :

1. El aumento del número de repeticiones, así como el aumento del tamaño de la parcela experimental, son dos factores determinantes para aumentar la precisión de los datos obtenidos. En lo que se refiere a la influencia relativa de ambos factores sobre la precisión (D%), la cual se desea alcanzar, estos dos factores no son independientes uno del otro.
2. Existe una regularidad funcional de obtener 2 veces mayor precisión (D%), cuando el número de repeticiones se aumenta desde 2 a 8. La comparación análoga al aumento del tamaño de la parcela experimental demuestra que, el aumento de la precisión (D%) es menor, esto es : 1.45 veces para maíz, 1.47 veces para sorgo y 1.54 veces para tomate. Estos resultados demuestran que el número de repeticiones ejerce una influencia más fuerte para aumentar la precisión de los datos experimentales, en comparación con el tamaño de la parcela experimental.
3. Para los dos factores, aumento del tamaño de parcela y el número de repeticiones, el grado de precisión obtenido (D%), alcanza un límite en 50 m² para maíz, 40 m² para sorgo y 35 m² para tomate, después del cual su aumento progresivo no es significativo. Con $\alpha = 0.50$ y $P = 0.80$, para 4, 6 y 8 repeticiones, estos límites de la precisión obtenida (D%), son : 16.01%; 13.07; 11.31%, para maíz ; 13.47%; 10.99% y 9.52% para sorgo ; 27.78%; 22.69% y 19.64% para el cultivo del tomate.

**Consideraciones prácticas para establecer un experimento
de campo y su influencia en la precisión experimental**

4. En lo que se refiere al tamaño de la parcela experimental y el número de repeticiones, las cuales tienen que establecerse en determinado experimento de campo, existe una amplia gama de elección, en dependencia del grado de precisión deseado. Cada investigador debe elegir la combinación adecuada con fines prácticos. Los resultados concretos de los ensayos trianuales con el cultivo del maíz, sorgo y tomate, en suelos de heterogeneidad media a alta, cuyos valores promedios "b" son : 0.5475; 0.5942; y 0.62, respectivamente; con $\alpha = 0.05$ y $P = 0.80$, el tamaño óptimo de la parcela experimental se determina para los correspondientes valores de precisión (D%), tal como sigue :

Para maíz, D% desde 24.72% hasta 11.31%, usar parcelas desde 10 a 50 m²;

Para sorgo, D% desde 19.88% hasta 9.52%, usar parcelas de 10 a 40 m²;

Para tomate, D% desde 41.29% hasta 19.64%, usar parcelas de 10 a 35 m²;

Combinadas en cada caso con un número de repeticiones de 4 a 8.

CAPITULO 5.
FUNDAMENTOS DEL
ANALISIS DE VARIANZA

5.1. Introducción

Desde el punto de vista práctico, el menor número de tratamientos en el experimento más sencillo comprende la comparación entre dos tratamientos. Los métodos estadísticos estudiados en cursos precedentes emplean las pruebas de hipótesis acerca de la igualdad de dos tratamientos. Los criterios utilizados se basan en las pruebas de "*t*" y "*z*". Sin embargo, pudo haberse utilizado la prueba de *F* o Análisis de Varianza. Este último procedimiento se emplea cuando se comparan varias muestras (tratamientos) extraídas al azar y en forma independiente, de poblaciones normales con varianza común.

Es comunmente conocido que la variabilidad total de una población no es consecuencia de un solo factor, sino la resultante de cierto número de causas independientes. Como se demostrará en el transcurso de éste capítulo el *Análisis de Varianza (ANDEVA)* es un procedimiento aritmético que consiste en partir la variabilidad total de un conjunto de observaciones en conocidas fuentes de variación y en causas desconocidas de variación.

Significa que la variabilidad total de una población se puede descomponer en diferentes partes : la que corresponde a los factores conocidos (los tratamientos) y la variabilidad restante, que no es posible medir en un experimento, que es ajena al control razonable del experimentador, constituye el error experimental. Su valor cuantitativo proporciona un indicador sobre la mayor o menor precisión con que se ha realizado el trabajo experimental de donde proceden las observaciones.

El análisis de varianza es el método más generalizado en la experimentación agrícola y los demás estudios biológicos por ser más preciso, flexible y de más fácil aplicación. Por medio de la descomposición de la variabilidad total en sus diferentes componentes, se puede determinar si existen diferencias significativas o no, entre los tratamientos objeto de estudio.

Esta es la principal utilidad del método conocido como Análisis de Varianza ideado por Sir Ronald Fischer, matemático-estadístico inglés que contribuyó grandemente al actual desarrollo científico-técnico debido a que el ANDEVA es una herramienta muy útil en muchas disciplinas del saber humano y en investigaciones en que se aplican la observación y la experimentación, - Steel y Torrie (1985); Caballero W. (1975) -.

5.2. Modelo Aditivo Lineal (M.A.L.)

Es un modelo matemático que representa la constitución de una observación como una media general más un elemento aleatorio de variación.

Cualquier observación de una población puede expresarse por medio de una media más un cierto error. :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde:

i = 1,2,t **tratamientos.**
j = 1,2,n **observaciones.**

Y_{ij} = La j-ésima observación del i-ésimo tratamiento.

μ = Media general (efecto común a cualquier observación).

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

E_{jj} = Efecto aleatorio de variación.

Las suposiciones que se hagan de la media μ y del error ϵ_{ij} , variarán con el problema que se tenga. Sin embargo, debe existir una suposición mínima y ésta es, que Y_{ij} debe obtenerse al azar, o lo que es lo mismo, los errores de muestreo ϵ_{ij} deben ser aleatorios. Los términos de ϵ_{ij} se supone que pertenecen a una población de ϵ_{ij} que tiene media cero. Como las observaciones se obtienen al azar, este procedimiento asegura independencia de los errores de muestreo, condición fundamental en esta teoría para hacer válidas inferencias sobre una población. Tales supuestos acerca del Modelo Aditivo Lineal pueden resumirse de la forma siguiente, - Steel y Torrie (1985) y Caballero W. (1975) - :

1.-Los errores de muestreo ϵ_{ij} , siguen la distribución normal con media cero y varianza s^2_e , esto es $(0, s^2_e)$; donde s^2_e es la varianza común dentro de tratamientos.

2.- También se asume $\sum \boldsymbol{\tau}_i = \mathbf{O}$, de manera que $\boldsymbol{\tau}_i$ sigue la distribución normal con media cero y varianza $s_{\tau_i}^2$, esto es, $(\mathbf{O}, s_{\tau_i}^2)$ donde $s_{\tau_i}^2$ es la varianza entre tratamientos.

El análisis estadístico de las variables obtenidas en un experimento, usualmente consiste en verificar la $H_0: \Sigma \tau_i = 0$. Si la hipótesis nula es verdadera, no existen efectos de tratamientos y cada observación Y_{ij} está compuesta de su media poblacional y el elemento aleatorio de variación. Finalmente debe recordarse que, tanto la varianza del error s_e^2 como la varianza de tratamientos s_t^2 , son estimadores de una varianza común.

Para conocer la razón del proqué usar la prueba de F o análisis de varianza, suponga "t" poblaciones, cada una representando un tratamiento; dado que los parámetros son desconocidos, muestras aleatorias son extraídas de cada población y estimaciones pueden ser hechas de las medias de tratamientos y la media general. Si n_j observaciones iguales son tomadas para cada tratamiento, una disposición podría ser la siguiente, en el esquema de doble entrada que se presenta a continuación, lo cual permitirá explicar el significado de la nomenclatura necesaria para determinar la Ecuación Fundamental del Análisis de Varianza :

ESQUEMA DEL ARREGLO DE LAS MUESTRAS ALEATORIAS

Muestra 1 (Trat. 1)	Muestra 2 (Trat. 2)	Muestra 3 (Trat. 3)	Muestra i (Trat. i)	Muestra "t" (Trat. "t")
--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--

Y_{11} Y_{12} Y_{13} Y_{14} Y_{15} \cdot \cdot \cdot Y_{1n}	Y_{21} Y_{22} Y_{23} Y_{24} Y_{25} \cdot \cdot \cdot Y_{2n}	Y_{31} Y_{32} Y_{33} Y_{34} Y_{35} \cdot \cdot \cdot Y_{3n}	Y_{i1} Y_{i2} Y_{i3} Y_{i4} Y_{i5} \cdot \cdot \cdot Y_{in}	Y_{t1} Y_{t2} Y_{t3} Y_{t4} Y_{t5} \cdot \cdot \cdot Y_{tn}
---	---	---	---	---

Totales	$Y_{1..}$	$Y_{2..}$	$Y_{3..}$	$Y_{i..}$	$Y_{t..} \Rightarrow Y_{..}$
---------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------------------------

Gran total

Medias	$Y_{1..}/n$	$Y_{2..}/n$	$Y_{3..}/n$	$Y_{i..}/n$	$Y_{t..}/n$
--------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Medias	$\bar{Y}_{1..}$	$\bar{Y}_{2..}$	$\bar{Y}_{3..}$	$\bar{Y}_{i..}$	$\bar{Y}_{t..} \Rightarrow \bar{Y}_{..}$
--------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	--

Media Gnral

$$\bar{Y}_i = \sum Y_{ij}/n ; \quad Y_{..} = \sum \sum Y_{ij} ; \quad \text{o bien} \quad \sum Y_{..}$$

$$\bar{Y}_{..} = \sum \sum Y_{ij}/nt ; \quad \text{o bien} \quad \sum \bar{Y}_i/t ; \quad N = nt$$

5.3.1. Procedimiento para determinar las Sumas de Cuadrados

Es conocido que el Modelo Aditivo Lineal indica que, cada observación está compuesta por una media general, más un efecto debido a los tratamientos en si, más los términos propios de la variación aleatoria (el error experimental). En síntesis el M.A.L. indica que :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

También es conocido el supuesto que se desea verificar, partiendo del razonamiento "reductio ad absurdum"; esto es, que no hay efecto de tratamientos, planteado en la hipótesis :

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_t \quad \text{o bien} \quad \sum \tau_i = 0$$

Si la H_0 es cierta, entonces $Y_{ij} = \mu + \varepsilon_{ij}$, esto indicaría que los tratamientos rinden en promedio lo mismo y que las diferencias presentes son casuales o aleatorias. *Pero bien, es eso lo que precisamente se desea verificar, mediante la prueba de F*, que consiste sencillamente en una relación de varianzas, donde :

$$F = s^2_t / s^2_e ; \quad \text{siendo conocido que una varianza es : } s^2 = SC/gl.$$

Por lo tanto, el procedimiento a desarrollar es determinar las Sumas de Cuadrados (S.C.) respectivas, para que con el uso de los grados de libertad (gl) conocidos, obtener los estimadores de s^2 y efectuar la relación necesaria. A partir del esquema para el arreglo de las muestras presentado anteriormente se deducen algunos términos básicos muy importantes:

- a.- La media general ($\bar{Y}_{..}$) estima a μ .
- b.- La media de cada tratamiento ($\bar{Y}_{i..}$) estima el efecto de cada uno de los tratamientos
- c.- La sumatoria de las diferencias entre ($\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{..}$) permite estimar la *Suma de Cuadrados entre los tratamientos*; esto es, que permite estimar la suma de cuadrados de τ_i
- d.- La sumatoria de las diferencias entre ($Y_{ij} - \bar{Y}_{i..}$) permite estimar la *Suma de Cuadrados dentro de tratamientos*; esto es, que permite estimar la suma de cuadrados del error experimental (ε_{ij}).

El dominio de estos cuatro términos es muy importante debido a que el **M.A.L.** en función de parámetros es realmente desconocido, solamente una estimación es la que se puede obtener a partir de los datos experimentales. Esta estimación permitirá realizar generalizaciones correctas, si se cumplen los supuesto del **ANDEVA**. Todo lo antes explicado puede plantearse en términos matemáticos de la forma siguiente :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \dots \text{ec.(1)} \implies \text{ecuación de Parámetros.}$$

$$Y_{ij} = \bar{Y}_{..} + (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.}) \dots \text{ec.(2)} \implies \text{ecuación de Estadísticos.}$$

$$Y_{ij} - \bar{Y}_{..} = (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.}) \dots \text{ec.(3)} \implies \text{ecuación de Estadísticos.}$$

La ecuación (3) puede interpretarse así : la desviación de cualquier observación con respecto a la media general puede descomponerse en dos partes :

- a- La desviación de la media de los tratamientos con respecto a la media general.
- b- La desviación de las observaciones con respecto a la media de su tratamiento.

Para determinar las sumas de cuadrados necesarias para realizar el **ANDEVA** se manipula matemáticamente la ecuación (3). *Debe recordarse que desviaciones elevadas al cuadrado constituyen sumas de cuadrados.* Se le aplica sumatoria y se eleva al cuadrado cada uno de los miembros de la ecuación (3); finalmente se desarrolla el binomio establecido, para obtener la ecuación fundamental del **ANDEVA**.

$$\sum \sum (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2 = \sum \sum [(\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})]^2 \dots \text{ec. (4)}$$

$$\sum \sum (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2 = \sum \sum (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2 + \sum \sum (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2 +$$

$$2 \sum \sum [(\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}) * (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})] \dots \text{donde :}$$

$$2 \sum \sum [(\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}) * (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})] = 0$$

Por lo tanto :

$$\sum \sum (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2 = \sum \sum (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2 + \sum \sum (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2 \dots \text{ec. (5)}$$

Esta última ecuación recibe el nombre de : "Ecuación Fundamental del Análisis de Varianza" y se interpreta como :

La SC Total = SC de Tratamientos + SC del Error

Hasta aquí se ha abordado una etapa de mucha importancia para comprender las bases de un ANDEVA; no obstante, la búsqueda de las sumas de cuadrado (S.C.) son un medio y no un fin. Son necesarias las S.C., para luego relacionarlas con sus grados de libertad (gl) respectivos y obtener los estimadores de varianza que realmente evaluarán la variabilidad presente en los datos experimentales. Recuérdese que una $s^2 = S.C./gl$; por lo tanto, si cada término de la ecuación fundamental del ANDEVA se divide entre sus gl, se obtiene una ecuación en función de varianzas; con esto se logra obtener un estimador de varianza para cada uno de los términos que representarán tres estimadores de varianzas; entonces al dividir :

$$SCTotal/nt-1; \quad SCEntre\ Tratamientos/t-1; \quad SCDentro\ de\ Tratamientos/t(n-1)$$

Se obtienen 3 estimadores de varianzas, que expresan el concepto básico del ANDEVA :

$$s^2_{Total} = s^2_{Entre\ tratamiento} + s^2_{Dentro\ de\ tratamiento}$$

5.3.2. Prueba de hipótesis a través de F (ANDEVA)

Tal como se señala al inicio de este capítulo, se ha partido la variabilidad total de un conjunto de observaciones, tanto en fuentes conocidas de variación como en fuentes extrañas de variación; estas son, de acuerdo al procedimiento desarrollado :

a. *A partir de las medias muestrales, dado por :*

$$s^2_{trat} = \sum \sum (\bar{Y}_{i\bullet} - \bar{Y}_{\bullet\bullet})^2 / t-1 \implies \text{VARIABILIDAD ENTRE TRATAMIENTOS}$$

b. *A partir de los individuos de las "t" muestras, dado por :*

$$s^2_{error} = \sum \sum (Y_{ij} - \bar{Y}_{i\bullet})^2 / t(n-1) \implies \text{VARIABILIDAD ALEATORIA}$$

La prueba de F es una razón entre dos varianzas y se utiliza para determinar si dos estimaciones de varianzas independientes, pueden ser admitidas como estimadores de una misma varianza. De ahí que, una prueba de significación para las diferencias entre "t" medias muestrales (tratamientos), es decir probar la hipótesis nula de igualdad de tratamientos, se podría determinar mediante la razón de los dos estimados de varianzas anteriores, esto es precisamente la prueba de F, (Little y Hills, 1981).

De esta forma, si se tienen "t" muestras extraídas al azar de poblaciones con medias desconocidas y varianzas iguales, y se plantea la hipótesis :

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_t$$

H_a : No todas las medias iguales.

entonces el estadístico F con (t - 1) y t(n - 1) grados de libertad, puede usarse :

$$F = \frac{s^2_{\text{a partir de medias}}}{s^2_{\text{a partir de individuos}}} \quad \begin{matrix} \longrightarrow \text{Variabilidad entre tratamientos} \\ \longrightarrow \text{Variabilidad aleatoria.} \end{matrix}$$

El estimador de s^2 obtenido a partir de los individuos, no es afectado por la media de las medias muestrales (media general); mientras que, s^2 obtenida de las medias si puede estar afectada, producto de que cada muestra representa un tratamiento distinto, que son en los cuales se está interesado examinar su efecto. El cociente de la relación entre estos dos estimadores de la varianza expresa dos posibles resultados cualitativos diferentes sumamente importantes, a saber :

a. El estadístico F_c es relativamente grande (mayor que 1), consecuencia de un numerador relativamente grande, debido a que la diferencia entre las medias muestrales (medias de tratamientos) es bien marcada. Esto conduce a interpretar que la variación entre tratamientos es significativa, lo cual implica rechazar H_0 y concluir que las diferencias observadas entre las medias muestrales (tratamientos) no son casuales sino reales.

b. El estadístico F_c es relativamente pequeño (menor que 1), o aproximado a 1, consecuencia de un numerador pequeño o bien bastante parecido al denominador, lo cual se debe a que la diferencia entre las medias muestrales (tratamientos) no es tan relevante. Esto conduce a interpretar que la variación entre tratamientos no es significativa, lo cual implica aceptar H_0 y concluir que las diferencias observadas entre los tratamientos, si bien existen, no son reales sino aleatorias; es decir propia de la variabilidad innata de los organismos vivos o del manejo experimental de los mismos.

5.4. Fórmulas operacionales

Comprender la ecuación fundamental del ANDEVA es básico, sin embargo desde el punto de vista práctico, no son esas fórmulas las que se usan para calcular las Sumas de Cuadrados, sino las que se presentan a continuación, de acuerdo a Caballero W., (1975) :

$$1. \text{ SC Total} = \sum \sum (Y_{ij} - Y_{..})^2 = \sum \sum Y_{ij}^2 - (Y_{..})^2 / nt \dots\dots\dots \text{ec. (6)}$$

$$2. \text{ SC Entre Tratamiento} = \sum \sum (Y_{i..} - Y_{..})^2 = \sum Y_{i..}^2 / n - (Y_{..})^2 / nt \dots\dots\dots \text{ec. (7)}$$

$$3. \text{ SC Dentro Tratamiento} = \text{SCTotal} - \text{SCEntre Tratamiento} \dots\dots\dots \text{ec. (8)}$$

5.5. Supuestos del Análisis de Varianza

Al realizar el análisis de varianza para probar la hipótesis de homogeneidad de varianzas, ciertas suposiciones básicas deben cumplirse desde el punto de vista estadístico. Sin ellas, cualquier inferencia que se realice carecerá de validez. Estos supuestos, de acuerdo a Little y Hills (1981), son :

5.5.1. Independencia

En experimentos agrícolas este supuesto puede ser violado con frecuencia si no es ejecutado adecuadamente el proceso de aleatorización. *El supuesto se refiere a que los términos del error no están correlacionados.* Puesto que parcelas adyacentes de un campo tienden a estar más estrechamente relacionadas entre sí que parcelas separadas, utilizando técnicas de azarización, el investigador hace todo lo posible para que la correlación entre errores no afecte a ningún tratamiento en particular. La mayor seguridad contra cualquier violación de este supuesto consiste en llevar a cabo una buena azarización, de acuerdo al diseño experimental a usar. De no ser así, los resultados podrían no reflejar imparcialmente los efectos de los tratamientos. La no aleatoriedad puede muy bien reflejarse en falta de independencia de los datos o en heterogeneidad de las varianzas o en la no normalidad de la distribución.

5.5.2. Normalidad

Este supuesto significa que si se grafican todos los valores del error se obtendría una distribución normal. Es decir, *se asume que los errores siguen una distribución normal.* Las consecuencias de la no normalidad no son graves si la desviación es moderada; sólo distribuciones muy asimétricas afectan considerablemente los niveles de significación.

5.5.3. Homogeneidad de varianza

Este supuesto se refiere a que las variaciones del error dentro de los tratamientos son homogéneas entre sí, puesto que en el ANDEVA se tiene como hipótesis nula que todas las muestras (tratamientos) provienen de la misma población. La heterogeneidad de las varianzas es frecuente en ciertos tipos de experimentos agrícolas, de manera que en situaciones con datos en que las varianzas no son homogéneas, hay tres posibles alternativas a implementar:

- a. Separar los datos en grupos, de modo que las varianzas de cada grupo sean homogéneas. Luego cada grupo puede utilizarse por separado.
- b. Utilizar fórmulas para ponderar medias de acuerdo a sus varianzas.
- c. Transformar los datos en forma tal que estos sean homogéneos. Una de las causas más comunes de heterogeneidad de varianzas es que exista una relación definida entre las medias de las muestras y sus varianzas, es decir una correlación positiva entre medias y varianzas. Datos que frecuentemente muestran tal relación, son aquellos basados en porcentaje, obtenidos de datos discretos o de conteo, estos datos rompen el supuesto de homogeneidad de varianzas. En estos casos, es recomendable implementar transformaciones a los datos originales, usando la más adecuada según cada caso.

Diferentes tipos de transformaciones y algunas recomendaciones para su uso, (Steel y Torrie, 1985) :

1. \sqrt{Y} : Se utiliza para datos donde el intervalo de % va de 0 a 20% o de 80 a 100 %, pero no de ambos. Los % entre 80 y 100 % deben restarse de 100 primero antes de hacer la transformación.

2. $\sqrt{Y + 0.5}$: Se usa cuando algunos de los valores están por debajo de 10% o aún por debajo de 15% y especialmente cuando hay ceros.

3. $\sqrt{\text{Lg } Y}$: Se usa con números enteros que cubren un amplio intervalo. No puede usarse directamente para valores "ceros" y cuando algunos de los valores son mayores de 10 % debe

usarse $\sqrt{\text{Lg } Y + 1}$

4. $\sqrt{\text{Lg } Y + 1}$: Se comporta como \sqrt{Y} para números hasta 10 % y difiere poco de $\sqrt{\text{Lg } Y}$ para valores mayores del 10%.

5. ArcSen \sqrt{Y} : Una escala especialmente útil y muy recomendada es la escala de **Grados Bliss**, conocida también como transformación angular o ArcSen. Se recomienda especialmente cuando los valores cubren un intervalo amplio de valores porcentuales.

5.5.4. Aditividad

Para cada Diseño experimental existe un modelo matemático denominado **M.A.L.**, el cual explica que los efectos principales del modelo son aditivos; es decir :

$$\text{Para un D.C.A., este modelo es : } Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$\text{Para un B.C.A., este modelo es : } Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

El aspecto importante que debe notarse en estos modelos es que los términos se suman, a medida que se adicionan otras fuentes de variación en estudio.

5.6. Forma de presentación del Análisis de Varianza

Usualmente el análisis de varianza se presenta en forma tabular bajo el título de Análisis de Varianza o simplemente **ANDEVA**, tal como se presenta en el cuadro 5.1. En la primera columna se anotan las Fuentes de Variación (F de V). En la segunda los valores representativos de las Sumas de Cuadrados (S de C). En la tercera los Grados de Libertad (gl). En la cuarta los Cuadrados Medios (CM) o varianzas (s^2) correspondientes a entre muestras y dentro de muestras; y en la quinta columna, a nivel de la fuente entre muestras, el valor de F_c . Si F calculado es significativo, es costumbre indicarse con un asterisco, escrito en la parte derecha superior del valor respectivo, y si es altamente significativo, con dos asteriscos.

Cuadro 5.1. Presentación del **ANDEVA**. Caballero W., (1975).

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grado de Libertad	Cuadrado medio	F_c
Entre muestras	SCEM	t - 1	SCEM/t - 1	CMEM/CMDM
Dentro de muestras	SCDM	t (n-1)	SCDM/t(n-1)	
Total	SCT	tn - 1		

5.7. Aplicación del Análisis de Varianza

Las posibilidades de uso del análisis de varianza son ilimitadas en los diversos campos donde se haga uso de la experimentación de fenómenos sujetos a variación. *En todas las aplicaciones, generalmente las fuentes de variación entre muestras es conocida como tratamientos y dentro de muestras como error.* Para ilustración, Caballero W. (1975), cita algunos ejemplos donde puede usarse el análisis de varianza :

- Efecto de variedades y diferentes dosis de fertilización nitrogenada sobre el rendimientos de un cultivo determinado.
- Efecto de diferentes raciones alimenticias sobre la ganancia de peso en animales.
- Efecto de toxicidad y poder residual de productos químicos sobre insectos.
- etc.

CAPITULO 6.

ANALISIS ESTADISTICO DE RESULTADOS

PROVENIENTES DE EXPERIMENTOS

UNIFACTORIALES

6.1. DISEÑO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO, (D.C.A.)

6.1.1. Introducción

Un Diseño Completamente Aleatorizado (**D.C.A.**), es un diseño en el cual los tratamientos son asignados completamente al azar a las unidades experimentales. Es un diseño que no impone restricciones tales como bloqueo o agrupamiento en la distribución de los tratamientos a las unidades experimentales.

El **D.C.A.** es el diseño más sencillo y se origina por la asignación aleatoria irrestricta de los tratamientos. En este diseño puede probarse cualquier número de tratamientos; resulta deseable, pero no indispensable asignar el mismo número de repeticiones para cada tratamiento.

Debido a su simplicidad, el **D.C.A.** es ampliamente utilizado. Sin embargo, el investigador debe ser cauteloso, ya que su aplicación debe limitarse a aquellos casos en los que se disponen de unidades experimentales relativamente homogéneas. Si no pueden obtenerse tales condiciones, es preferible implementar alguna forma de bloqueo de las unidades experimentales para incrementar la eficiencia del diseño. Por lo general, el **D.C.A.** no es el diseño más eficiente para ensayos de campo con plantas, pero puede constituir la disposición más factible para verificar ciertos tipos de tratamientos en animales.

En términos prácticos, las condiciones de homogeneidad relativa de las unidades experimentales, que demanda el **D.C.A.** para su aplicación, son inherentes a aquellas condiciones experimentales en que es posible mantener determinado control sobre factores de variabilidad medio ambiental y puede estandarizarse el medio o sustrato receptor de los tratamientos. Tal es el caso de los experimentos realizados en laboratorio, invernadero, corral, galerones, etc.; en donde se puede garantizar la homogeneidad relativa del material experimental. Es relevante destacar en el **D.C.A.**, que la homogeneidad de las unidades experimentales es lo que permite que los tratamientos se les puedan aplicar completamente al azar; así mismo, los tratamientos objeto de estudio constituyen la única fuente de variación conocida.

6.1.2. Ventajas

1. El **D.C.A.** es flexible, en cuanto a que el número de tratamientos y de repeticiones, sólo está limitado por el número de unidades experimentales disponibles. El número de repeticiones puede variar de un tratamiento a otro, aunque lo ideal sería tener igual número por tratamiento.
2. El análisis estadístico del **D.C.A.** es sencillo, aún en el caso en que el número de repeticiones difiera para tratamientos.

3. El número de grados de libertad para estimar el error experimental es máximo; esto mejora la precisión del experimento y es importante con experimentos pequeños, es decir aquellos en que los grados de libertad del error experimental son menor de 20.

6.1.3. Desventajas

1. La principal desventaja del D.C.A., es su ineficiencia para ensayos de campo con plantas, ya que el error experimental incluye toda la variación entre las unidades experimentales excepto la debida a los tratamientos.

6.1.4. Proceso de Aleatorización o Azarización del D.C.A.

La aleatorización, se logra asignando tratamientos a las unidades experimentales de manera completamente al azar, es decir, que cada unidad experimental tenga la misma probabilidad de recibir un tratamiento cualquiera. No se impone restricciones a la aleatorización como cuando se necesita que un bloque contenga todos los tratamientos. La elección del número de observaciones que deben hacerse sobre los diversos tratamientos, no se considera una restricción a la aleatorización.

La aleatorización se lleva a cabo mediante el uso de la tabla de números aleatorios; aunque pueden utilizarse otros métodos prácticos de sorteo.

El procedimiento para realizar la completa azarización puede describirse por los siguientes pasos:

1. Se enumeran todas las unidades experimentales desde 1 hasta "tr" unidades, si existen un mismo número de repeticiones por tratamientos; o hasta la $\sum n_i$, si el número de repeticiones por tratamientos es diferente.

2. Extraer al azar los números aleatorios correspondientes a las unidades experimentales que recibirán el primer tratamiento y así sucesivamente para los siguientes tratamientos hasta el último.

6.1.5. El Modelo Aditivo Lineal (M.A.L.) para un D.C.A.

Si se tuvieran muestras de "t" poblaciones con diferentes medias, pero varianza común, la composición de una observación cualquiera estaría dada por el siguiente modelo :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \dots \text{ donde :}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, t$ tratamientos.
 $j = 1, 2, 3, \dots, n$ observaciones.

Y_{ij} = La j -ésima observación del i -ésimo tratamiento.

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento.

ε_{ij} = Efecto aleatorio de variación.

6.1.6. La tabla del Análisis de Varianza

En el presente inciso se asume como tabla del Análisis de Varianza la descripción algebraica del diseño en mención (en este caso D.C.A.) desde la generalización de los datos iniciales, las fórmulas operacionales correspondientes hasta las sumas de cuadrados y finalmente la tabla donde se resumen los grados de libertad; los cuadrados medios y el F calculado. Todo esto con el propósito de que el estudiante se familiarize con la nomenclatura algebraica para cada diseño.

Los datos iniciales de un experimento (hipotético) en el que se estudiarán 6 tratamientos con 4 observaciones o repeticiones c/u, se toman como referencia para ejemplificar. Esto es :

$i = 1, 2, 3, \dots, t = 6$ $n = 1, 2, 3, \dots, r = 4$

Por lo tanto tendremos : $t \cdot r = 6 \cdot 4 = 24$ Unidades Experimentales.

Cuadro 6.1.1. Generalización de los datos para un D.C.A.

TRATAMIENTOS	1	2	3	4	Totales $\Sigma Y_{i.}$	Medias $\bar{Y}_{i.}$
T_1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	$Y_{1..}$	$\bar{Y}_{1..}$
T_2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	$Y_{2..}$	$\bar{Y}_{2..}$
T_3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	$Y_{3..}$	$\bar{Y}_{3..}$
T_4	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}	$Y_{4..}$	$\bar{Y}_{4..}$
T_5	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{54}	$Y_{5..}$	$\bar{Y}_{5..}$
T_6	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{64}	$Y_{6..}$	$\bar{Y}_{6..}$
					$Y_{..}$	$\bar{Y}_{..}$

Cálculo de las Sumas de Cuadrados para el D.C.A.

1. F.C. = $(\bar{Y}_{..})^2 / n t$
2. S.C.Total = $\sum \sum Y_{ij}^2 - F.C.$
3. S.C.Trat = $\sum Y_{i..}^2 / n - F.C.$
4. S.C.Error = S.C.Total - S.C.Trat.

Cuadro 6.1.2. Tabla del ANDEVA para un D.C.A.

Fuente de variación	S.C.	GL	CM	F _c
Trat.	$\sum Y_{i..}^2 / n - F.C.$	t - 1	SCTrat/t-1	<u>CMTrat</u> CME
Error	Por Diferencia	t (n-1)	SCE/t(n-1)	
Total	$\sum Y_{ij}^2 - F.C.$	tn-1		

6.1.7. Ilustración del procedimiento para realizar el ANDEVA para un D.C.A con igual número de repeticiones por tratamiento

A partir de un ensayo de campo establecido en la Estación Experimental Raúl González del Valle de Sébaco, Miranda A. 1990, realizó un muestreo completamente al azar para determinar por medio de diferentes parámetros el potencial agroindustrial de cinco variedades de tomate industrial. En el cuadro 6.1.3., se presentan los datos del peso de jugo obtenido.

Cuadro 6.1.3. Peso de jugo (en g) obtenido para diferentes variedades de tomate industrial.

VARIE-DADES	OBSERVACIONES				Totales $\Sigma Y_{i..}$	Medias $\bar{Y}_{i..}$
	1	2	3	4		
MARTI	656.30	718.40	586.60	746.20	2707.50	676.87
TOPACIO	784.40	713.40	915.80	629.60	3043.20	760.80
ESTELA	924.50	822.80	824.20	978.50	3550.00	887.50
VF - 134	534.40	685.10	567.20	655.50	2442.20	610.55
UC - 82	640.70	658.8	532.70	614.40	2446.60	611.65

Descripción del M.A.L. para el experimento

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{donde :}$$

$i = 1, 2, 3 \dots \dots \dots t = 5 \implies$ tratamientos.

$j = 1, 2, 3 \dots \dots \dots n = 4 \implies$ observaciones.

Y_{ij} = Es el dato del peso de jugo (en gr) para c/u de las variedades. Es decir, representa la j-ésima observación del peso de jugo registrado en la i-ésima variedad evaluada.

μ = Es la verdadera media poblacional del peso de jugo en las variedades de tomate.

τ_i = Es el efecto o influencia de la i-ésima variedad de tomate industrial sobre el peso del jugo.

ε_{ij} = Es el elemento aleatorio de variación generado en el experimento.

Establecer las Hipótesis correspondientes

$H_0 : \sum \tau_i = 0 \dots \dots \dots$, es decir : Todos los tratamientos son iguales entre sí.

$H_a : \sum \tau_i \neq 0 \dots \dots \dots$, es decir : Al menos un par de tratamientos difieren entre sí.

Cálculo de las Sumas de Cuadrados correspondientes

1) $F.C. = (Y_{..})^2 / nt$.

$$F.C. = (14189.50)^2 / 4 * 5 \implies F.C. = 10067096$$

2) $S.C. \text{ Total} = \sum \sum Y_{ij}^2 - F.C.$

$$S.C. \text{ Total} = [(656.30)^2 + (784.40)^2 + \dots + (655.50)^2 + (614.40)^2] - F.C.$$

$$S.C. \text{ Total} = 320534$$

3) $S.C. \text{ Trat.} = \sum Y_{i..}^2 / n - F.C.$

$$S.C. \text{ Trat.} = [(2707.50)^2 + \dots + (2446.60)^2] / 4 - F.C.$$

S.C. Trat. = 218984

$$4) \quad S.C. Error = S.C. Total - S.C. Trat.$$

$$S.C. Error = 320534 - 218984$$

S.C. Error = 101550

Resultados obtenidos acerca de la significacia de los tratamientos examinados

Cuadro 6.1.4. Análisis de varianza del peso de jugo (en g) para los datos presentados en el cuadro 6.1.3.

Fuente de Variación	S.C.	G.L.	C.M.	F_c	$F_{5\%}$ y $F_{1\%}$	
Variedades	218984	4	54746	8.08**	3.06	4.89
Error	101550	15	6770			
Total	320534	19	C.V.% = 11.59 %			

CONCLUSION :

EL ANDEVA realizado demuestra con un 95 % de confianza que existe efecto de tratamientos, es decir, al menos un par de las cinco variedades de tomate evaluadas, muestran diferencias reales en cuanto a la capacidad de producción de jugo. Al menos un par de las variedades, inducen a producir diferente cantidad de jugo entre si.

6.1.8. Ilustración del procedimiento para realizar el ANDEVA para un D.C.A. con diferente número de repeticiones por tratamiento

El D.C.A. es uno de los pocos diseños que permite usar diferente número de repeticiones por tratamiento y aún es sencillo su análisis estadístico. Algunos ejemplos en que es usual este caso son : Experimentos con animales para probar diferentes dietas alimenticias, donde el número de animales por cada comedero no es el mismo; experimentos para comparar las diferentes especies de insectos capturados en trampas para insectos;

experimentos que pueden ser iniciados con un igual número de repeticiones pero algunas unidades experimentales probablemente son destruidas durante el experimento. Para exemplificar el procedimiento modificado para el cálculo de las Sumas de Cuadrados, se presentan en el cuadro 6.1.5., los datos sobre el rendimiento en grano de arroz de un ensayo conducido en el **IRRI** para evaluar el comportamiento de diferentes herbicidas post-emergentes (Gómez y Gómez, 1984) :

Cuadro 6.1.5. Rendimiento de grano del arroz bajo diferentes tipos, dosis, y tiempo de aplicación de diferentes herbicidas post-emergentes.

PRODUCTOS	TRATAMIENTOS		TIEMPO DE APLICACIÓN (D.D.S)	RENDIMIENTO (kg/ha)			TOTALES	M
	DOSIS (kg a.i./ha)			Y_{ij}	\bar{Y}_i			
Propanil/Bromoxynil	2.0/0.25	21	3.187	4.610	3.562	3.217	14.576	3.644
Propanil 2,4-D-Bee	3.0/1.00	28	3.390	2.875	2.775		9.040	3.013
Propanil/Bromoxynil	2.0/0.25	14	2.797	3.001	2.505	3.490	11.793	2.948
Propanil/loxynil	2.0/0.50	14	2.832	3.103	3.448	2.255	11.638	2.910
Propanil/CHCH	3.0/1.50	21	2.233	2.743	2.727		7.703	2.568
Phenyedipham	1.5	14	2.952	2.272	2.470		7.694	2.565
Propanil/Bromoxynil	2.0/0.25	28	2.858	2.895	2.458	1.723	9.934	2.484
Propanil/2,4-D-IPE	3.0/1.00	28	2.308	2.335	1.975		6.618	2.206
Propanil/loxynil	2.0/0.50	28	2.013	1.788	2.248	2.115	8.164	2.041
Control manual (2 veces)	-----	15 y 35	3.202	3.060	2.240	2.690	11.192	2.798
Control	-----	---	1.192	1.652	1.075	1.030	4.949	1.237

kg a.i./ha : Ingrediente Activo por hectárea; D.D.S : Dias después de siembra.

Descripción del M.A.L. para el experimento

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{donde :}$$

$i = 1,2,3 \dots t = 11 \implies$ tratamientos.

$j = 1,2,3 \dots \sum n_i = 40 \implies$ observaciones.

Y_{ij} = Es el dato del rendimiento de grano (en kg/ha). Es decir, representa la j-ésima observación del rendimiento registrado en el i-ésimo tipo-dosis-tiempo de aplicación del herbicida evaluado.

μ = Es la verdadera media poblacional del rendimiento de grano (en kg/ha).

τ_i = Es el efecto o influencia del i-ésimo tipo-dosis-tiempo de aplicación del herbicida evaluado, sobre el rendimiento de grano en el cultivo del arroz.

ε_{ij} = Es el elemento aleatorio de variación generado en el experimento

Establecer las Hipótesis correspondientes

$H_0 : \sum \tau_i = 0$, es decir : Todos los tratamientos son iguales entre sí.

$H_a : \sum \tau_i \neq 0$, es decir : Al menos un par de tratamientos difieren entre sí.

Cálculo de las Sumas de Cuadrados correspondientes

$$1) \quad F.C. = (Y_{..})^2 / \sum n_i$$

$$F.C. = (103.301)^2 / 40 \implies F.C. = 266.777$$

$$2) \quad S.C. \text{ Total} = \sum \sum Y_{ij}^2 - F.C.$$

$$S.C. \text{ Total} = [(3.187)^2 + (4.610)^2 + \dots + (2.690)^2 + (1.030)^2] - F.C.$$

$$S.C. \text{ Total} = 20.209$$

$$3) \quad S.C. \text{ Trat.} = \sum Y_{i..}^2 / n - F.C.$$

El cálculo de la Suma de Cuadrado para los tratamientos varía ligeramente :

$$S.C. \text{ Trat.} = [(14.576)^2 / 4 + (9.040)^2 / 3 + \dots + (4.949)^2 / 4] - F.C.$$

$$S.C. \text{ Trat.} = 15.090$$

$$4) \quad S.C. \text{ Error} = S.C. \text{ Total} - S.C. \text{ Trat.}$$

$$S.C. \text{ Error} = 20.209 - 15.090$$

$$S.C. \text{ Error} = 5.119$$

Resultados obtenidos acerca de la significacia de los tratamientos examinados

Cuadro 6.1.6. Análisis de varianza para datos del rendimiento de grano (kg/ha) presentados en el cuadro 6.1.5.

Fuente de Variación	S.C.	G.L.	C.M.	F_c .	$F_{5\%}$ y $F_{1\%}$
Tratamientos	15.090	10	1.509	8.57**	2.18 3.00
Error	5.119	29	0.176		
Total	20.209	39	C.V.% = 16.30 %		

CONCLUSION :

EL ANDEVA realizado demuestra con un 95 % de confianza que existe efecto de tratamientos, es decir, al menos un par de las 11 diferentes combinaciones del tipo-dosis-momento de aplicación de herbicidas, muestran diferencias reales entre sí. Esto es, inducen al cultivo del arroz a producir diferente rendimiento de grano.

6.1.9. Algunos estadísticos importantes a utilizar

- El Error Estándar de la diferencia de medias (S_d) : $S_d = \sqrt{2 \text{CME}/r}$
- El Error Estándar de la media (S_y) : $S_y = \sqrt{\text{CME}/r}$
- El Coeficiente de Variación (CV%) : $CV \% = (\sqrt{\text{CME}} / \bar{Y}_{..}) * 100$

6.2. DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR, (B.C.A.)

6.2.1. Introducción

Una aplicación sencilla de los principios expresados en los capítulos anteriores y de uso muy común en los ensayos de campo, es el diseño conocido como **Bloques Completos al Azar (B.C.A.)**. El **B.C.A.** es uno de los diseños más ampliamente utilizados en experimentación agrícola, es caracterizado por bloques de igual tamaño, cada uno de los cuales contiene un grupo completo de todos los tratamientos en estudio. Para este propósito, el lote experimental en que se va a realizar el ensayo se divide en tantos bloques, repeticiones o réplicas del mismo tamaño como repeticiones hayan. Cada uno de los bloques se divide en tantas parcelas del mismo tamaño y forma como tratamientos existan en estudio. Si hay " t " tratamientos y " r " repeticiones, habrán " r " bloques con " t " parcelas en cada bloque, dando un total de " tr " parcelas en el experimento. El término "Bloque", es adecuado utilizar para evitar confusión con el término repeticiones, utilizado en el **D.C.A.**

Sobre el número de repeticiones a establecer en determinado experimento de campo, por su complejidad, tal como lo subraya Mead R. (1988), no hay reglas sencillas para determinarlo; esto dependerá de : Los recursos de que se disponga; La variabilidad de las unidades experimentales; La naturaleza de los tratamientos en estudio; La magnitud del efecto a detectar como significativo; La importancia relativa de las diferentes comparaciones, etc.

La distribución de los tratamientos en **B.C.A.** es la de mayor uso en el diseño de experimentos y tiene grandes ventajas cuando el número de tratamientos no excede de 15 y cuando es posible agrupar las unidades experimentales en estratos o bloques uniformes, de tal manera que la variabilidad entre las unidades experimentales sea mínima, aún cuando la variación entre estratos o bloques sea alta. En general el número de tratamientos por bloque debe ser el menor posible; no obstante, debe ser suficiente para lograr los objetivos del experimento. Cuando el tamaño del bloque aumenta como consecuencia de un gran número de tratamientos, se incrementará la variabilidad aleatoria dentro de éste. No es necesario que cada bloque sea de la misma forma, pero en los experimentos de campo con plantas, ésto es normalmente deseable.

En experimentos de campo, en situaciones en que el comportamiento de las U.E. se puede en parte predecir, la distribución en bloques al azar es de uso común y más eficaz que la distribución completamente al azar, porque en las unidades experimentales agrupadas en estratos o bloques y en aquellos casos de unidades experimentales contiguas hay más similitud en su variación que cuando las unidades experimentales quedan dispersas.

Las ventajas de la distribución en **B.C.A.** son aún mayores cuando se conoce el gradiente de variación, porque permite formar los bloques perpendiculares a la dirección del gradiente. Como se ha indicado, el conocimiento de la dirección de la variabilidad del suelo

puede determinarse por observación y por medio de los ensayos en blanco.

La flexibilidad de la distribución en B.C.A. es tal, que si se pierde una repetición o bloque, se pueden utilizar los resultados de los demás bloques. Si los datos de un bloque son ilógicos por un mal manejo, o lugar excepcional del bloque, en tal forma que se obtengan resultados fuera de lo esperado conforme a un razonamiento agronómico, dichos datos deben desecharse y utilizar los valores de aquellos bloques que se consideren con una variación razonable y valores que sugieran aditividad.

Definición

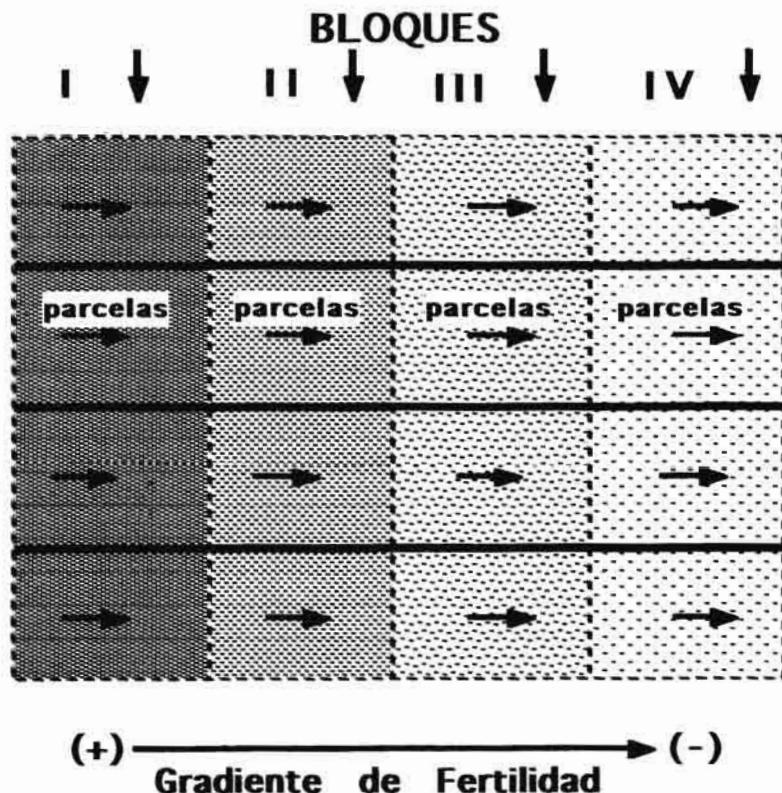
Un diseño de bloques completos al azar (**B.C.A.**) es aquel en que las U.E. se distribuyen en grupos, de manera tal que las U.E. dentro de un bloque o grupo sean relativamente homogéneas; dentro de cada bloque cada tratamiento es asignado al azar usualmente una vez cada uno de ellos.

El propósito primario del bloqueo es reducir, tanto como sea posible, la heterogeneidad entre parcelas dentro de cada bloque. Un bloqueo apropiado incrementa las diferencias entre bloques, mientras las parcelas dentro de cada bloque son más homogéneas entre sí. El minimizar la variabilidad aleatoria entre U.E. dentro de un mismo bloque y maximizar las diferencias entre bloques determina el efecto significativo de bloque, y esto es precisamente lo que permite reducir el error experimental. Por tanto, si no hay diferencias entre los bloques, éste diseño no contribuirá a mejorar la precisión de los datos experimentales obtenidos.

6.2.2. Criterios acerca de la disposición de los bloques en campo

En experimentos zootécnicos los animales se agrupan en bloques, basados en características como peso, edad, raza, sexo, galerón, granja, etc. Sin embargo, en experimentos agrícolas, los bloques normalmente se mantienen compactos en forma rectangular. No es necesario que cada bloque sea de la misma forma, pero es deseable para disminuir la variabilidad aleatoria dentro del bloque. En general, cuando evidencias prácticas preveen un gradiente de variación seguido en el área experimental, (fertilidad, color del suelo, retención de humedad, malezas etc.), los bloques deben orientarse perpendicularmente a la gradiente y las parcelas dentro de un bloque deben disponerse paralelamente a la gradiente; tal disposición de los bloques permite captar la variación debida a la heterogeneidad del suelo y mejorar la precisión de los datos experimentales.

Una disposición adecuada se muestra en el siguiente esquema :



Algunas reglas sencillas enunciadas por Gómez y Gómez (1984), para decidir sobre la correcta disposición de los bloques en el campo son las siguientes :

1. Cuando el patrón de fertilidad del lote experimental es conocido, los bloques deben orientarse de tal forma que las diferencias de suelo entre bloques sean maximizadas y aquellas dentro de bloques sean minimizadas. Para un lote con gradiente de fertilidad unidireccional (un solo sentido), los bloques a usar deben ser alargados y angostos; así como, deben estar orientados de tal forma que su longitud esté perpendicular a la dirección del gradiente de fertilidad del suelo. Por ejemplo, para un lote con gradiente de fertilidad a lo largo de la longitud del campo, los bloques deben ser hechos de modo que cruzen el ancho del lote experimental, es decir, cortando el lote através de la gradiente.
2. Cuando una gradiente de fertilidad ocurre en dos direcciones, con una dirección perpendicular a la otra, o aproximadamente perpendicular, un Diseño Cuadrado Latino debe ser usado. Sin embargo, si un diseño de B.C.A. va a ser usado, se recomienda que los bloques sean más o menos cuadrados.

3. Cuando el patrón de fertilidad no es conocido o cuando la gradiente de fertilidad es errática, entonces los bloques se recomienda sean tan cuadrados como sea posible.

6.2.3. Consideraciones técnicas y prácticas para la aplicación del Diseño de B.C.A.

En general, algunas recomendaciones prácticas sencillas son señaladas por Reyes C. (1982), para utilizar la distribución en B.C.A. son las siguientes :

1. Cuando el número de tratamientos es de tres a 15.
2. Cuando se conoce el gradiente de la variabilidad del suelo, en cuyo caso los bloques deben orientarse perpendicularmente al gradiente y las unidades experimentales deben tener su mayor dimensión en la misma dirección y sentido que dicho gradiente.

Sobre el bloqueo de las parcelas experimentales Binns M.R. (1982), señala que es necesario expresar tal relación en términos de la correlación entre parcelas dentro de los bloques. Lin C.S. y Binns M.R. (1986), profundizaron investigaciones sobre la respuesta relativa de aplicar el diseño de B.C.A. y formularon tres reglas sobre su aplicación :

1. Si $b < 0.20$, el aumento del número de repeticiones *es más efectivo* que el aumento del tamaño de parcela. En este caso, hacen dos recomendaciones básicas :
 - a) Utilizar un diseño de B.C.A. y b) Que se disminuya el tamaño de parcela a fin de establecer un mayor número de repeticiones.
2. Si $b > 0.70$, el aumento del tamaño de parcela es más efectivo que el aumento del número de repeticiones.
3. Si $0.70 > b > 0.20$, el aumento del número de repeticiones y del tamaño de parcela *en combinación*, puede ser lo más recomendable.

Si se considera que, en la práctica de la experimentación, los valores del coeficiente de heterogeneidad del suelo oscilan entre $0.85 > b > 0.20$ -Escobar S.C., (1981)-, es evidente la mayor utilidad del diseño de B.C.A., así como la necesidad de determinar un equilibrio entre el número de repeticiones y el tamaño de parcela a utilizar, para alcanzar un grado de precisión deseado, tal como lo establece el método de Hatheway W.H., (1961).

En relación al manejo de los bloques, en general, se recomienda para los diferentes tratamientos asignados, que las parcelas dentro de cada bloque sean manejadas tan uniforme

como sea posible. *La recolección de los datos y todas las prácticas del manejo del cultivo*, (riegos, control de plagas y enfermedades, fertilización, aporques, eliminación de malezas, etc.), *deben realizarse al mismo tiempo y tan uniformemente como sea posible sobre todas las parcelas en cada bloque.*

Por ejemplo, si la aplicación de insecticidas o la cosecha de un lote experimental debe realizarse en varios días, entonces, todas las parcelas en un bloque deberían ser aplicadas o cosechadas el mismo día. Es deseable que una misma persona haga las observaciones en todas las parcelas de todos los bloques, pero si no es posible, en todo caso, lo mejor sería que diferentes personas sean asignadas a diferentes bloques; por ejemplo, que una persona haga las observaciones de todas las parcelas en un mismo bloque.

6.2.4. Ventajas del Diseño de B.C.A.

- 1.** Permite obtener resultados más precisos que en el D.C.A., debido a la remoción de la variabilidad entre repeticiones, que es una fuente de variación que no puede removese si no hay repeticiones compactas.
- 2.** Permite flexibilidad completa. Puede usarse cualquier número de tratamientos y de repeticiones, pero entre más grandes son las repeticiones, por la inclusión de un gran número de tratamientos, se corre el riesgo de aumentar la heterogeneidad dentro de las repeticiones.
- 3.** Si algunos de los tratamientos se pierden o rechazan, el análisis sigue siendo sencillo; la pérdida relativa de información debida a los datos faltantes es de menos importancia que en cualquier diseño. Sin embargo, si las parcelas perdidas son muchas el diseño es menos conveniente.

6.2.5. Desventajas del Diseño de B.C.A.

- 1.** No es apropiado cuando el número de tratamientos pasa de 15 porque aumenta la variación aleatoria dentro de cada bloque.
- 2.** No es aconsejable cuando hay alta variabilidad en el material experimental.
- 3.** Cuando los niveles de la fuente de variación en base a la cual se ordenan los bloques no tiene efecto sobre los resultados del experimento, no hay ganancia en la precisión de los datos, sino pérdida, por la disminución de los grados de libertad del error experimental.

6.2.6. Proceso de azarización del diseño de B.C.A.

El proceso de azarización es una característica que define un diseño, es decir, para cada diseño existe un proceso de azarización en particular. Para usar la distribución en bloques al azar se deben realizar los siguientes pasos:

1. Dividir el lote experimental o lugar donde se llevará a cabo la experiencia, en bloques; el número de bloques es igual al de repeticiones.
 2. Dividir cada bloque en tantas unidades experimentales como tratamientos se desean estudiar. Cada tratamiento debe aparecer una sola vez en cada bloque.
 3. Dentro de cada bloque, azarizar independientemente los tratamientos. Este procedimiento se repite de manera independiente para cada uno de los bloques.

La aleatorización de los tratamientos dentro de cada bloque, se lleva a cabo mediante el uso de la tabla de números aleatorios; aunque pueden utilizarse otros métodos prácticos de sorteo.

6.2.7. El Modelo Aditivo Lineal (M.A.L.) para un B.C.A.

Si se tuvieran muestras de "t" poblaciones con diferentes medias, pero varianza común, agrupadas de modo que las parcelas vecinas que contienen tales muestras tienden a reflejar un comportamiento similar entre sí, la composición de una observación cualquiera estaría dada por el siguiente modelo :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \dots \quad \text{donde :}$$

i = 1,2,3.....t **tratamientos.**
j = 1,2,3.....r **repeticiones.**

Y_{ij} = La j -ésima observación del i -ésimo tratamiento.

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = Efecto debido al j-ésimo bloque.

ε_{ij} = Efecto aleatorio de variación.

Este modelo asume :

$H_0 : \sum \tau_i = 0$; Si H_0 es cierta.

$H_a : \sum \beta_j = 0$; Si H_0 es cierta.

ε_{ij} : Sigue la distribución Normal con $(0, s_e^2)$

6.2.8. La Tabla del Análisis de Varianza para un diseño de B.C.A.

La tabla del Análisis de Varianza es la descripción algebraica del diseño en mención (en este caso B.C.A.), desde la generalización de los datos iniciales, las fórmulas operacionales correspondientes a las sumas de cuadrados y finalmente la tabla donde se resumen los grados de libertad; los cuadrados medios y el valor de F calculado. Tomese como referencia para exemplificar, los datos iniciales de un experimento (hipotético) en el que se estudiarán 7 tratamientos con 4 bloques o repeticiones c/u; Esto es :

$$i = 1, 2, 3 \dots t = 7 \quad r = 1, 2, 3 \dots r = 4$$

Por lo tanto habrán : $t \cdot r = 7 \cdot 4 = 28$ Unidades Experimentales.

Cuadro 6.2.1. Generalización de los datos para un B.C.A.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				TOTALES $\Sigma Y_{i\bullet}$	Medias $\bar{Y}_{i\bullet}$
	I	II	III	IV		
T ₁	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y _{1•}	$\bar{Y}_{1•}$
T ₂	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y _{2•}	$\bar{Y}_{2•}$
T ₃	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄	Y _{3•}	$\bar{Y}_{3•}$
T ₄	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	Y ₄₄	Y _{4•}	$\bar{Y}_{4•}$
T ₅	Y ₅₁	Y ₅₂	Y ₅₃	Y ₅₄	Y _{5•}	$\bar{Y}_{5•}$
T ₆	Y ₆₁	Y ₆₂	Y ₆₃	Y ₆₄	Y _{6•}	$\bar{Y}_{6•}$
T ₇	Y ₇₁	Y ₇₂	Y ₇₃	Y ₇₄	Y _{7•}	$\bar{Y}_{7•}$
TOTALES $\Sigma Y_{\bullet j}$	Y_{•1}	Y_{•2}	Y_{•3}	Y_{•4}	Y_{..}	$\bar{Y}_{..}$

Cálculo de las Sumas de Cuadrados para el B.C.A.

$$1. F.C. = (Y_{..})^2 / rt$$

$$2. S.C.Total = \sum \sum Y_{ij}^2 - F.C.$$

$$3. S.C.Trat = \sum Y_{i..}^2 / r - F.C.$$

$$4. S.C.Bloq = \sum Y_{..j}^2 / t - F.C.$$

$$5. S.C.Error = S.C.Total - S.C.Trat. - S.C.Bloque$$

Cuadro 6.2.2. Tabla del ANDEVA para un B.C.A.

Fuente de variación	S.C.	GL	CM	F _c
Tratamiento	$\sum Y_{i..}^2 / r - F.C.$	t - 1	SCTrat/t-1	<u>CMTrat</u> CME
Bloque	$\sum Y_{..j}^2 / t - F.C.$	r - 1	SCBloq/r-1	<u>CMBloq</u> CME
Error	Por Diferencia (t-1)(r-1)		SCE/gle	
Total	$\sum \sum Y_{ij}^2 - F.C.$	tr-1		

6.2.9. Ilustración del procedimiento para realizar el ANDEVA para un B.C.A.

Alemán M. 1991, estableció un ensayo de campo en B.C.A., en la Estación Experimental Raúl González del Valle de Sébaco, para determinar el potencial agronómico de cinco variedades de tomate industrial. En el cuadro 6.2.3., se presentan los datos correspondientes al diámetro ecuatorial de fruto.

Cuadro 6.2.3. Diámetro ecuatorial (en cm) obtenido para diferentes variedades de tomate industrial.

VARIEDADES	BLOQUES				Totales ΣY_{ij}	Medias \bar{Y}_{ij}
	I	II	III	IV		
MARTI	6.64	6.59	6.33	5.80	25.36	6.34
TOPACIO	7.37	6.21	6.19	6.39	26.16	6.54
ESTELA	6.87	7.03	6.53	6.66	27.09	6.77
VF - 134	5.79	5.49	5.54	5.91	22.73	5.68
UC - 82	5.19	5.48	5.42	5.46	21.55	5.38
Totales ΣY_{ij}	31.86	30.80	30.01	30.22	122.89	6.14

Descripción del M.A.L. para el experimento

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \text{donde :}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, t = 5 \implies$ tratamientos.
 $j = 1, 2, 3, \dots, r = 4 \implies$ repeticiones.

Y_{ij} = Es el dato del diámetro ecuatorial (en cm) para c/u de las variedades. Es decir, representa la j-ésima observación del diámetro ecuatorial registrado en la i-ésima variedad evaluada.

μ = Es la verdadera media poblacional del diámetro ecuatorial en las variedades de tomate.

τ_i = Es el efecto o influencia de la i-ésima variedad de tomate industrial sobre el diámetro ecuatorial registrado.

β_j = Efecto debido al j-ésimo bloque.

ε_{ij} = Es el elemento aleatorio de variación generado en el experimento.

Establecer las Hipótesis correspondientes

$H_0 : \sum \tau_i = 0$, es decir : Todos los tratamientos son iguales entre sí.

$H_0 : \sum \beta_j = 0$, es decir : No hay efecto de bloque.

Cálculo de las Sumas de Cuadrados correspondientes

1) $F.C. = (\bar{Y}_{..})^2/rt.$

$$F.C. = (122.89)^2/4*5 \implies F.C. = 755.097$$

2) $S.C. \text{ Total} = \sum \sum Y_{ij}^2 - F.C.$

$$S.C. \text{ Total} = [(6.64)^2 + (7.37)^2 + \dots + (5.91)^2 + (5.46)^2] - F.C.$$

$$S.C. \text{ Total} = 7.210$$

3) $S.C. \text{ Trat.} = \sum Y_{i.}^2/r - F.C.$

$$S.C. \text{ Trat.} = [(25.36)^2 + \dots + (21.55)^2]/4 - F.C.$$

$$S.C. \text{ Trat.} = 5.502$$

4) $S.C. \text{ Bloq.} = \sum Y_{.j}^2/t - F.C.$

$$S.C. \text{ Bloque} = [(31.86)^2 + \dots + (30.22)^2]/5 - F.C.$$

$$S.C. \text{ Bloque} = 0.412$$

5) $S.C. \text{ Error} = S.C. \text{ Total} - S.C. \text{ Trat.} - S.C. \text{ Bloque}$

$$S.C. \text{ Error} = 7.210 - 5.502 - 0.412$$

$$S.C. \text{ Error} = 1.296$$

Resultados obtenidos acerca de la significacia de los tratamientos examinados

Cuadro 6.2.4. Análisis de varianza del diámetro ecuatorial de fruto (en cm) para los datos presentados en el cuadro 6.2.3.

Fuente de Variación	S.C.	G.L.	C.M.	F _c .	F _{5%}	F _{1%}
Bloque	0.412	3	0.137	1.27 N.S.	3.49	5.95
Variedades	5.502	4	1.375	12.72 **	3.26	5.41
Error	1.296	12	0.108			
Total	7.210	19		C.V.% = 5.35 %		

CONCLUSION :

EL ANDEVA realizado demuestra con un 95 % de confianza que al menos un par de las cinco variedades de tomate evaluadas, muestran diferencias reales en cuanto al diámetro ecuatorial. Es decir, al menos un par de las variedades, inducen a producir frutos de diferente diámetro ecuatorial entre sí.

6.2.10. Prueba de Rangos Múltiples de Duncan

Consiste básicamente en calcular :

$$R_p = r p_{\alpha; \text{gle}; p} * S_y \quad \text{Donde :}$$

R_p = Es el valor crítico de Duncan o en términos técnicos estadísticos la diferencia mínima significativa de acuerdo al criterio de Duncan.

r_p = Son los valores tabulares de Duncan, los cuales se toman para determinado $\alpha = 5\%$ ó 1% ; con "p" número de medias de tratamientos que participan en la comparación de rangos desde "p" = 2,3,4,5..... hasta "t" tratamientos en el experimento; así como los correspondientes grados de libertad del error (gle).

S_y = Es el error estandar de la media: $\sqrt{S^2/r}$; donde S^2 es el cuadrado medio del error en el experimento :

Para el ejemplo concreto del diámetro ecuatorial de las variedades de tomate industrial el cálculo se realiza como sigue:

a) Calcular el error estandar de la media

$$S_y = \sqrt{\overline{\text{CME}}/r} \implies \sqrt{0.1080 / 4} \implies S_y = 0.1643 \text{ cm}$$

b) En una tabla por separado es necesario que se determinen los valores tabulares de Duncan (R_p**)**

Cuadro 6.2.5. Cálculo de los valores críticos de Duncan para diferentes rangos de comparación.

"p" : número de medias involucradas en el rango de comparación	2	3	4	5
r_p 5%; 12gle	3.08	3.23	3.33	3.36
S_y	0.1643	0.1643	0.1643	0.1643
R_p al 5 %	0.5060	0.5306	0.5471	0.5520

c) *Ordenamiento de las medias de tratamientos de mayor a menor en una tabla de doble entrada y determinar las diferencias de medias*

Cuadro 6.2.6. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de Duncan.

Categoría Estadística	Medias de Tratamiento	Estela	Topacio	Martí	VF134	UC82	Rp al 5 %
a	6.70	O	0.16 NS	0.36 NS	1.02*	1.32*	0.5520
a	6.54	-	O	0.20NS	0.86*	1.16*	0.5471
a	6.34	-	-	O	0.66*	0.96*	0.5306
b	5.68	-	-	-	O	0.30NS	0.5060
b	5.38	-	-	-	-	0	

Conclusiones :

La prueba de rangos múltiples de Duncan realizada con $\alpha = 5\%$ indica que el conjunto de tratamientos comparados pueden separarse en dos categorías estadísticas diferentes : En primer lugar las variedades Estela, Topacio y Martí, que presentan el mayor diámetro ecuatorial con 6.7, 6.54 y 6.34 cm respectivamente, siendo estadísticamente iguales entre sí; en segundo lugar las variedades VF - 134 y UC - 82 con 5.68 y 5.38 cm respectivamente siendo a su vez iguales entre sí.

6.2.11. Prueba de Rangos Múltiples de Tukey

El procedimiento consiste en calcular un único comparador teórico común o Diferencia Mínima Significativa utilizando el máximo rango de comparación " $p = t$ ", mediante la aplicación de la fórmula siguiente :

$$W = q_{\alpha; g; e; p = t} * S_y ;$$

donde :

W : Es el valor crítico de Tukey ó La Diferencia Mínima Significativa de acuerdo al criterio de Tukey.

q : Es el valor tabular de Tukey, el cual se determina de acuerdo al $\alpha = 5\%$ ó 1%; con " $p = t$ ", igual al número de tratamientos involucrados en la comparación (es el máximo rango de comparación en la prueba); y los correspondientes grados de libertad del error.

S_y : Es el error estandar de la media: $\sqrt{S^2/r}$

Para el ejemplo del diámetro ecuatorial, el cálculo se realiza de la siguiente forma :

a) *Calcular el error estandar de la media*

$$S_y = \sqrt{CME/r} \implies \sqrt{0.1080/4} \implies S_y = 0.1643 \text{ cm}$$

b) *Determinar el valor tabular de Tukey*

$$q_{\alpha; 12 \text{ g.l.e.}; p=t=5} = 4.51$$

c) *Calcular el comparador o valor crítico de Tukey*

$$W = q_{\alpha; \text{g.l.e.}; p=t} * S_y \implies W = 4.51 * 0.1643 \implies W = 0.7409$$

d) *Ordenamiento de las medias a comparar de mayor a menor en una tabla de doble entrada y determinar las diferencias de medias*

Cuadro 6.2.7. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de Tukey.

Categoría Estadística	Medias de Tratamiento	Estela	Topacio	Martí	VF134	UC82	W al 5 %
a	6.70	O	0.16 NS	0.36 NS	1.02*	1.32*	0.7409
a	6.54	-	O	0.20NS	0.86*	1.16*	
a b	6.34	-	-	O	0.66NS	0.96*	
b c	5.68	-	-	O	0	0.30NS	
c	5.38	-	-	-	-	-	

Conclusiones :

La prueba de rangos múltiples de Tukey realizada con $\alpha = 5\%$ indica que el conjunto de tratamientos comparados pueden separarse en cuatro categorías estadísticas diferentes : En primer lugar las variedades Estela y Topacio que presentan el mayor diámetro ecuatorial con 6.70 y 6.54 cm respectivamente, siendo estadísticamente iguales entre sí; en segundo lugar la variedad Martí con 6.34 cm; en tercer lugar la variedad VF-134 con 5.68 ; en cuarto lugar el menor diámetro obtenido en la variedad UC-82 con 5.38 cm.

6.2.12. Prueba de Rangos Múltiples de S.N.K.

El procedimiento consiste basicamente en calcular :

$$W_p = q_{\alpha; \text{gle}; "p"} * S_y ; \text{ donde}$$

W_p : Es el valor crítico de S.N.K. o La Diferencia Mínima Significativa de acuerdo al criterio de S.N.K.

q : Son los valores tabulares de Tukey, los cuales se determinan de acuerdo al $\alpha = 5\%$ ó 1% ; con " p " número de medias de tratamientos que participan en la comparación de rangos desde " p "=2,3,4,5... hasta " t " tratamientos en el experimento; y los correspondientes grados de libertad del error (gle).

S_y : Es el error estandard de la media: $\sqrt{S^2/r}$

Para el ejemplo de las variedades de tomate industrial el cálculo se realiza tal como sigue:

a) *Calcular el error estandard de la media*

$$S_y = \sqrt{CME/r} \implies \sqrt{1.1080/4} \implies S_y = 0.1643 \text{ cm}$$

b) *En una tabla por separado es necesario que se determinen los valores tabulares de Tukey (q)*

Cuadro 6.2.8. Cálculo de los valores críticos de S.N.K. para diferentes rangos de comparación.

<i>"p"</i> : número de medias involucradas en el rango de comparación				
	2	3	4	5
q 5%; 12gle	3.08	3.77	4.20	4.51
S_y	0.1643	0.1643	0.1643	0.1643
W_p al 5%	0.5060	0.6194	0.6900	0.7409

c) *Ordenamiento de las medias de tratamientos de mayor a menor en una tabla de doble entrada y determinar las diferencias de medias*

Cuadro 6.2.9. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de S.N.K.

Categoría Estadística	Medias de Tratamiento	Estela	Topacio	Marti	VF134	UC82	Wp al 5 %
a	6.70	O	0.16 NS	0.36 NS	1.02*	1.32*	0.7409
a	6.54	-	O	0.20NS	0.86*	1.16*	0.6900
a	6.34	-	-	O	0.66*	0.96*	0.6194
b	5.68	-	-	-	O	0.30NS	0.5060
b	5.38	-	-	-	-	0	

Conclusiones :

La prueba de rangos múltiples de S.N.K. realizada con $\alpha = 5\%$ indica que el conjunto de tratamientos comparados pueden separarse en dos categorías estadísticas diferentes : En primer lugar las variedades Estela, Topacio y Martí que presentan el mayor diámetro ecuatorial con 6.7, 6.54 y 6.34 cm respectivamente, siendo estadísticamente iguales entre sí; en segundo lugar las variedades VF - 134 y UC - 82 con 5.68 y 5.38 cm respectivamente, siendo a su vez iguales entre sí.

6.2.I3. Eficiencia del Bloqueo

Las diferencias entre bloques pueden también ser verificadas, si se desea, dividiendo el cuadrado medio del bloque entre el cuadrado medio del error, para obtener el valor de F observado. En el cuadro 6.2.4 se obtuvo un valor de F para el bloque de 1.27, el cual fue no significativo. Esto indica que el bloqueo utilizado no fue efectivo, es decir no contribuyó significativamente a reducir la magnitud del error experimental. Esto puede conducir al investigador a pensar equivocadamente, que el D.C.A. pudo haberse utilizado en vez de un B.C.A. Para evaluar la ganancia de precisión por haber establecido el experimento en B.C.A. en vez de D.C.A., se calcula el indicador denominado como Eficiencia Relativa del B.C.A. con respecto al D.C.A. . La rutina del cálculo es la siguiente :

$$E.R. = \frac{(r-1) * CMBloque + [(t-1) + (r-1)*(t-1)] * CME}{(rt-1) * CME}$$

En particular, si los grados de libertad del error experimental son menor de 20, la eficiencia relativa debe multiplicarse por el factor **K**:

$$K = \frac{[(r-1)(t-1)+1][t(r-1)+3]}{[t(r-1)+1][(r-1)(t-1)+3]}$$

Aplicando la fórmula de eficiencia relativa a los resultados expuestos en el cuadro 6.2.4., se obtendría:

$$E.R. = \frac{(3)(0.137) + (4+12)(0.108)}{(19)(0.108)} = 2.139/2.052 \implies E.R = 1.042.$$

Dado que los grados de libertad del error en este caso son menor de 20, es necesario calcular el factor **K**:

$$K = [(l_2+1)]*(15+3)/(15+1)*(l_2+3) \implies 234/240$$

$$K = 0.975$$

Finalmente el ajuste de la eficiencia relativa es:

$$\begin{aligned} K * E.R &= (1.042)(0.975) \\ K * E.R. &= 1.016 \end{aligned}$$

Si se expresa la eficiencia relativa como un porcentaje, el resultado obtenido indicaría que se obtuvo un 101.60%, lo cual evidentemente es indicativo de la poca efectividad que tuvo el bloqueo establecido; apenas en un 1.60% se mejoró la precisión de los datos obtenidos en el experimento establecido en B.C.A.

Dos comentarios son necesarios :

Primero

Debe suponerse que los bloques en el campo fueron correctamente establecidos; de lo contrario se viola la comparatividad entre los tratamientos, lo que significaría anular toda validez de los resultados a obtener. Así mismo es lógico suponer que el lote experimental donde se estableciera el experimento, fuera relativamente heterogéneo y por lo tanto debía

establecerse bloques en el campo. De ahí que, un efecto de bloque no significativo, efectivamente no contribuye a mejorar la precisión experimental, tal como se hubiera deseado, pero la decisión de haber establecido el experimento en bloques era la mejor. En este caso la baja eficiencia relativa obtenida no indica que el bloqueo haya sido mal establecido o el diseño no haya sido el adecuado, sino más bien induce a pensar que los bloques eran relativamente homogéneos entre sí y de ahí el efecto no significativo del bloqueo.

Segundo

En el caso de obtener una alta eficiencia relativa, sería indicativo del éxito del bloqueo (efecto significativo de bloque) o que el mismo contribuyó grandemente a mejorar la precisión experimental. El problema es que tal efecto significativo puede ocurrir tanto por una elevada heterogeneidad captada por el bloqueo en el lote experimental, como por la interacción entre tratamientos y bloques, tales casos pueden ser encontrados cuando las diferencias entre bloques son extremadamente grandes. En tal caso, los investigadores no deben elegir bloques tan diferentes, ya que la respuesta de los tratamientos pueda variar demasiado de bloque a bloque.

6.3. DISEÑO CUADRADO LATINO

6.3.1. Introducción

El Diseño Cuadrado Latino (**D.C.L.**) se considera una ampliación del diseño de Bloques Completamente al Azar, con la diferencia de que en este diseño las unidades experimentales están dispuestas en un doble bloqueo.

"Cuando los tratamientos se agrupan en bloques homogéneos en dos direcciones, formando un arreglo en filas y columnas con la particularidad de que cada fila o columna constituye una repetición completa de los tratamientos, se genera un diseño experimental que se conoce con el nombre de Cuadro Latino o Cuadrado Latino". El número total de tratamientos es igual $t = r = h$ al número de filas o de columnas, siendo el total de unidades experimentales un cuadrado perfecto con t^2 (cuadrado del número de tratamientos) unidades experimentales. Este diseño se caracteriza porque un tratamiento cualquiera ocurre representado exactamente una vez en cada fila y en cada columna.

Los Cuadrados Latinos son útiles cuando se dispone de un material experimental cuya variabilidad ocurre en dos sentidos perpendiculares entre sí. La particularidad del diseño, de construir bloques completos en el sentido de las filas y de las columnas, permite observar la variabilidad del material experimental en ambos sentidos.

Este diseño tiene como principal inconveniente que el número de parcelas experimentales requeridas para establecer un experimento se incrementa notablemente a medida que aumenta el número de tratamientos en estudio; por ejemplo, 11 tratamientos en un **D.C.L.** requiere de 121 parcelas experimentales; número de parcelas que en la mayoría de las situaciones prácticas de la experimentación agrícola es considerablemente grande; por lo tanto su uso es limitado hasta un número de tratamientos quizás no mayor de 8.

6.3.2. Ventajas

1. Las parcelas pueden agruparse en bloques de "n" parcelas de dos maneras diferentes: por filas y por columnas. De esta manera, en el análisis estadístico se eliminan las variaciones de fertilidad del suelo en dos direcciones perpendiculares.
2. Permite evitar en general, los efectos de la heterogeneidad del suelo más eficazmente que el método de **B.C.A.**, pues las parcelas de los distintos tratamientos están diseminados en el campo en un doble bloqueo.
3. El ANDEVA es sencillo, aún cuando es ligeramente más complicado que el del **B.C.A.**.

4. En caso de perderse todas las U.E. de un mismo tratamiento, el resto de los tratamientos siguen ajustándose a las características del D.C.L.. Si se pierde una hilera o columna, el diseño queda ajustado a un B.C.A. En caso de perderse una o varias U.E. del mismo o de distintos tratamientos, sus valores pueden ser estimados.

6.3.3. Desventajas

1. Es muy poco flexible, el número de repeticiones está impuesto por el número de tratamientos.

2. El número de grados de libertad resulta muy pequeño, en realidad es recomendado para experimentos en que el número de tratamientos a comparar varía entre 4 y 8. Cuando el número de tratamientos es menor, la distribución resulta imperfecta y la precisión del análisis estadístico es escasa. Cuando es mayor, el número de parcelas en el campo resulta excesivo.

6.3.4. Azarización

Cochran y Cox (1981), desarrollaron muestras estandares del D.C.L.. desde 3 x 3 hasta 12 x 12; a partir de los cuales se puede realizar la azarización.

PROYECTOS CUADRADOS LATINOS ESTANDARES

3x3

A	B	C
B	C	A
C	A	B

4x4

1		2	
A	B	C	D
B	A	D	C
C	D	B	A
D	C	A	B

3		4	
A	B	C	D
B	D	A	C
C	A	D	B
D	C	B	A

5x5

A	B	C	D	E
B	A	E	C	D
C	D	A	E	B
D	E	B	A	C
E	C	D	B	A

6x6

A	B	C	D	E	F
B	F	D	C	A	E
C	D	E	F	B	A
D	A	F	E	C	B
E	C	A	B	E	D
F	E	B	A	D	C

7x7

A	B	C	D	E	F	G
B	C	D	E	F	G	A
C	D	E	F	G	A	B
D	E	F	G	A	B	C
E	F	G	A	B	C	D
F	G	A	B	C	D	E
G	A	B	C	D	E	F

8X8

A B C D E F G H
 B C D E F G H A
 C D E F G H A B
 D E F G H A B C
 E F G H A B C D
 F G H A B C D E
 G H A B C D E F
 H A B C D E R G

9X9

A B C D E F G H I
 B C D E F G H I A
 C D E F G H I A B
 D E F G H I A B C
 E F G H I A B C D
 F G H I A B C D E
 G H I A B C D E F
 H I A B C D E F G
 I A B C D E F G H

10X10

A B C D E F G H I J
 B C D E F G H I J A
 C D E F G H I J A B
 D E F G H I J A B C
 E F G H I J A B C D
 F G H I J A B C D E
 G H I J A B C D E F
 H I J A B C D E F G
 I J A B C D E F G H
 J A B C D E F G H I

11X11

A B C D E F G H I J K
 B C D E F G H I J K A
 C D E F G H I J K A B
 D E F G H I J K A B C
 E F G H I J K A B C D
 F G H I J K A B C D E
 G H I J K A B C D E F
 H I J K A B C D E F G
 I J K A B C D E F G H
 J K A B C D E F G H I
 K A B C D E F G H I J

12x12

A B C D E F G H I J K L
 B C D E F G H I J K L A
 C D E F G H I J K L A B
 D E F G H I J K L A B C
 E F G H I J K L A B C D
 F G H I J K L A B C D E
 G H I J K L A B C D E F
 H I J K L A B C D E F G
 I J K L A B C D E F G H
 J K L A B C D E F G H I
 K L A B C D E F G H I J
 L A B C D E F G H I J K

Los pasos a seguir para la azarización en un **D.C.L.** son los siguientes :

1. Asignar letras a los tratamientos.
2. Tomar un Cuadrado Latino estandard.
3. Numerar las hileras del Cuadrado Latino estandard.
4. Azarizar con la tabla de números aleatorios, las hileras del **D.C.L.** estandard.
5. Numerar las columnas del **D.C.L.** con hileras reordenadas.
6. Azarizar con la tabla de números aleatorios las columnas del **D.C.L.** con hileras azarizadas. Extraer de la tabla los primeros números de dígitos y reordenar las columnas.
7. Disponer los tratamientos en el campo tal como resulte el **D.C.L.** en el paso 6.

Asuma que se evaluará el rendimiento de 5 variedades de sorgo :

1. Asignar letras a los tratamientos.

<u>Variedad</u>	<u>Letra</u>
Criolla	A
D-55	B
Sepén	C
E-57	D
Intasor	E

2. Se toma un **D.C.L.** 5 x 5 estandard o básico.

3. Se numeran las hileras del Cuadrado Latino estandard.

1:	A	B	C	D	E
2:	B	A	E	C	D
3:	C	D	A	E	B
4:	D	E	B	A	C
5:	E	C	D	B	A

4. Se azarizan las hileras : mediante la aplicación de cualquier método de azarización, suponga que se encuentra el siguiente orden : 3,1,5,2,4.

5. Se numeran las columnas del Cuadrado Latino estandard con las hileras reordenadas

1	2	3	4	5
C	D	A	E	B
A	B	C	D	E
E	C	D	B	A
B	A	E	C	D
D	E	B	A	C

6. Azarizar columnas del D.C.L. con las hileras azarizadas: asuma que empleando tarjetas numeradas se encontró el orden de azarización definido por los dígitos 3,1,2,5,4.

7. Usando la azarización para columnas se obtiene :

A	C	D	B	E
C	A	B	E	D <u>Esta es la Dispocisión de</u>
D	E	C	A	B <u>Campo que debe establecerse</u>
E	B	A	D	C
B	D	E	C	A

6.3.5. El Modelo Aditivo Lineal (M.A.L.) para un D.C.L.

Está dado por el siguiente modelo :

$$Y_{ijk(t)} = \mu + \tau_i + \beta_j + \Omega_k + \varepsilon_{ijk} \dots \text{ donde :}$$

i = 1,2,3.....t **tratamientos.**

j= 1,2,3.....c columns.

$Y_{ij(t)}$ = Es el rendimiento del i-ésimo tratamiento correspondiente a la j-ésima columna en la k-ésima hilera.

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento.

B_j = Efecto debido a la j-ésima columna.

Ω_K = Efecto debido a la k-ésima hilera.

ε_{ijk} = Efecto aleatorio de variación.

este modelo asume :

H₀ : $\sum \tau_i = 0$; Si H₀ es cierta.

$H_0 : \sum \beta_j = 0$; Si H_0 es cierta.

H₀ : $\sum \Omega_k = 0$; Si **H₀** es cierta.

ε_{ijk} : Sigue la distribución Normal con $(0, s_e^2)$.

6.3.6. La Tabla del Análisis de Varianza para un D.C.L.

Cuadro 6.3.1. Tabla del ANDEVA para un D.C.L.

Fuente de variación	S.C.	GL	CM	F _c
Tratamientos	$\sum Y_{(t)}^2 - F.C.$	t-1	SCTrat/t-1	<u>CMTrat</u> <u>CME</u>
Columnas	$\sum Y_{*j}^2 - F.C.$	t-1	SCCol/t-1	<u>CMCOL</u> <u>CME</u>
Hileras	$\sum Y_{*k}^2 - F.C.$	t-1	SCHil/t-1	<u>CMHIL</u> <u>CME</u>
Error	Por Diferencia	(t-1)(t-2)	SCE/gle	
Total	$\sum Y_{ij(t)}^2 - F.C.$	$t^2 - 1$		

6.3.7. Ilustración del procedimiento para realizar el ANDEVA para un D.C.L.

Se condujo un experimento en Apodaca N. L usando un D.C.L., para evaluar el rendimiento de 7 variedades de Maíz, - Reyes C., (1982)-.

- a).-Híbrido H-412 (V_1).
- b).-Híbrido Favorita (V_2)
- c).-Sintético Precoz, blanco (V_3)
- d).-Sintético NLVS-1, blanco (V_4)
- e).-Sintético Carmen, blanco (V_5)
- f).-Sintético Carmen, amarillo (V_6)
- g).-Sintético Carmen, amarillo P.L. (V_7)

La distribución de las variedades y la producción de grano seco, en kilos por parcela, se presenta en el cuadro 6.3.2.

Cuadro 6.3.2. Rendimiento de grano de 7 variedades de Maíz. Reyes C., (1982).

HILERAS	COLUMNAS							$\bar{Y}_{\cdot K}$
	1	2	3	4	5	6	7	
1	(F)12.0	(B)10.6	(D)10.6	(C)9.3	(E)11.0	(A)9.0	(G)11.2	73.7
2	(B)8.7	(E)8.6	(G)8.3	(F)9.6	(A)7.5	(D)9.0	(C)8.2	59.9
3	(G)9.3	(C)7.9	(E)7.9	(D)8.2	(F)8.6	(B)9.9	(A)10.1	61.9
4	(C)7.0	(F)7.9	(A)8.0	(G)8.1	(B)9.1	(E)10.8	(D)12.7	63.6
5	(D)8.6	(G)9.9	(B)8.8	(A)8.1	(C)8.9	(F)10.7	(E)10.0	65.0
6	(A)7.7	(D)7.1	(F)6.6	(E)6.6	(G)7.3	(C)7.5	(B)8.7	51.5
7	(E)6.3	(A)6.6	(C)7.8	(B)8.2	(D)7.1	(G)8.6	(F)7.3	51.9
$\bar{Y}_{\cdot J}$	59.6	58.6	58.0	58.1	59.5	65.5	68.2	427.5

Rendimiento total de grano seco por variedad

	A	B	C	D	E	F	G
	9.0	10.0	9.3	10.6	11.0	12.0	11.2
	7.5	8.7	8.2	9.0	8.6	9.6	8.3
	10.1	9.9	7.9	8.2	7.9	8.6	9.3
	8.0	9.1	7.0	12.7	10.8	7.9	8.1
	8.1	8.8	8.9	8.6	10.0	10.7	9.9
	7.7	8.7	7.5	7.1	6.6	6.6	7.3
	6.6	8.2	7.8	7.1	6.3	7.3	8.6
Total	57.0	64.0	56.6	63.3	61.2	62.7	62.7
Medias	8.14	9.14	8.08	9.04	8.74	8.95	8.95

Descripción del M.A.L. para el experimento

$$Y_{ij(t)} = \mu + \tau_i + \beta_j + \Omega_k + \varepsilon_{ijk} \quad \text{donde :}$$

$i = 1, 2, 3 \dots t = 4 \quad \Rightarrow \text{tratamientos.}$

$j=k= 1, 2, 3 \dots c = h = 4 \quad \Rightarrow \text{repeticiones.}$

$Y_{ij(t)}$ = Es el dato del rendimiento de grano para c/u de las variedades.

Es decir, representa el rendimiento registrado de la i-ésima variedad evaluada en la j-ésima columna y k-ésima hilera .

= Es la verdadera media poblacional del rendimiento en las variedades de Maíz.

τ_i = Es el efecto o influencia de la i-ésima variedad de Maíz.

β_j = Efecto debido a la j-ésima columna.

Ω_k = Efecto debido a la k-ésima hilera.

ε_{ijk} = Es el elemento aleatorio de variación generado en el experimento.

Establecer las Hipótesis correspondientes

$H_0 : \sum \tau_i = 0$, es decir: Todos los tratamientos son iguales entre si.

$H_0 : \sum \beta_j = 0$, es decir: No hay efecto de columna.

$H_0 : \sum \Omega_k = 0$, es decir: No hay efecto de hilera.

Cálculo de las Sumas de Cuadrados correspondientes

$$1) \quad F.C. = (Y_{..})^2 / rt.$$

$$F.C. = (427.50)^2 / 49 \implies F.C. = 3729.72$$

$$2) \quad S.C. \text{ Total} = \sum \sum Y_{ij(t)}^2 - F.C.$$

$$S.C. \text{ Total} = [(12.0)^2 + (8.7)^2 + (9.3)^2 + \dots + (7.30)^2] - F.C.$$

$$S.C. \text{ Total} = 102.17$$

$$3) \quad S.C. \text{ Trat.} = \sum Y_{i..}^2 / t - F.C.$$

$$S.C. \text{ Trat.} = [(57)^2 + \dots + (62.7)^2] / 7 - F.C.$$

$$S.C. \text{ Trat.} = 7.92$$

$$4) \quad S.C. \text{ Col.} = \sum Y_{..j}^2 / t - F.C.$$

$$S.C. \text{ Col} = [(59.6)^2 + (58.6)^2 + \dots + (68.2)^2] / 7 - F.C.$$

$$S.C. \text{ Col} = 14.20$$

5) $S.C. Hil. = \sum Y_{ik}^2/t - F.C.$

$$S.C. Hil = [(73.7)^2 + (59.9)^2 + \dots + (51.9)^2]/7 - F.C.$$

$$S.C. Hil = 51.30$$

6) $S.C. Error = S.C. Total - S.C. Trat. - S.C. Col - S.C. Hil$

$$S.C. Error = 102.17 - 7.92 - 14.20 - 51.30$$

$$S.C. Error = 28.75$$

Resultados obtenidos acerca de la significacia de los tratamientos examinados

Cuadro 6.3.3. Análisis de varianza del rendimiento de grano para los datos presentados en el cuadro 6.3.2.

Fuente de Variación	S.C.	G.L.	C.M.	$F_c.$	$F_{5\%}$ y $F_{1\%}$
Variedades	7.92	6	1.32	1.38 ^{ns}	2.42 3.47
Columnas	14.20	6	2.36	2.46*	2.42 3.47
Hileras	51.30	6	8.55	8.92**	2.42 3.47
Error	28.75	30	0.958		
Total	102.17	48		C.V.% = 11.21 %	

CONCLUSION :

EL ANDEVA realizado demuestra con un 99 % de confianza que las variedades de Maíz evaluadas, en general no muestran diferencias reales entre sí, en cuanto al rendimiento de grano. El efecto de bloqueo contribuyó a mejorar la precisión experimental, en ambos sentidos, de columnas y de hileras. Los datos merecen confianza, ya que el C.V.% obtenido (11.21%), es relativamente bajo y comparable al obtenido en otros experimentos de maíz, en los que se toman datos con todas las precauciones necesarias para reducir el error.

6.3.8. Prueba de Rangos Múltiples de S.N.K.

Con fines metodológicos-docentes, se realiza la prueba de S.N.K., ilustrando así su aplicación para datos obtenidos de un D.C.L. El procedimiento consiste básicamente en calcular:

$$W_p = q_{\alpha; \text{gle}} * S_y ; \dots \text{donde}$$

W_p: Es el valor crítico de S.N.K. o La Diferencia Mínima Significativa de acuerdo al criterio de S.N.K.

q : Son los valores tabulares de Tukey, los cuales se determinan de acuerdo al $\alpha = 5\%$ ó 1% ; con " p " número de medias de tratamientos que participan en la comparación de rangos desde " p "=2,3,4,5... hasta " t " tratamientos en el experimento; y los correspondientes grados de libertad del error (gle).

S_y : Es el error estandar de la media: $\sqrt{S^2/r}$

Para el ejemplo de las variedades de Maíz, el cálculo se realiza tal como sigue:

a). *Calcular el error estandard de la media*

$$S_y = \sqrt{CME/r} \implies \sqrt{0.958/7} \implies S_y = 0.3699 \text{ cm}$$

b). *En una tabla por separado es necesario que se determinen los valores tabulares de Tukey (q)*

Cuadro 6.3.4. Cálculo de los valores críticos de S.N.K. para diferentes rangos de comparación.

<i>"p"</i> : número de medias involucradas en el rango de comparación						
	2	3	4	5	6	7
q 5%;30gle	2.89	3.49	3.84	4.10	4.30	4.46
S_y	0.3699	0.3699	0.3699	0.3699	0.3699	0.3699
W_p al 5%	1.069	1.291	1.420	1.516	1.590	1.649

c) *Ordenamiento de las medias de tratamientos de mayor a menor en una tabla de doble entrada y determinar las diferencias de medias*

Cuadro 6.3.5 .Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de S.N.K.

Categoría	B	D	F	G	E	A	C	W_P
Estadística	Medias	9.14	9.04	8.95	8.95	8.74	8.14	8.08
a	9.14	O	0.10 NS	0.19 NS	0.19NS	0.40NS	1.00NS	1.06NS 1.64
a	9.04	-	O	0.09NS	0.09NS	0.30NS	0.90NS	0.96NS 1.59
a	8.95	-	-	O	0	0.21NS	0.81NS	0.87NS 1.51
a	8.95	-	-	-	O	0.21NS	0.81NS	0.87NS 1.42
a	8.74	-	-	-	-	0	0.57NS	0.66NS 1.29
a	8.14	-	-	-	-	-	0	0.06NS 1.06
a	8.08	-	-	-	-	-	-	0

Conclusiones :

La prueba de rangos múltiples de S.N.K. realizada con $\alpha = 5\%$ indica que el conjunto de tratamientos comparados se agrupan en una sola categoría estadística; Es decir, no existen diferencias estadísticas entre las variedades de maíz comparadas, o bien ningún par de variedades comparadas muestra diferencias específicas entre sí.

CAPITULO 7.

TECNICAS DE SEPARACION DE MEDIAS

7.1. Introducción

El resultado de un análisis de varianza indica la igualdad o diferencias estadísticas entre los tratamientos examinados. Dado que una prueba de F con más de un grado de libertad para el cuadrado medio de los tratamientos es un valor promedio obtenido a partir de tantas comparaciones independientes como grados de libertad posean los tratamientos, el resultado obtenido de la prueba de F para los tratamientos refleja la homogeneidad relativa global de la variabilidad del conjunto de tratamientos en estudio y no especifica cual tratamiento difiere estadísticamente de los demás. De ahí que, cuando se tienen varios tratamientos se presenta la necesidad de hacer comparaciones de las medias de los tratamientos, a fin de discriminar variables y clasificar los tratamientos para elegir el mejor si es necesario.

La prueba de F significativa indica realmente que la variabilidad entre los tratamientos no se debe al azar, sino a un efecto distinto de dichos tratamientos, lo cual es equivalente a indicar que las diferencias son significativas entre las medias de las poblaciones, estimadas por las medias de las muestras; sin embargo, la prueba de F no indica cuales medias son iguales o cuales son diferentes, por lo tanto puede suceder que en una serie de tratamientos la prueba de F indique diferencias en el conjunto, pero eso no niega que un par de tratamientos en particular pueda ser igual entre si.

Por otra parte, cuando el resultado de la prueba de F conduce a aceptar la hipótesis nula, parecería innecesario plantearse más preguntas. Sin embargo, ya que en esencia los factores objeto de estudio representan materiales con propiedades que siempre ejercerán determinado efecto sobre los parámetros de los organismos vivos, al examinar los resultados obtenidos de un conjunto de tratamientos evaluados, la conclusión de aceptar la igualdad estadística de los tratamientos analizados, parece ser una simplificación exagerada. Pudiera preguntarse : alguna diferencia real entre un par de tratamientos pudo haberse enmascarado al promediarse con las otras posibles comparaciones?.

Para resolver este problema, con los datos del Análisis de Varianza, se hacen las Pruebas de Significancia de las diferencias entre las medias de los tratamientos, denominadas como Técnicas de Separación de Medias.

Existen varios métodos, los que pueden agruparse en dos tipos básicamente :

a. Pruebas A Posteriori.

b. Pruebas A Priori.

7.2. Pruebas a Posteriori

Estas pruebas pueden a su vez y clasificarse en:

- Pruebas de Comparaciones Específicas (D.M.S. y Dunnet).
- Pruebas de Rangos Múltiples (Duncan, Tukey y S.N.K.)

Con fines docentes, en este Texto básico se abordarán las cinco más usuales.

7.2.1. Diferencia Mínima Significativa (D.M.S.)

Diferentes autores señalan que la D.M.S. se aplica cuando la prueba de F realizada a los tratamientos es significativa. Esta prueba se aplica cuando las comparaciones entre medias son independientes y se han planeado dichas comparaciones antes de que los datos sean examinados. El número de comparaciones independientes (también llamadas ortogonales) que se pueden hacer es igual a $t-1$; con t tratamientos se pueden obtener $t(t-1)/2$ comparaciones múltiples, pero no todas son independientes. Se dice que las comparaciones son independientes cuando cada media aparece únicamente en una comparación. Si por ejemplo $t = 4$, entonces son posibles $t-1=3$ comparaciones independientes:

$$\bar{X}_1 - \bar{X}_2 ; \bar{X}_3 - \bar{X}_4 ; \left(\frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2}{2} - \frac{\bar{X}_3 + \bar{X}_4}{2} \right)$$

Aunque se tendrían $4*3/2=6$ comparaciones múltiples, no todas serían independientes. Usar indiscriminadamente la D.M.S. para probar todas las posibles diferencias entre diversas medias conduce al error de determinar ciertas diferencias significativas que no tienen el nivel de significancia que hemos escogido. En vez de efectuarse al nivel de $\alpha = 5\%$, las comparaciones entre medias con una separación mayor de dos en un arreglo ordenado, se realizaría con un nivel de significancia mucho más bajo.

Como la D.M.S. puede usarse incorrectamente y a menudo así ocurre, algunos estadísticos vacilan en recomendarla. El uso incorrecto más común es hacer comparaciones sugeridas por los datos, comparaciones que no se han planeado previamente. En una comparación planeada se les asigna nombres a los tratamientos de antemano; no es necesario esperar los resultados, por ejemplo, para saber cuál tratamiento está asociado con la mayor respuesta.

Comparaciones no planeadas se denominan de “Efecto sugerido por los datos” o de “Razonamiento posterior a los hechos”.

La D.M.S. es una prueba válida para comparaciones planeadas. La mayoría de los especialistas coinciden en que ésta es adecuada para comparar un tratamiento estandar con los demás tratamientos; tal es el caso de la comparación de variedades con una variedad testigo o estandar.

La D.M.S. es una forma particular de la prueba "t". de Student. Para realizar la prueba de significancia estadística entre dos medias cualquiera, es bien conocida la aplicación de la prueba de "t", tal que:

$$t = \frac{\Delta \bar{Y} - \mu_d}{S_d} \quad \dots \dots \dots \text{ec. (9)}$$

Si : $\Delta \bar{Y} = \bar{y}_1 - \bar{y}_2$; además, partiendo de: $H_0: \mu_1 = \mu_2$ y $H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \Rightarrow \mu_d = 0$;

$$t = \bar{y}_1 - \bar{y}_2 / S_d \quad \dots \dots \dots \text{ec. (10)}$$

$$t_{\alpha; gl} * S_d = \Delta \bar{Y} \quad \dots \dots \dots \text{ec. (11)}$$

El ANDEVA asume que S_1^2 estima la misma varianza que S_2^2 por ser homogéneas y que r_1 es por regla general igual a r_2 , es decir que se cuenta con el mismo número de repeticiones por tratamiento, por lo tanto, se asume que :

$$S_d = \sqrt{2 S^2 / r} \quad \dots \dots \dots \text{queda claro entonces que :}$$

$$\text{D.M.S.} = t_{\alpha; gl} * \sqrt{2 S^2 / r} ; \quad \dots \dots \dots \text{ec. (12)}$$

donde:

S^2 = Cuadrado medio del error

r = Número de repeticiones

t = Valor tabular de t para los grados de libertad del error.

Finalmente queda establecido que :

$$\text{D.M.S.} = \Delta \bar{Y} \quad \dots \dots \dots \text{ec. (13)}$$

Por lo tanto, para que la diferencia entre \bar{y}_1 y \bar{y}_2 sea significativa, su valor absoluto deberá exceder a la D.M.S. calculada, en base al error estandar promedio obtenido a partir de las muestras (tratamientos) y la probabilidad de error (α) predeterminada. Es decir:

Si $\Delta \bar{Y} > D.M.S.$ ec. (14)

Esto implica que las diferencias entre las medias consideradas son significativas siempre que el α utilizado sea 0.05 o altamente significativas si el α utilizado es 0.01.

Procedimiento para realizar la prueba de la D.M.S.

Reyes C. (1982), establece que para hacer la prueba de la D.M.S. se pueden seguir dos métodos : 1) Hacer comparaciones múltiples calculando una D.M.S. común, tal como se describe en la ecuación 12; por este método se exemplificará la realización de la D.M.S. 2) Planear comparaciones independientes (ortogonales), para lo cual debe calcularse una D.M.S. para cada comparación particular; para este segundo método hay reglas que se explican mas adelante para planear comparaciones independientes u ortogonales.

Con el propósito de exemplificar el procedimiento para la realización de la D.M.S., se presenta a continuación la separación de medias del experimento presentado en el inciso 6.1.7., en el cual se asignó la variedad UC-82 como la variedad Testigo.

a. Determinar las medias de tratamientos y ordenarlas de mayor a menor

Cuadro 7.1. Medias de tratamientos del peso de jugo (g) de cinco variedades de tomate industrial

<u>Estela</u>	<u>Topacio</u>	<u>Martí</u>	<u>UC. 82</u>	<u>VF 134</u>
887.50	760.80	676.87	611.65	610.55

b. Calcular la D.M.S. para $\alpha = 5\%$ y 1%

$$D.M.S_{0.05} = t_{0.05; 15 \text{ gle}} * S_d$$

$$D.M.S_{0.05} = 2.131 * \sqrt{2(6770 / 4)} \implies D.M.S_{0.05} = 123.98 \text{ g.}$$

$$D.M.S_{0.01} = t_{0.01; 15 \text{ gle}} * S_d \implies D.M.S_{0.01} = 2.947 * \sqrt{2(6770 / 4)}$$

$$D.M.S_{0.01} = 171.45 \text{ g.}$$

c. Restar cada media de tratamiento con respecto a la media del tratamiento Testigo; luego comparar el valor absoluto de esta diferencia con los valores calculados para la D.M.S. al 5% y la D.M.S. al 1%

Cuadro 7.2. Significancia estadística detectada de acuerdo a la prueba de la D.M.S.

COMPARACIONES	$\Delta \bar{Y}$	Significación estadística
Estela - UC 82	= 275.85	**
Topacio - UC.82	= 149.15	*
Martí - UC 82	= 65.22	N.S.
VF134 - UC 82	= -1.10	N.S.

Tal como puede observarse La D.M.S. realizada utilizando $\alpha = 1\%$, demuestra que, solamente la variedad estela posee un contenido de jugo significativamente diferente y mayor que el del testigo UC 82. Por otra parte las variedades Martí y VF-134 presentan un contenido de jugo estadísticamente no significativo, es decir estadísticamente igual al peso de jugo que presentó el testigo. El análisis estadístico realizado al 1%, sugiere que la variedad Estela por su mayor contenido de jugo tiene una propiedad superior para la industrialización, que la variedad testigo UC 82. Si se considera la DMS al 5%, puede notarse la significancia estadística de la diferencia entre Topacio y UC 82 (149.15 g), la cual no es aceptada para la DMS al 1%.

7.2.2. La Prueba de Dunnet (D')

El objetivo de un experimento es a veces localizar tratamientos que son diferentes con respecto a un tratamiento standar ó control. Un grupo de comparaciones semejante, esto es el testigo con cada tratamiento, no es un conjunto independiente pero sí merece consideración especial. Al restringir las comparaciones a este grupo, la técnica resultante exige un límite crítico menor que el procedimiento de Tukey. Este es el aporte del procedimiento de Dunnet que igual a la prueba de Tukey considera el máximo rango de medias comparadas y requiere de un solo valor para juzgar la significancia de las diferencias observadas entre cada tratamiento y el control.

Procedimiento para realizar la prueba de Dunnet (D')

En general el procedimiento para realizar la prueba de Dunnet (D') es similar al de la D.M.S., considerándose las particularidades en el cálculo del valor crítico de Dunnet tal como se explica a continuación:

$$D' = t' * S_d \dots \text{donde:}$$

D' : Es el valor crítico o comparador de Dunnet.

t' : Es el valor tabular de Dunnet para " P " número de comparaciones con el tratamiento testigo; con gle (grados de libertad del error) y $\alpha = 5\%$ y 1% .

S_d : Es el error estandar de la diferencia de medias : $\sqrt{2} S^2 / r$

Para ejemplificar la realización de la prueba de Dunnet (D') se utilizarán los datos del experimento presentado en el inciso 6.1.7 en el cuál se asignó la variedad UC 82 como la variedad testigo:

a. *Determinar las medias de tratamientos y ordenarlas de mayor a menor*

b. *Calcular el valor crítico de Dunnet (D') para $\alpha = 5\%$ y 1%*

$$D'_{0.05} = t' * S_d ;$$

0.05;15 gle; p=4

$$D'_{0.05} = 2.79 * \sqrt{2(6770/4)} \quad \Rightarrow \quad D'_{0.05} = 162.32 \text{ g.}$$

$$D'_{0.01} = t' * S_d ;$$

0.01;15 gle;p=4

$$D'_{0.01} = 3.59 * \sqrt{2(6770/4)} \quad \Rightarrow \quad D'_{0.01} = 208.87 \text{ g.}$$

c. *Realizar las comparaciones relativas al control*

Cuadro 7.3. Significancia estadística detectada de acuerdo a la prueba de Dunnet.

COMPARACIONES	$\Delta \bar{Y}$	Significancia estadística
Estela - UC 82	= 275.85	**
Topacio - UC 82	= 149.15	N.S.
Martí - UC 82	= 65.22	N.S.
VF 134 - UC 82	= 1.10	N.S.

La significancia estadística obtenida al aplicar la prueba de Dunnet es igual a la obtenida con la D.M.S., utilizando un $\alpha = 1\%$, sin embargo para $\alpha = 5\%$ la prueba de Dunnet no admite como significativa la diferencia de medias entre Topacio y UC-82 (149.15 g). Es evidente que los valores críticos de Dunnet son mayores que los de D.M.S., de lo que se deduce la mayor rigurosidad de la prueba de Dunnet, ya que el mismo considera el criterio del número de comparaciones a realizar " p ".

7.2.3. Pruebas de Rangos Múltiples

Las pruebas de rangos múltiples son pruebas de efectos sugeridos por los datos. Cuando se conoce tan poco, respecto a la naturaleza de los tratamientos que se vacila en proponer comparaciones con sentido, entonces se necesitan técnicas para probar efectos sugeridos por los datos. En todo caso, cuando las hipótesis nulas van a ser sugeridas por los datos o incluyen tanto que entran más del número de grados de libertad para los tratamientos, entonces se debe tener mucho cuidado en el procedimiento de prueba.

Quizás la comparación más objetiva sugerida por los datos es la de la media máxima comparada con la mínima, es decir que hace uso de "amplitud estudiantizada", sugerida en la prueba de Tukey

En las pruebas de rangos múltiples la determinación de las categorías estadísticas es realmente lo más complejo debido a las diferentes comparaciones de los tratamientos (todos contra todos) por lo que es posible, e incluso lógico, que un tratamiento o grupo de tratamientos pueda compartir un grado aproximado de influencia con respecto a otro tratamiento o grupo de tratamientos.

En esencia si el análisis de dispersión demuestra que el valor de F_c es significativo o no significativo el mismo refleja que había una influencia relativa (grande o pequeña); por consiguiente, cuando se realiza una prueba de rangos múltiples tal influencia relativa de la variabilidad conjunta de los tratamientos evaluados, se refleja en el hecho que algunos tratamientos pueden tener categorías estadísticas completamente diferente (a; b; c... etc), ó compartir algunas categorías estadísticas (ab; abc; abcd.... etc). Esta es una de las propiedades inherentes a las pruebas de rangos múltiples, lo cuál constituye una diferencia relevante e inclusive un aporte particular en relación a la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (D.M.S.).

Procedimiento general para la realización de las pruebas estadísticas de Rangos Múltiples (Duncan, Tukey, S.N.K.)

a. Determinación del valor crítico específico de Duncan, Tukey o S.N.K, esto significa la determinación de la diferencia mínima

significativa de acuerdo a los criterios de la prueba estadística a utilizar

Esto es :

- Determinación del error estandar de las medias a comparar (S_y).
- Determinación del valor tabular para la prueba respectiva (r_p ó q).
- Determinación del criterio estadístico para la comparación de las diferencias de medias de los tratamientos en estudio (R_p ; W ; W_p).

b. Ordenamiento de las medias de los tratamientos, de mayor a menor, en una tabla de doble entrada

Esto permite que se determinen todas las posibles comparaciones dadas por las diferencias entre las medias de los tratamientos, estableciéndose tales diferencias en orden ascendente para cada tratamiento comparado. Por otra parte permite que se delimita la diagonalidad para todas las posibles comparaciones, lo que facilita establecer los rangos posibles de comparación desde dos hasta "t" medias de tratamientos.

c. Determinación de la significancia de las diferencias de medias entre tratamientos ($\Delta \bar{Y}$), mediante la aplicación de la regla práctica

Si : $\Delta \bar{Y} > \text{Criterio estadístico } (R_p; W; W_p) \implies \Delta \bar{Y} \text{ es } *$

Entonces la diferencia de medias entre los tratamientos comparados es significativa (*), siempre que el criterio estadístico fuese calculado con $\alpha = 5\%$, o bien altamente significativa (**) si se usa el criterio de $\alpha = 1\%$. La aplicación de tal regla práctica con $\alpha = 5\%$ ó 1% , no es más que establecer la probabilidad aleatoria de que la diferencia de medias de los tratamientos comparados sea menor del 5% ó 1% y por lo tanto confirmar que la diferencia de medias observada tiene un 95% ó 99% de confianza de ser diferencias reales ó verdaderas, esto es significativas.

Para la prueba de Duncan y la prueba del S.N.K. con fines prácticos, es de obligatoria aplicación el principio de diagonalidad determinado por el ordenamiento descendente de las medias de tratamientos. En esencia el principio de la Diagonalidad significa que el criterio estadístico (R_p ó W_p), el cual se encuentra al final de cada diagonal, es el límite teórico que permite determinar la significancia de las diferencias de medias que se encuentran en una misma diagonal y corresponden a un mismo rango de comparación. Para la prueba de Tukey la diagonalidad no es necesaria ya que el límite teórico utilizado corresponde al máximo rango de comparación y por tanto el único a considerar.

d. Determinación de las categorías estadísticas para cada uno de los tratamientos en estudio

Como resultado de la significancia estadística establecida para cada uno de los tratamientos en estudio, se determinan las categorías estadísticas correspondientes a los tratamientos; en particular debe remarcarse que a partir de las categorías establecidas se realiza la interpretación de los resultados obtenidos.

No obstante que resulta complejo establecer todas las reglas posibles para determinar las categorías estadísticas de una prueba de rangos múltiples, pueden señalarse como guía metodológica las siguientes reglas básicas:

1. Ante todo en la tabla de doble entrada de las diferencias de medias : El análisis se realiza horizontalmente (hilera por hilera) para cada media de tratamiento específico.

2. Por cada hilera : Partiendo de cada media de tratamiento señalada, debe de irse horizontalmente hasta la primera diferencia entre medias de tratamientos donde existe un N.S. Esto significa que se debe señalar una línea la cual une esas medias de tratamientos, esto expresa que entre ellas no existe diferencia significativa.

Por supuesto, debe considerarse que si el atributo N.S. continúa en una misma horizontal significa que la línea debe prolongarse hasta la última media de tratamiento a la cual corresponde el último atributo N.S. En caso contrario si en la horizontal considerada no existen atributos N.S., entonces no se debe señalar ninguna línea para las medias de los tratamientos.

Las indicaciones propuestas se basan en la regla práctica de que las diferencias de medias de tratamientos que son N.S., expresan la esencia de ser estadísticamente iguales entre sí los tratamientos considerados y por lo tanto se indica uniéndolas con una línea o raya que significa lo mismo.

3. Por cada línea o raya trazada : Para cada línea o raya que une dos o más medias de tratamientos se debe designar una letra minúscula en orden alfabético. Las líneas que son subconjuntos de otras líneas deben eliminarse, ya que en esencia les corresponde la misma letra. Deben existir tantos grupos de letras como líneas hayan sido trazadas y las medias de tratamientos que no están acompañadas por línea alguna, se les debe asignar la (s) letra (s) consecutiva (s) en el orden alfabético.

4. Finalmente debe borrarse cada línea o raya trazada entre las medias de tratamientos y dejarse solamente las letras asignadas. Esto debe ser así ya que en las publicaciones científico-técnicas las categorías estadísticas se expresan con letras y no con líneas.

Prueba de Rangos Múltiples de Duncan

En 1955 Duncan D.B., desarrolló una nueva prueba de rangos múltiples que tiene la ventaja de su sencillez y es actualmente una prueba bastante popular. Su aplicación es más complicada que la prueba de Tukey, pero se llega a resultados más detallados y se discrimina con más facilidad entre los tratamientos, esto es, la prueba de Duncan indica resultados significativos en casos en que la prueba de Tukey no admite obtener significancia estadística. Tal como la prueba de Tukey, la de Duncan exige para ser exacta que todos los tratamientos tengan el mismo número de repeticiones.

Esta nueva prueba de Duncan se parece a la prueba de S.N.K. y Tukey en cuanto usa amplitudes múltiples y “**es una prueba de efectos sugeridos por los datos**”; sin embargo, se diferencia de la prueba de S.N.K. y Tukey en cuanto estas emplean un nivel de significancia constante en todas las etapas de la prueba. Desafortunadamente la nueva prueba de Duncan se ha usado indiscriminadamente en muchos casos en los que pareciera más apropiado utilizar comparaciones planeadas. *Es evidente que la nueva prueba de Duncan es menos prudente -lease menos rigurosa estadísticamente- que la prueba de S.N.K. y Tukey, ya que utiliza un nivel de confianza variable que depende del número de medias involucradas en una etapa de comparación.*

La prueba de Duncan permite obtener diferencias significativa con más facilidad, porque el autor adoptó el criterio siguiente : tomando el nivel de significancia del 5% de probabilidad, en un contraste abarcando dos medias, él exige una probabilidad del 95% de confianza de rechazar la hipótesis nula; ya para el caso de tres medias, tal probabilidad será $0.9025 = (0.95)^2$ ó 90.25%; para cuatro medias ella baja hasta $0.8574 = (0.95)^3$ ó 85.74%; para cinco medias ella baja hasta 0.8145 ó 81.45%; y en general, para n medias, la probabilidad será $(0.95)^{n-1}$. De ahí que, a medida que aumenta el número de medias involucradas en la comparación, menor es la probabilidad de que estas se asemejen. Tal desventaja significa que, las diferencias significativas detectadas en las comparaciones de medias, tienen una probabilidad de error (α) mayor del considerado .Por ejemplo, si $\alpha = 5\%$, al aumentar el número de medias comparadas, de $p=2$ a $p=5$, la probabilidad de error obtenido para tal comparación no es de 5% sino del 18.55 %. No es raro, entonces, que con $n > 2$ la prueba de Duncan determine resultados significativos en casos en que la prueba de Tukey o S.N.K. no los dá y en consecuencia la prueba de Duncan puede conducir a afirmaciones erradas con mayor frecuencia. En términos generales, puede decirse que la prueba de Duncan establece un término medio entre la rigurosidad un tanto excesiva de la prueba de Tukey y la falta de rigor exagerada de la prueba de t , usada sin las debidas precauciones. La profundización de estas ideas se deja al lector, puede consultar la Publicación: Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biom., 11:1-42.

Una técnica muy usada para comparar cada tratamiento con cada uno de los otros tratamientos es la prueba de Duncan. Esta prueba se usa independientemente de la significación de F y consiste básicamente en calcular :

$$R_p = r_{p\alpha} * S_y \quad \dots \text{Donde :}$$

R_p = Es el valor crítico de Duncan o en términos técnicos estadísticos, la diferencia mínima significativa de acuerdo al criterio de Duncan.

r_p = Son los valores tabulares de Duncan, los cuales se toman de acuerdo al $\alpha = 5\%$ ó 1% ; con " p " número de medias de tratamientos que participan en la comparación de rangos desde " p " = 2,3,4,5..... hasta " t " tratamientos en el experimento; así como los correspondientes grados de libertad del error (gle).

S_y = Es el error estandar de la media: $\sqrt{S^2/r}$; donde S^2 es el cuadrado medio del error en el experimento.

Para el ejemplo concreto del peso de jugo (g) de las variedades de tomate industrial el cálculo se realiza como sigue :

a) *calcular el error estandard de la media*

$$S_y = \sqrt{CME/r} \implies \sqrt{6770/4} \implies S_y = 41.14 \text{ g}$$

b) *En una tabla por separado es necesario que se determinen los valores tabulares de Duncan (R_p)*

Esto se realiza para facilitar el cálculo del correspondiente valor crítico (R_p), consecutivamente para cada rango de comparación desde 2,3,4,5.... hasta " t " tratamientos, tal como se presenta en el cuadro 7.4.

Cuadro 7.4. Cálculo de los valores críticos de Duncan para diferentes rangos de comparación.

<i>"p":número de medias involucradas en el rango de comparación</i>				
	2	3	4	5
$r_{p\alpha=5\%}$	3.01	3.16	3.25	3.31
S_y	41.14	41.14	41.14	41.14
R_p al 5 %	123.83	130.00	133.70	136.17

c) *Ordenamiento de las medias de tratamientos de mayor a menor en una tabla de doble entrada y determinar las diferencias de medias*

Cuadro 7.5. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de Duncan.

Categoría Estadística	Medias de Tratamiento	Estela	Topacio	Marti	UC82	VF134	Rp al 5 %
a	887.50	O	126.70*	210.63*	275.85*	276.95*	136.17
b	760.80	-	O	83.93NS	149.15*	150.25*	133.70
b c	676.87	-	-	O	65.22NS	66.32NS	130.00
c	611.65	-	-	-	O	1.10NS	123.83
c	610.55	-	-	-	-	O	

Conclusiones :

La prueba de rangos múltiples de Duncan, realizada con $\alpha = 5\%$ indica que el conjunto de tratamientos comparados puede separarse en cuatro categorías estadísticas diferentes : En primer lugar la variedad Estela que presenta el mayor peso de jugo con 887.50g; en segundo lugar la variedad Topacio con 760.80g; seguida por la variedad Marti con 676.87g. El peso de jugo más bajo obtenido corresponde a las variedades UC - 82 y VF - 134 con 611.65 y 610.55g respectivamente.

Prueba de Rangos Múltiples de Tukey

La prueba de Tukey está basada en la amplitud total estandarizada, puede ser utilizada para comparar todo y cualquier contraste entre dos medias de tratamientos. Este método se emplea para hacer todas las comparaciones múltiples que son posibles con "t" tratamientos. Es interesante que puede ocurrir a veces que, aunque la prueba de F no haya sido significativa en el análisis de varianza, obtengamos uno o más contrastes significativos al aplicar la prueba de Tukey. El procedimiento consiste en calcular un único comparador teórico común o Diferencia Mínima Significativa utilizando el máximo rango de comparación " $p" = "t"$ ", mediante la aplicación de la fórmula siguiente :

$$W = q_{\alpha} \cdot gte; p = t * S_y ; \dots \text{donde :}$$

W : Es el valor crítico de Tukey ó La Diferencia Mínima Significativa de acuerdo al criterio de Tukey.

q : Es el valor tabular de Tukey, el cual se determina de acuerdo al $\alpha = 5\% \text{ ó } 1\%$; con " $p = t$ ", igual al número de tratamientos involucrados en la comparación (es el máximo rango de comparación en la prueba); y los correspondientes grados de libertad del error (gle).

S_y : Es el error estandard de la media: $\sqrt{S^2/r}$

Para el ejemplo del peso de jugo (g) de las variedades de tomate industrial el cálculo se realiza de la siguiente forma:

a) Calcular el error estandard de la media

$$S_y = \sqrt{CME/r} \implies \sqrt{6770/4} \implies S_y = 41.14 \text{ g}$$

b) Determinar el valor tabular de Tukey

$$q_{5\%; 15 \text{ gle}; p=t=5} = 4.37$$

c) Calcular el comparador o valor crítico de Tukey

$$W = q_{\alpha; \text{gle}; p=t} * S_y \implies W = 4.37 * 41.14 \implies W = 179.78$$

d) Ordenamiento de las medias a comparar de mayor a menor en una tabla de doble entrada y determinar las diferencias de medias

Cuadro 7.6. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos, para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de Tukey.

Categoría	Medias de	Estela	Topacio	Martí	UC82	VF134	W
Estadística	Tratamiento	887.50	760.80	676.87	611.65	610.55	al 5 %
a	887.50	O	126.70NS	210.63*	275.85*	276.95*	179.78
ab	760.80	-	O	83.93NS	149.15NS	150.25NS	
b	676.87	-	-	O	65.22NS	66.32NS	
b	611.65	-	-	-	O	1.10NS	
b	610.55	-	-	-	-	O	

Conclusiones :

De acuerdo a la prueba de Tukey realizada se puede afirmar con un 95 % de confianza que, al separar el conjunto de tratamientos comparados se obtienen tres categorías estadísticas: En primer lugar, la variedad Estela supera estadísticamente a las demás con un promedio de 887.50 g. El segundo lugar le corresponde a la variedad Topacio con 760.80 g y finalmente un tercer grupo de variedades constituido por Martí, UC 82 y VF 134 que poseen los rendimientos más bajos del peso de jugo siendo estadísticamente iguales entre sí.

Prueba de Rangos Múltiples de S.N.K.

El procedimiento para la realización de la prueba S.N.K. (Student-Newman-Keuls), es igual al procedimiento de la prueba de Duncan en cuanto a determinar comparadores teóricos o valores críticos de acuerdo al número de medias de tratamientos involucrados en la comparación, pero su diferencia fundamental es que la prueba de S.N.K. utiliza los valores tabulares correspondientes a la tabla de Tukey. El procedimiento consiste básicamente en calcular:

$$W_p = q_{\alpha; gle; "p"} * S_y ; \dots \quad \text{donde}$$

W_p : Es el valor crítico de S.N.K. o La Diferencia Mínima Significativa de acuerdo al criterio de S.N.K.

q : Son los valores tabuladores de Tukey, de acuerdo al $\alpha = 5\%$ ó 1% ; con "*p*" número de medias de tratamientos que participan en la comparación de rangos desde "*p*" = 2,3,4,5 ... hasta "*t*" tratamientos en el experimento; y los correspondientes grados de libertad del error (gle).

S_y : Es el error estandar de la media : $\sqrt{\frac{S^2}{r}}$

Para el ejemplo de las variedades de tomate industrial, el cálculo se realiza como sigue:

a) Calcular el error estandar de la media

$$S_y = \sqrt{\frac{CME}{r}} \implies \sqrt{\frac{6770.14}{4}} \implies S_y = 41.14 \text{ g}$$

b) En una tabla por separado es necesario que se determinen los valores tabulares de Tukey (*q*)

Esto se realiza para facilitar el cálculo del correspondiente valor crítico de S.N.K. (*W_p*) consecutivamente para cada rango de comparación desde 2,3,4,5.... hasta "*t*" tratamientos, tal como se muestra en el cuadro 7.7.

Cuadro 7.7. Cálculo de los valores críticos de S.N.K. para diferentes rangos de comparación.

		<i>"p":número de medias involucradas en el rango de comparación</i>			
		2	3	4	5
q 5%;15gle		3.01	3.67	4.08	4.37
S_y		41.14	41.14	41.14	41.14
W_p al 5 %		123.83	150.98	167.85	179.78

c) *Ordenamiento de las medias de tratamientos de mayor a menor en una tabla de doble entrada y determinar las diferencias de medias*

Cuadro 7.8. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de S.N.K.

Categoría	Medias de	Estela	Topacio	Martí	UC82	VF134	W _p
Estadística	Tratamiento	887.50	760.80	676.87	611.65	610.55	al 5 %
a	887.50	O	126.70*	210.63*	275.85*	276.95*	179.78
b	760.80	-	O	83.93NS	149.15NS	150.25NS	167.85
b	676.87	-	-	O	65.22NS	66.32NS	150.98
b	611.65	-	-	-	O	1.10NS	123.83
b	610.55	-	-	-	-	O	

Conclusiones :

La prueba de rangos múltiples de S.N.K. realizada con un 95% de confianza proporciona evidencias para separar el conjunto de tratamientos comparados en dos categorías estadísticas: En primer lugar la variedad Estela que presenta el mayor peso de jugo con 887.50 g, superando al resto de variedades evaluadas. Un segundo grupo de variedades, constituido por Topacio, Martí, UC 82 y VF 134 que son estadísticamente iguales entre sí, en cuanto al peso de jugo que poseen , con rangos desde 610.55 a 760.80 g.

Comentarios sobre Las Pruebas de Rangos Múltiples

A menudo se discute cual de las pruebas de rangos múltiples es la mejor; cual de ellas es más precisa; cuando aplicar una o la otra, etc. Quizás hace 30 años en Nicaragua se utilizaba mayoritariamente la prueba de Duncan y de ahí el antecedente de creer que es mejor que las otras por ser más difundida. Actualmente es común escuchar la preferencia por la prueba de Tukey, señalada ésta como una corriente de Chapingo muy de moda en nuestro medio, quizás desde hace una década. En el cuadro 7.9., se presentan los resultados de las comparaciones realizadas por Duncan, Tukey y S.N.K. a los datos del experimento sobre variedades de tomate industrial expuestos en el inciso 6.1.7.

Cuadro 7.9. Análisis comparativo de la significancia estadística obtenidas para una misma comparación de medias realizada por el método de Duncan, Tukey y S.N.K.

COMPARACIONES	$\Delta \bar{Y}$	Significancia Estadística entre las medias de tratamientos comparados, de acuerdo a diferentes criterios estadísticos.		
		DUNCAN	TUKEY	S.N.K
$T_3 - T_2$	126.70	*	NS	*
$T_3 - T_1$	210.63	*	*	*
$T_3 - T_5$	275.85	*	*	*
$T_3 - T_4$	276.95	*	*	*
$T_2 - T_1$	83.93	NS	NS	NS
$T_2 - T_5$	149.15	*	NS	NS
$T_2 - T_4$	150.25	*	NS	NS
$T_1 - T_5$	65.22	NS	NS	NS
$T_1 - T_4$	66.32	NS	NS	NS
$T_5 - T_4$	- 1.10	NS	NS	NS

En realidad ninguna es mejor que otra, ya que cada una de ellas fueron creadas sobre bases teóricas correctas que son aplicadas para determinadas consideraciones.

Por otra parte, es incorrecto afirmar que la prueba de Duncan es una prueba de mayor precisión que Tukey, porque arroja mayor número de comparaciones significativas; o al contrario, que la prueba de Tukey es de mayor precisión que Duncan, porque permite determinar como significativas solo aquellas comparaciones que son "verdaderamente" significativas.

Son incorrectas ambas afirmaciones porque precisión experimental es un concepto que no se refiere al número de comparaciones significativas en una prueba estadística en particular. El concepto de precisión experimental establecido por Hatheway W.H (1961), es el más integral; aborda la acción conjunta de diferentes factores estadísticos y agrobiológicos y en ningún caso depende de la prueba de rangos múltiples aplicada a las medias de los tratamientos evaluados.

La discusión correcta sería comparar la "**Rigurosidad Estadística**" (o **Prudencia**, como lo denominan Steel y Torrie), relativa a las pruebas de Duncan, Tukey y S.N.K., para establecer las diferencias significativas entre los tratamientos comparados. En tal caso, es evidente que Tukey es una prueba de mayor Rigurosidad Estadística que Duncan, a su vez Duncan es más flexible que la prueba de S.N.K. y que Tukey.

"Cuando el conjunto de tratamientos en estudio carece de estructura, entonces, las medias de los tratamientos pueden separarse mediante las Pruebas de Rangos Múltiples". Sin embargo, queda por resolver la conveniencia de aplicar una u otra prueba. Esto realmente es un tema tan controversial como el α 10%, 5% o 1%, a usar en una prueba de F. Realmente depende del tipo de experimento, los objetivos del mismo, la naturaleza de los tratamientos y sus interrelaciones y fundamentalmente de la etapa de investigación en que se lleva a cabo el experimento, si es en una fase inicial o concluyente. En todo caso, es el investigador con el asesoramiento directo de un Biometrista, quien debe decidir la conveniencia de usar una u otra prueba.

7.3. Pruebas a Priori o Pruebas de F Planeadas

Es conocido que el resultado obtenido al aplicar la prueba de F a los tratamientos sólo es un indicador de la influencia relativa o efecto global de los tratamientos examinados (grande o pequeña). De ahí que, cuando del total de comparaciones posibles entre tratamientos solamente una comparación posee diferencia estadística y ésta diferencia es promediada con un número de diferencias no significativas estadísticamente, la prueba de F en general podría no detectar tal diferencia estadística. Es por esta razón que se planean ciertas comparaciones independientes entre tratamientos, tal decisión se fundamenta en la naturaleza misma de los tratamientos; si el conjunto de tratamientos obedece a alguna estructura definida o caen en subgrupos que casi "reclaman" ser comparados, deben realizarse contrastes Planificados.

Experimentos con más de dos tratamientos pueden ser planeados para realizar un conjunto de comparaciones entre tratamientos de un grado de libertad, por lo tanto la suma de cuadrados de los tratamientos con $t-1$ grados de libertad, puede ser partida en $t-1$

comparaciones independientes, cada una con 1 grado de libertad. En resumen el método consiste en subdividir los grados de libertad y las sumas de cuadrados para la variabilidad atribuible al efecto de los tratamientos. Cada comparación se prueba a través del cuadrado medio del error.

El rigor matemático establece que la suma total de cuadrados de las comparaciones debe ser igual a la suma de cuadrados de tratamientos. Sin embargo, autores como Swallow W.H. (1984), difieren de este criterio y por el contrario afirman respecto a los contrastes que su relevancia y sensatez, son mucho más importantes que su ortogonalidad. De lo que se trata en un experimento, es de sacarle la máxima información pertinente a los resultados, y no de cumplir con la elegancia matemática de la ortogonalidad.

La suma de cuadrados para una comparación puede obtenerse a partir de:

$$SC = \left[\sum_{i=1}^t C_i T_i \right]^2 / r \sum C_i^2$$

donde :

C_i = Coeficientes de comparación.

T_i = Total de tratamientos.

r = Número de repeticiones

<<Las comparaciones "Son independientes" y por lo mismo "Ortogonales" cuando cumplen las siguientes condiciones>>

$$1) \quad \sum_{i=1}^t C_i = 0$$

Esto es, que la sumatoria de los coeficientes de comparación es cero.

$$2) \quad F(x_1) = \sum_{i=1}^t C_{1i} T_i$$

$$F(x_2) = \sum_{i=1}^t C_{2i} T_i$$

$$\Sigma \Sigma C_{11} x C_{21} = 0$$

Es decir, que para contrastes ortogonales << la suma de los productos de los coeficientes de dos comparaciones cualquiera es igual a cero>>.

REGLAS PARA EL USO DE LOS COEFICIENTES ORTOGONALES

1. Si se van a comparar dos grupos de igual tamaño (es decir que tienen el mismo número de tratamiento), simplemente asigne los coeficientes +1 a un grupo y -1 a los integrantes del otro grupo. No importa a qué grupo se asigne los + 1 y a qué grupo se asigne -1.
2. En la comparación de grupos que contienen distintos números de tratamientos, asigne al primer grupo un coeficiente igual al número de tratamientos que tenga el segundo grupo; y al segundo grupo un coeficiente igual al número de tratamientos que tenga el primero, con signo contrario o viceversa.
3. Redúzcanse los coeficientes a los enteros más pequeños posibles.
4. Los coeficientes de interacción siempre pueden determinarse mediante la multiplicación de los coeficientes correspondientes a los efectos principales.

7.3.1. Ilustración

Para ilustrar el procedimiento de las pruebas A Priori, en el cuadro 7.10. se presentan los totales del experimento sobre prueba de variedades de tomate industrial, retomados del inciso 6.1.7.

Para realizar los contrastes ortogonales debe considerarse que la elección del grupo de contrastes depende principalmente de las preguntas que el investigador quiera responder. Tales preguntas deben estar correctamente fundamentadas, cuya importancia está indivisiblemente vinculada a la solución del problema objeto de estudio. Para realizar el ejemplo se asume que :

1. Las variedades Martí, Topacio y Estela (de origen búlgaro), se espera que tengan una buena adaptación a las condiciones agroecológicas de Nicaragua, igual o superior a las variedades ya establecidas.
2. Las variedades UC-82 y VF-134, son variedades ampliamente difundidas en Nicaragua y han demostrado por más de dos décadas tener una buena adaptación.
3. La variedad UC-82, corresponde a un genotipo de tomate industrial altamente productivo en las condiciones agroecológicas de Nicaragua.

4. La variedad Estela, en sus condiciones de origen, es un genotipo de elevado rendimiento agroindustrial, mayor que las otras de origen búlgaro.

De las premisas expuestas se formulan las siguientes preguntas-guías de los contrastes a realizar :

1. Tienen las variedades de origen Búlgaro : igual, menor o mayor rendimiento que las variedades - UC-82 y VF-134 -, ampliamente difundidas en las condiciones agroecológicas de Nicaragua ?.
2. Tienen las variedades de origen Búlgaro : igual, menor o mayor rendimiento que la variedad testigo (UC-82), de la producción de tomate industrial en Nicaragua ?.
3. En las condiciones agroecológicas de Nicaragua, tiene la variedad Estela mayor potencial agroindustrial que el resto de variedades Búlgaras ?.

Es necesario especificar los contrastes a realizar y determinar sus coeficientes ortogonales correspondientes, tal como se presenta en el cuadro 7.10.

Cuadro 7.10. Totales de tratamientos y coeficientes ortogonales para cada compración planeada.

COMPARACIONES ORTOGONALES	ESTELA	TOPACIO	MARTI	UC-82	VF-134
(T ₁ ,T ₂ ,T ₃)vs(T ₄ ,T ₅)	+2	+2	+2	-3	-3
(T ₁ ,T ₂ ,T ₃)vs(T ₄)	+1	+1	+1	-3	0
(T ₃)vs(T ₁ ,T ₂)	+2	-1	-1	0	0

El cálculo de las sumas de cuadrados para las comparaciones ortogonales establecidas se realiza como sigue:

$$SC = \left[\sum_{i=1}^t c_i T_i \right]^2 / r \sum c_i^2$$

$$SC_1 = \frac{[(2)*(3550.00)+(2)*(3043.20)+(2)*(2707.48)+(-3)*(2446.60)+(-3)*(2442.20)]^2}{(4)*(4+4+4+9+9)}$$

$$SC_1 = \frac{(3934.96)^2}{120} \implies SC_1 = 129032.59$$

$$SC_2 = \frac{[(1)*(3550.00)+(1)*(3043.20)+(1)*(2707.48)+(-3)*(2446.60)]^2}{(4)*(1+1+1+9)}$$

$$SC_2 = \frac{(1960.88)^2}{48} \implies SC_2 = 80105.216$$

$$SC_3 = \frac{[(2)*(3550.00)+(-1)*(3043.20)+(-1)*(2707.48)]^2}{(4)*(4+1+1)}$$

$$SC_3 = \frac{(1349.32)^2}{24} \implies SC_3 = 75861.01$$

Cuadro 7.11. Partición ortogonal de los tratamientos comparados del experimento sobre variedades de tomate industrial.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	F _{5%}	F _{1%}
Tratamientos	218984	4	54746	8.08**	3.06	4.89
(T ₁ , T ₂ , T ₃) vs (T ₄ , T ₅)	129032.59	1	129032.59	19.06**	4.54	8.68
(T ₁ , T ₂ , T ₃) vs (T ₄)	80105.216	1	80105.216	11.83**	4.54	8.68
(T ₃) vs (T ₁ , T ₂)	75861.01	1	75861.01	11.20**	4.54	8.68
Error	101550	15	6770			
TOTAL	320534	19				

Conclusiones :

Los contrastes realizados nos inducen a afirmar que :

- La comparación realizada entre las variedades de tomate de origen Búlgaro (Martí, Topacio y Estela) y las variedades de tomate establecidas en Nicaragua (UC-82 y VF-134), demuestra que existen diferencias altamente significativas entre ambos grupos, siendo de mayor potencial agroindustrial las variedades Martí, Topacio y Estela que las variedades UC-82 y VF-134.
- De forma análoga, al comparar las variedades Martí, Topacio y Estela, con respecto a la variedad UC-82, el contraste realizado demuestra que existen diferencias altamente significativas entre las variedades introducidas y la variedad UC-82.
- Al comparar el efecto de las variedades Búlgaras entre si, el análisis estadístico demuestra que existen diferencias altamente significativas, siendo la variedad Estela más productiva que las otras juntas.

CAPITULO 8.

ANALISIS ESTADISTICO DE RESULTADOS

PROVENIENTES DE EXPERIMENTOS

BIFACTORIALES

8.1. Principios Generales e Importancia

En los capítulos anteriores fueron expuestos los diseños convenientes para experimentos sencillos que exigen la prueba de la variación de un solo factor, ya sean diferentes variedades, insecticidas, dietas alimenticias, hormonas, herbicidas, diferentes clases de abonos, o diferentes dosis del mismo abono o métodos diversos de tratamiento de cultivo etc., manteniendo constantes las demás condiciones del experimento.

En la práctica, el experimentador tiene que trabajar a menudo con la variación simultánea de más de un factor. Necesita, por ejemplo, encontrar el nivel más conveniente de irrigación y al mismo tiempo, la dosis óptima de aplicación de nitrógeno en la superficie. Siguiendo el procedimiento tradicional, puede investigar los problemas uno a uno, variando un solo factor a la vez en experimentos sencillos. Puede variar primero los niveles de irrigación y, adoptando el nivel óptimo que le indicó su experimento, buscar la dosis óptima de nitrógeno. La validez de esta forma de proceder descansa en el hecho de que la respuesta a diferentes niveles de suministro de agua es independiente de la cantidad de nitrógeno. Hacer tal suposición en todas las situaciones, evidentemente no está justificada.

En la situación antes descrita tiene que fijarse arbitrariamente la cantidad de nitrógeno a un nivel particular en el primer experimento en el que los niveles de irrigación son varios. En consecuencia, los resultados son de aplicación limitada siendo estrictamente apropiados al nivel particular del abono usado. Más grave aún, si los dos factores interactúan o dependen uno del otro, la combinación óptima de los dos no puede ser descubierta efectuando dos experimentos sencillos en la forma anterior. De hecho, no es posible determinar con tales experimentos si los dos factores realmente se afectan uno al otro, es decir, si interactúan en sus efectos o bien son independientes en sus efectos.

Lo único eficaz para contestar estas preguntas está en investigar el efecto de los dos factores juntos, comparándolos en el mismo experimento para todas las combinaciones posibles de los niveles de ambos factores. Esto se conoce como concepto factorial de la experimentación.

En los experimentos factoriales propiamente dichos, dos ó más factores son estudiados simultáneamente y cualquier factor puede proporcionar varios tratamientos. Los experimentos factoriales en sí no son un diseño experimental, sino un arreglo de tratamientos que se distribuyen en cualquiera de los diseños comunes, como el D.C.A. el B.C.A. y el D.C.L. Los experimentos multifactoriales y con ellos los bifactoriales están fundamentados sobre el principio de la diferencia múltiple. En ellos se investiga no sólo la acción independiente de los factores estudiados sino también el efecto de la interacción entre ellos.

El planeamiento, el esquema y la técnica de la realización en estos experimentos, es más complicado que en los unifactoriales. Si la interacción entre los factores es significativa, no podemos considerar el efecto de cualquier nivel de un factor sin tomar en cuenta también los niveles del otro factor, y la combinación óptima de los dos se descubre sólo a través de un experimento factorial. Por otra parte, si los dos factores no actúan uno sobre otro, cabe hablar de la respuesta a un factor independientemente del nivel del otro factor.

Como quiera que sea, *la importancia de la experimentación factorial es el aumentar el alcance de las conclusiones acerca de los factores en estudio;* aunque puede parecer que tal aumento es logrado a expensas de la precisión de las comparaciones referentes a las respuestas a los factores individuales, esto no es así. Es un hecho notable, que lejos de haber pérdida de exactitud al adoptar el esquema factorial, cada comparación se puede hacer con una precisión tan grande como si todo el experimento se hubiera dedicado a esa comparación sola. Por ejemplo, para un experimento de 3 niveles de nitrógeno y 3 densidades de siembra con 4 bloques en determinado cultivo, la comparación entre las 3 dosis de nitrógeno se basa en promedios de 12 parcelas cada una, como sería el caso si todo el experimento fuera un ensayo sencillo de niveles de nitrógeno. Igual ocurre con la respuesta principal a las densidades.

Si se hubieran efectuado experimentos separados para los dos factores, casi se hubiese requerido el doble número de parcelas para obtener el mismo nivel de exactitud y aún entonces hubiéramos tenido que fijar arbitrariamente el nivel del factor que no varía. Todavía podríamos encontrar al final que los resultados no son aplicables a la variedad de condiciones encontradas en la práctica. *Así pues, es evidente que cuando está en estudio más de un factor, el arreglo factorial de los tratamientos resulta el más informativo y el método más eficaz de experimentación.*

Definición

El experimento factorial es aquel en el cual los tratamientos son constituidos por la combinación de todos los niveles de un factor con todos los niveles de cada uno de los otros factores estudiados en el experimento.

Los experimentos Bifactoriales se pueden clasificar en :

1. Bifactorial en Arreglo Combinatorio o Bifactorial Propiamente Dicho.
2. Diseño de Parcelas Divididas.
3. Diseño de Parcelas en Franjas.

2. Notación

La notación empleada en experimentos factoriales consiste en letras mayúsculas para referirse a los factores y letras minúsculas con sub-índices para referirse a los niveles de cada factor; por ejemplo, si se va a estudiar 3 variedades de maíz y dos densidades de siembra :

Factor A : Variedades de maíz

- a_1 : NB-6
- a_2 : NB-100
- a_3 : Criolla

Factor B : Densidades.

- b_1 : 68060 plantas/ha
- b_2 : 136000 plantas/ha

Finalmente se hacen combinaciones de los niveles de un factor con los niveles de otro factor en estudio. Cada combinación representa un tratamiento específico. Para formar las combinaciones se construye un cuadro llamado de **doble entrada**, como el siguiente :

Densidades	Variedades			<i>De esta forma se tendrían seis tratamientos, los que pueden azarizarse según la distribución deseada.</i>
	a_1	a_2	a_3	
b_1	$a_1 b_1$	$a_2 b_1$	$a_3 b_1$	
b_2	$a_1 b_2$	$a_2 b_2$	$a_3 b_2$	

Efectos Simples y Principales

En un experimento factorial, no solo pueden estudiarse los efectos individuales de cada factor sino que, si se conduce adecuadamente el experimento también puede estudiarse la interacción entre los factores. Para definir los efectos individuales (simples y principales), así como la interacción, suponga un experimento bifactorial (A y B) con dos niveles cada factor (a_1 , a_2 y b_1 , b_2).

Cuadro 8.1. Efectos Simples, Principales y de Interacción entre factores.

Factor/ Niveles	A	Efecto Simple de A ($a_2 - a_1$)	Efecto Principal de A
b_1	$Y_{11\bullet}$	$Y_{21\bullet} - Y_{11\bullet}$	
B			$[(Y_{21\bullet} - Y_{11\bullet}) + (Y_{22\bullet} - Y_{12\bullet})]/2$
b_2	$Y_{12\bullet}$	$Y_{22\bullet} - Y_{12\bullet}$	
Efecto Simple de B ($b_2 - b_1$)	$(Y_{12\bullet} - Y_{11\bullet})$	$(Y_{22\bullet} - Y_{21\bullet})$	
Efecto principal de B		$[(Y_{12\bullet} - Y_{11\bullet}) + (Y_{22\bullet} - Y_{21\bullet})]/2$	

De tal forma que, se establecen los efectos simples de los factores como la diferencia entre los niveles de un mismo factor, considerando un nivel constante del otro factor; por otra parte, del promedio de los efectos simples para un factor resulta el efecto principal del factor. La información integral del experimento está contenida en los efectos principales.

Efecto de Interacción

Este término significa la acción conjunta de dos o más factores, o la modificación del efecto de un factor por la acción o efecto de otro factor o factores. Los efectos de interacción pueden ser aditivos, multiplicativos o interactivos. Las interacciones de dos factores se denominan Interacciones de Primer Orden. Los tres ejemplos siguientes pueden explicar mejor el concepto. Suponga que hay dos variedades de sorgo, a_1 y a_2 , y dos densidades de siembra, $b_1 = 100 \text{ kg/ha}$ y $b_2 = 120 \text{ kg/ha}$. Las siguientes tablas de doble entrada presentan el efecto.

Caso A. Efectos Aditivos

Cuadro 8.2. Rendimiento de grano (en Kg), promedio por parcela útil.

<u>Variedad</u>	<u>Densidad</u>		<u>Respuesta</u>
	b_1	b_2	
a_1	15	35	20
a_2	5	25	20
	-10	-10	diferencia = 0

Representando gráficamente la respuesta por dos líneas, llamadas de *Tendencia*, se tiene la figura 8.1.

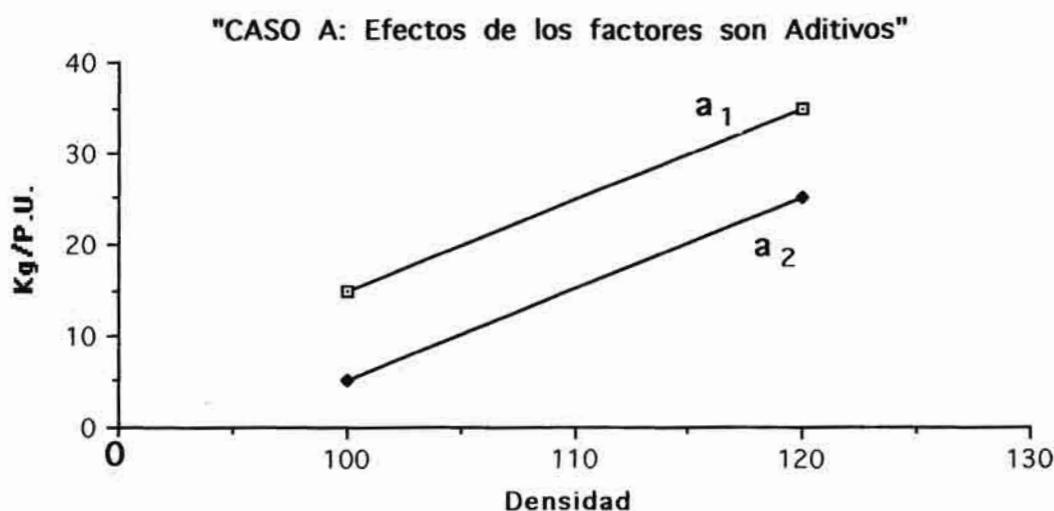


Figura 8.1. Ilustración de los efectos aditivos de dos factores o los factores son independientes.

Cuando la diferencia de los efectos simples es cero (o puede estimar a cero), se dice que los efectos de los dos factores son aditivos o los factores son independientes; las líneas de tendencia son paralelas. En el ejemplo, se concluye que las variedades se comportan de manera similar en densidades diferentes ya que ambas incrementan su producción al aumentar la densidad.

Caso B. Efectos Interactivos

Cuadro 8.3. Rendimiento de grano (en Kg), promedio por parcela útil.

<u>Variedad</u>	<u>Densidad</u>		<u>Respuesta</u>
	b ₁	b ₂	
	100	120	
a ₁	35	5	-30
a ₂	5	35	+30
	-30	+30	diferencia = -60

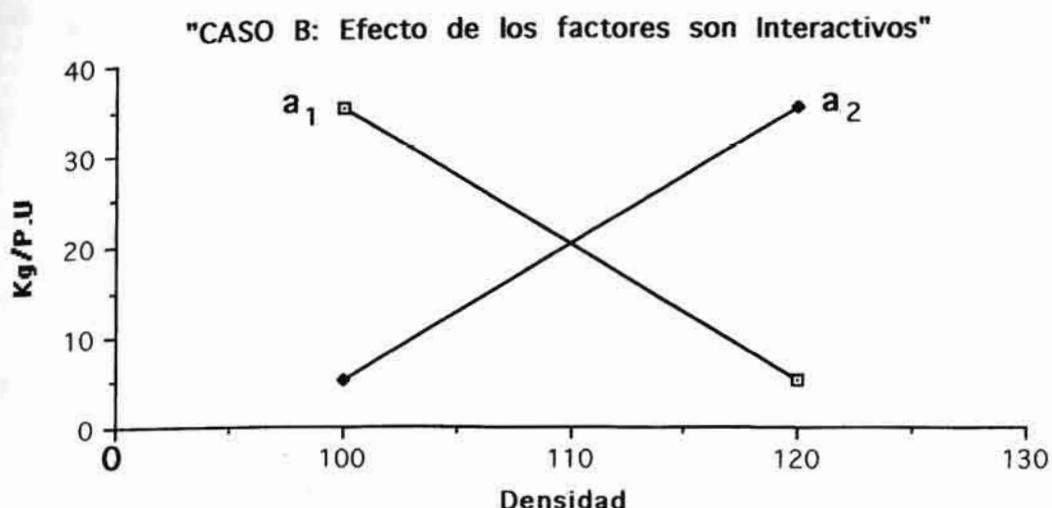


Figura 8.2. Ilustración de los efectos interactivos de dos factores o los factores no son independientes.

Los factores no son independientes y el efecto de la densidad de siembra está relacionada o depende del efecto de la variedad. En estos casos se dice que los efectos son interactivos (o multiplicativos) y las líneas de tendencia serían opuestas. En el ejemplo, las variedades se comportan de modo diferente en densidades distintas ya que a₁ disminuye su producción al aumentar la densidad, en tanto que a₂ incrementa su producción al aumentar la densidad de siembra; es un caso de interacción genotipo x ambiente.

Caso C. Los datos sugieren efectos interactivos

Cuadro 8.4. Rendimiento de grano (en Kg), promedio por parcela útil.

<u>Variedad</u>	<u>Densidad</u>		<u>Respuesta</u>
	b ₁	b ₂	
a ₁	10	40	+30
a ₂	5	15	+10
	-5	-25	diferencia = 20

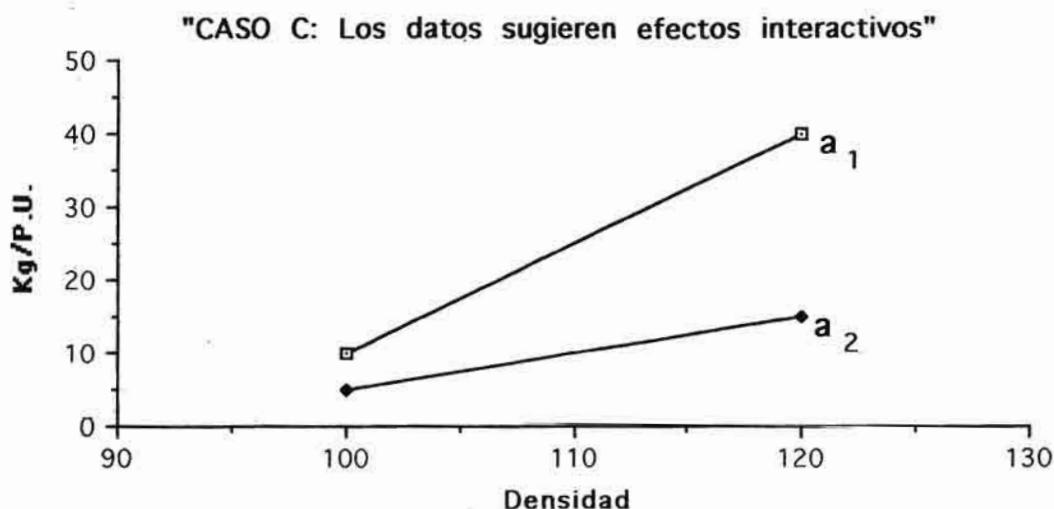


Figura 8.3. Ilustración de los efectos interactivos sugerido por los datos.

Las líneas de tendencia de la figura 8.3. indican que la diferencia de los efectos simples no es cero; luego, los datos sugieren efectos interactivos; las dos variedades aumentan la producción al incrementarse la densidad de siembra, pero a₁ aumenta más que a₂. El estudio de la variación indicará si la diferencia es significativa o no.

En general, cuando se estudian dos o más factores, es recomendable ver si las líneas de tendencia sugieren ser paralelas (efectos aditivos) o sugieren cruzarse (efectos interactivos). El estudio de la variación mediante la técnica del análisis de varianza indicará si la diferencia de dos diferencias es cero (no interacción) o estima a cero, o si la diferencia de dos diferencias no es cero ni estima a cero (interacción). En el primer caso, la Fe no sería significativa, y las líneas de tendencia serían paralelas o manifestarían paralelismo (caso a); en el segundo, la Fe sería significativa y las líneas de tendencia manifestarían no ser paralelas (casos b y c), Reyes C., (1982).

8.3. Ventajas

1. Como los diversos factores se combinan en un experimento, los resultados tienen un campo de aplicación más amplio, es decir, se amplía el rango de validez de las conclusiones.

2. Permite determinar los efectos principales de cada factor y sus interacciones.

3. Permite un ahorro considerable de tiempo y material dedicado a los experimentos.

El ahorro se deriva de dos hechos principales :

- a. Cuando los factores son independientes, todos los efectos simples de un factor son iguales a su efecto principal. De modo que, los efectos principales son las únicas cantidades necesaria para describir completamente las consecuencias de las variaciones en un factor.
- b. En un experimento factorial cada efecto principal se estima con la misma precisión que si todo el experimento se hubiese dedicado sólo a ese factor. La ganancia obtenida de los arreglos factoriales, en este caso, es bastante substancial.

8.4. Desventajas

1. El planeamiento es más difícil.
2. El análisis e interpretación de los resultados experimentales es más compleja.
3. Las causas de error en la ejecución de las operaciones de campo y en la propia estimación de los resultados son más numerosas.

Comentarios sobre las ventajas y desventajas de los experimentos factoriales

Tal como lo señalan Cochran y Cox (1981) , las ventajas propias de los factoriales pueden ser afectadas por consideraciones de tipo práctico. El experimentador frecuentemente carece de los recursos para conducir un experimento grande con varios tratamientos y debe trabajar únicamente con uno o dos factores a la vez. Además es notorio que conforme aumenta el número de combinaciones en un experimento factorial el error standard por unidad también aumenta; por lo tanto, este error es más probable que sea mayor para un experimento factorial grande, que para un experimento similar con un sólo factor.

Cuando los factores que se van a investigar son numerosos, la principal desventaja del experimento factorial estriba en su tamaño y complejidad. *Las dificultades que surgen de los experimentos grandes no deben ser consideradas como una crítica del método factorial, cuya eficiencia es mayor cuando los factores son numerosos. La base de la dificultad es que se ejecuta un programa de investigación más grande.*

Algunas veces, los experimentadores encuentran los resultados de los experimentos factoriales difíciles de interpretar porque parecen presentar una confusa variedad de comparaciones de tratamientos. Es cierto que un resumen adecuado de un experimento factorial grande requiere un procedimiento ordenado y a menudo esto toma mucho tiempo. Si los numerosos factores se interaccionan de una manera confusa, será necesario un estudio prolongado de los resultados y una experimentación más amplia antes de que sean comprendidos enteramente los hechos.

En todo caso, el problema es que los fenómenos son muy complejos y no que la experimentación factorial sea defectuosa.

8.5. Azarización

Debido a que los experimentos factoriales son combinaciones de los niveles de los factores en estudio, los que pueden distribuirse en cualquiera de los diseños comunes para su azarización, simplemente asigne los tratamientos a las unidades experimentales de acuerdo al proceso de azarización del diseño a establecer.

8.6. El Modelo Aditivo Lineal

Para dos factores distribuidos en un D.C.A.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{donde :}$$

i = 1,2,3.....a	niveles del factor A.
j = 1,2,3.....b	niveles del factor B.
k = 1,2,3.....r	observaciones o repeticiones.

Y_{ijk} = La k-ésima observación del i-j-ésimo tratamiento .

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A, a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = Efecto debido al j-ésimo nivel del factor B, a estimar a partir de los datos del experimento.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre los factores A y B.

ε_{ijk} = Efecto aleatorio de variación.

Para dos factores distribuidos en un B.C.A.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \varepsilon_{ijk} \quad \text{donde :}$$

$i = 1,2,3, \dots, a$ niveles del factor A.
 $j = 1,2,3, \dots, b$ niveles del factor B.
 $k = 1,2,3, \dots, r$ repeticiones o bloques.

Y_{ijk} = La k-ésima observación del i-j-ésimo tratamiento.

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A, a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = Efecto debido al j-ésimo nivel del factor B, a estimar a partir de los datos del experimento.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre los factores A y B.

ρ_k = Efecto del k-ésimo bloque.

ε_{ijk} = Efecto aleatorio de variación.

Para dos factores distribuidos en un D.C.L.

$Y_{ijkh} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \gamma_h + \varepsilon_{ijkh}$ donde :

$i = 1,2,3, \dots, a$ niveles del factor A.
 $j = 1,2,3, \dots, b$ niveles del factor B.
 $k = 1,2,3, \dots, c$ columnas.
 $h = 1,2,3, \dots, h$ hileras.

Y_{ij} = La k-ésima observación del i-j-ésimo tratamiento.

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A, a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = Efecto debido al j-ésimo nivel del factor B, a estimar a partir de los datos del experimento.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre los factores A y B.

ρ_k = Efecto de la k-ésima columna.

γ_h = Efecto de la h-ésima hilera.

ε_{ijkh} = Efecto aleatorio de variación.

8.7. Tabla de ANDEVA para un Bifactorial en D.C.A. y B.C.A.

Asuma un experimento en el que se estudiará el efecto de 2 niveles de un factor A, con 3 niveles de un factor B. Los datos ordenados se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 8.5. Organización de los datos para un Bifactorial establecido en D.C.A.

Tratamientos	Observaciones				Totales $Y_{ij\cdot}$	Medias $\bar{Y}_{ij\cdot}$
	1	2	3	4		
a ₁ b ₁	Y ₁₁₁	Y ₁₁₂	Y ₁₁₃	Y ₁₁₄	Y _{11..}	Y _{11..}
a ₁ b ₂	Y ₁₂₁	Y ₁₂₂	Y ₁₂₃	Y ₁₂₄	Y _{12..}	Y _{12..}
a ₁ b ₃	Y ₁₃₁	Y ₁₃₂	Y ₁₃₃	Y ₁₃₄	Y _{13..}	Y _{13..}
a ₂ b ₁	Y ₂₁₁	Y ₂₁₂	Y ₂₁₃	Y ₂₁₄	Y _{21..}	Y _{21..}
a ₂ b ₂	Y ₂₂₁	Y ₂₂₂	Y ₂₂₃	Y ₂₂₄	Y _{22..}	Y _{22..}
a ₂ b ₃	Y ₂₃₁	Y ₂₃₂	Y ₂₃₃	Y ₂₃₄	Y _{23..}	Y _{23..}

Antes de realizar los cálculos para las sumas de cuadrados se procede a elaborar una tabla denominada de totales e interacciones para obtener los totales de los factores respectivos.

Cuadro 8.6. Totales e Interacciones para Bifactoriales.

Factor/ Niveles	A		$Y_{\cdot j\cdot}$	
	a ₁	a ₂		
B	b ₁	Y _{11..}	Y _{21..}	Y _{1..}
	b ₂	Y _{12..}	Y _{22..}	Y _{2..}
	b ₃	Y _{13..}	Y _{23..}	Y _{3..}
	$Y_{i..}$	$Y_{1..}$	$Y_{2..}$	$Y_{\cdot ..}$

Debe recordarse que en este caso :

$i = 1,2$ niveles del factor A

$j = 1,2,3,$ niveles del factor B

$k = 1,2,3,4$ observaciones o repeticiones por tratamiento .

Las fórmulas necesarias para calcular las sumas de cuadrados correspondientes se presentan en el cuadro siguiente :

Cuadro 8.7. Fórmulas operacionales para el ANDEVA de un Bifactorial en D.C.A.

F de V	gl	SC	CM	F _c
A	a-1	$\sum Y_{i..}^2 / br - FC$	SCA/gl(a)	CMA/CME
B	b-1	$\sum Y_{.j..}^2 / ar - FC$	SCB/gl(b)	CMB/CME
AB	(a-1)*(b-1)	$\sum Y_{ij.}^2 / r - FC$ - SCA - SCB	SCAB/gl(ab)	CMAB/CME
Error	Diferencia	Diferencia	SCE/gl(e)	
Total	abr-1	$\sum Y_{ijk}^2 - FC$		

Para el caso de un bifactorial en B.C.A., la presentación de la tabla del ANDEVA es similar que en un D.C.A. se diferencian por la designación de los bloques ; la tabla de doble entrada es igual para ambos casos. La tabla del ANDEVA para un B.C.A. es la siguiente :

Cuadro 8.8. Fórmulas operacionales para el ANDEVA de un Bifactorial en B.C.A.

F de V	gl	SC	CM	F _c
Bloque	r-1	$\sum Y_{..k}^2 / ab - FC$	SCbloq/gl(bloq)	CMbloq/CME
A	a-1	$\sum Y_{i..}^2 / br - FC$	SCA/gl(a)	CMA/CME
B	b-1	$\sum Y_{.j..}^2 / ar - FC$	SCB/gl(b)	CMB/CME
AB	(a-1)*(b-1)	$\sum Y_{ij.}^2 / r - FC$ - SCA - SCB	SCAB/gl(ab)	CMAB/CME
Error	Diferencia	Diferencia	SCE/gl(e)	
Total	abr-1	$\sum Y_{ijk}^2 - FC$		

8.8. Ilustración del procedimiento estadístico para realizar el ANDEVA de un Experimento Bifactorial establecido en D.C.A.

Con el objetivo de evaluar la fijación biológica del nitrógeno fueron inoculadas tres variedades de frijol común (*Phaseoulus vulgaris*), con tres diferentes cepas de *Rhizobium*, usando Nitrógeno-15. El experimento, conducido por Valverde G. 1993, fué establecido en condiciones de invernadero y diseñado con el propósito de evaluar ambos factores con el mismo grado de precisión. En el cuadro 8.9., se presentan los resultados obtenidos de la parte aérea de la planta. La descripción de los factores de estudio es la siguiente:

Factor A

$a_1 = \text{Rev - 79}$
 $a_2 = \text{Rev - 84}$
 $a_3 = \text{IMBAYO}$
 (De origen ecuatoriano)

Factor B

$b_1 = \text{Cepa 1 (Nativa de suelo ecuatoriano)}$
 $b_2 = \text{Cepa UMR - 1073}$
 $b_3 = \text{Cepa UMR - 1077}$
 $b_4 = \text{Cepa UMR - 1899}$

Cuadro 8.9. Datos del Nitrógeno Total (en mg) de la parte aérea de la planta.

Tratamientos	Observaciones			Totales $\Sigma_{ij}.$
	1	2	3	
$a_1 b_1$	85.25	98.49	90.37	274.11
$a_1 b_2$	114.40	104.86	69.07	288.33
$a_1 b_3$	73.90	70.91	65.12	209.93
$a_1 b_4$	104.31	84.32	102.83	291.46
$a_2 b_1$	85.06	82.08	101.96	269.10
$a_2 b_2$	88.24	96.16	107.89	292.29
$a_2 b_3$	97.87	71.25	92.19	261.31
$a_2 b_4$	65.88	88.15	76.77	230.80
$a_3 b_1$	152.20	197.06	175.82	525.08
$a_3 b_2$	169.65	169.49	133.96	473.10
$a_3 b_3$	124.34	178.43	150.14	452.91
$a_3 b_4$	200.30	181.74	213.79	595.83

Se realiza el Análisis de Varianza para determinar la significancia de los tratamientos; así como, la Separación de Medias para cada factor y los tratamientos factoriales. La ilustración se realiza mediante la aplicación de la prueba de rangos múltiples de SNK.

Descripción del MAL, para dos factores distribuidos en D.C.A.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{donde :}$$

- i = 1,2,3..... a niveles del factor A (Cepas de *Rhizobium*).
j = 1,2,3..... b niveles del factor B (Variedades).
k = 1,2,3..... r observaciones o repeticiones.

Y_{ijk} = La k-ésima observación del Nitrógeno total fijado por el i-j-ésimo tratamiento .

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del Nitrógeno total fijado en el experimento.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (Variedades), a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = Efecto debido al j-ésimo nivel del factor B (Cepas), a estimar a partir de los datos del experimento.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre los factores Cepas y Variedades.

ε_{ijk} = Efecto aleatorio de variación.

Hipótesis

$\sum \alpha_i = 0$ vs Algún par de variedades ejerce un efecto significativo sobre la cantidad de Nitrógeno total fijado.

$\sum \beta_j = 0$ vs Algún par de cepas ejerce un efecto significativo sobre la cantidad de Nitrógeno total fijado.

$\sum (\alpha\beta)_{ij} = 0$ vs Existe efecto de interacción significativo (cepa*variedad) sobre la cantidad de Nitrógeno total fijado.

Cálculos para el ANDEVA

$$1. F.C. = (Y_{***})^2 / abr = (4164.25)^2 / 3 \times 4 \times 3 \Rightarrow F.C. = 481700.78$$

$$2. S.C. \text{ Total} = \sum Y_{ijk}^2 - F.C. = (85.25)^2 + \dots + (213.79)^2 - F.C.$$

S.C. Total = 66846.33

Para el cálculo de las Sumas de Cuadrados para cada factor (A y B), se recomienda elaborar previamente un cuadro de doble entrada tal como sigue :

Cuadro 8.10. Totales e Interacciones.

Factor/ Niveles		A			
		a ₁	a ₂	a ₃	Y _{.j.}
B	b ₁	274.11	269.10	525.08	1068.29
	b ₂	288.33	292.29	473.10	1053.72
	b ₃	209.93	261.31	452.91	924.15
	b ₄	291.46	230.80	595.83	1118.09
Y _{i..}		1063.83	1053.50	2046.92	4164.25

$$3. \text{ S.C.A. (Var)} = \sum Y_{i..}^2 / br - F.C. =$$

$$\text{S.C.A. (Var)} = (1063.83)^2 + (1053.50)^2 + (2046.92)^2 / 4x3 - F.C.$$

$$\text{S.C.A. (Var)} = 54260.9925$$

$$4. \text{ S.C.B. (Cepas)} = \sum Y_{.j.}^2 / ar - F.C.$$

$$\text{S.C.B. (Cepas)} = (1068.29)^2 + \dots + (1118.09)^2 / 3x3 - F.C.$$

$$\text{S.C.B. (Cepas)} = 2278.2308$$

$$5. \text{ S.C.A.B.} = \sum Y_{ij.}^2 / r - F.C. - \text{S.C.A.} - \text{S.C.B.}$$

$$\text{S.C.A.B.} = (274.11)^2 + \dots + (595.83)^2 / 3 - F.C. - \text{SCA} - \text{SCB}$$

$$\text{S.C.A.B.} = 3886.9476$$

$$6. \text{ S.C.E.} = \text{S.C. Total} - \text{S.C.A.} - \text{S.C.B.} - \text{S.C.A.B.}$$

$$\text{S.C.E.} = 66846.33 - 54260.9925 - 2278.2308 - 3886.9476$$

$$\text{S.C.E.} = 6420.16$$

Cuadro 8.11. Análisis de Varianza para la variable Nitrógeno Total (mg).

F de V	gl	S.C.	CM	F _C	F _{5%}	Pr >F
Var	2	54260.99	27130.49	101.42**	3.40	0.0001
Cepas	3	2278.23	759.41	2.84 NS	3.01	0.0593
Var * Cep	6	3886.94	647.82	2.42 NS	2.51	0.0567
Error	24	6420.16	267.50			
Total	35	66846.33		C.V.(%) = 14.13		

Conclusiones :

En los experimentos bifactoriales las conclusiones deben redactarse para cada factor independiente entre sí, así como para la interacción. En el ejemplo que nos ocupa una forma posible de redactar las conclusiones es la siguiente :

a. EL ANDEVA demuestra con un 95% de confianza que, existe efecto significativo entre las variedades evaluadas, esto es considerando la probabilidad de error al $\alpha = 0.05$, sin embargo, si se considera la probabilidad aleatoria indicada por el SAS para el factor variedad, esto es $P = 0.0001$, se demuestra que el efecto de variedades es realmente altamente significativa ya que la probabilidad aleatoria es menor del 0.01, esto indica que el efecto significativo para variedades fué obtenido con un 99.99% de confianza o probabilidad de éxito.

b. Apegados a la regla práctica de: Si $F_C > F_{5\%}$, el ANDEVA denota que la variabilidad global de la fuente de variación evaluada, (en este caso cepas) es no significativa, debe afirmarse que no existe un efecto real de la cepas en la fijación del nitrógeno. Sin embargo, si se considera la probabilidad aleatoria indicada por SAS para el factor cepas, esto es $P = 0.0593$, se demuestra que sí existe un efecto real para el factor cepas, pero con un 94.07 % de confianza, lo que es bastante razonable para esperar significancia del efecto de las diferentes cepas en la fijación del nitrógeno. Esto fundamenta la necesidad de aplicar técnicas que ayuden a determinar diferencias específicas entre un par cualquiera de las cepas comparadas.

c. En el caso de la interacción, el valor de $F_C = 2.42$ sugiere un efecto no significativo para un $\alpha = 0.05$. Sin embargo, por analogía al caso ya explicado para el factor cepas, el SAS indica que sí existe un efecto de interacción significativo pero con un 94.33 % de confianza. En tal caso, es evidente la necesidad de aplicar técnicas posteriores que ayuden a clasificar tales diferencias.

En principio cuando el efecto de la interacción entre los factores realmente es no significativa indica que los efectos de los factores son independiente entre sí y debe por tanto, hacerse conclusiones considerando la independencia de los factores. En tal caso, debe concluirse por separado para las variedades y para el efecto de las cepas. Si el efecto de interacción es significativo, no es posible concluir por separado que una variedad es mejor y que alguna de las cepas induce a una mayor capacidad de fijación del nitrógeno sin considerar más a fondo como se comporta con cada una de las variedades en estudio. En todo caso se puede estudiar cada factor por separado y hacer un análisis detallado, de la posible interacción, realizando los contrastes ortogonales apropiados.

Procedimiento para realizar las pruebas de Rangos Múltiples en Experimentos Bifactoriales propiamente dichos.

Debe destacarse que al realizar las pruebas de Rangos Múltiples en los experimentos bifactoriales propiamente dichos, se pueden hacer las siguientes comparaciones :

a) Comparaciones entre los niveles del factor A (variedades) ; **b)** Comparaciones entre los niveles del factor B (Cepas); **c)** La interacción entre los factores A * B (Var * Cepas). Por lo tanto, es necesario calcular un error estandard específico para cada comparación, el cual será utilizado para calcular los límites críticos de la Prueba de Rangos Múltiples a utilizar : Duncan, Tukey o SNK; tal como se señala en el cuadro 8.12.

Cuadro 8.12. Diferentes errores estandares para las pruebas de Rangos Múltiples en Experimentos Bifactoriales propiamente dichos.

Comparaciones a realizar	Errores estandares
•Para diferentes niveles del factor A	$S_{y(A)} = \sqrt{CME/br}$
•Para diferentes niveles del factor B	$S_{y(B)} = \sqrt{CME/ar}$
•Para los tratamientos factoriales	$S_{y(AB)} = \sqrt{CME/r}$

Para determinar diferencias específicas entre un par cualquiera para cada uno de los factores en estudio y los tratamientos factoriales pueden realizarse las pruebas de Duncan, SNK y Tukey. La conveniencia de aplicar una u otra prueba es muy relativo; debe considerarse en la práctica de la experimentación, según el problema de estudio. Podría ser más aconsejable en algunos casos realizar contrastes ortogonales específicos de interés

pre establecido; o bien, si los factores en estudio son cuantitativos podría ser más recomendado determinar la naturaleza más apropiada de la respuesta para los factores.

Prueba de S.N.K. para el Factor Variedad (A)

Con fines metodológicos-docentes se realiza la separación de medias para cada factor y los tratamientos factoriales por el método de S.N.K. Por procedimiento, antes de calcular los valores críticos para cualquiera de las pruebas de rangos múltiples es conveniente elaborar un cuadro de Medias e Interacciones, lo que permitirá la clasificación apropiada para cada factor.

Cuadro 8.13. Organización de las medias de tratamientos factoriales para obtener las medias para cada factor.

Factor/ Niveles	A			$\bar{Y}_{.j.}$	
	a_1	a_2	a_3		
B	b_1	91.37	89.700	175.026	118.698
	b_2	96.11	97.430	157.700	117.080
	b_3	69.976	87.103	150.970	102.683
	b_4	97.153	76.933	198.610	124.232
$\bar{Y}_{i..}$		88.652	87.791	170.576	115.673

$$W_p = q_{p;\alpha;gle} * S_y \quad \text{donde:}$$

$$S_y = \sqrt{CME/br} \implies S_y = \sqrt{267.50/4 \times 3} \implies S_y = 4.7214$$

$$P = \begin{matrix} \text{No. de medias involucradas en comparación} \\ 2 \qquad \qquad \qquad 3 \end{matrix}$$

$q_{5\% \text{ y } 24 \text{ gle}}$	2.92	3.53
S_y	4.7214	4.7214
W_p	13.7865	16.6666

Cuadro 8.14. Ordenamiento de medias del factor A.

Categoría Estadística	Medias	a₃	a₁	a₂	W_p al 5%
a	170.576	0	81.924 *	82.785 *	16.66
b	88.652	-	0	0.861 NS	13.78
b	87.791	-	-	0	

Conclusión :

La prueba de SNK realizada, permite agrupar las diferentes modalidades del factor A (variedades de frijol común), en dos categorías estadísticas claramente diferenciadas, a saber : En primer lugar la variedad IMBAYO (**a₃**), que representa la mayor fijación de nitrógeno total con 170.576 mg; en segundo lugar el grupo constituido por las variedades Rev-79 y Rev-84 (**a₁** y **a₂**), siendo no significativas las diferencias entre sí, con una fijación de 88.652 y 87.791 mg de nitrógeno respectivamente.

Prueba de SNK para el factor Cepas (B)

$$W_p = q_{p;\alpha;gle} * S_y$$

donde :

$$S_y = \sqrt{CME/ar} \implies \sqrt{267.50/3 \times 3} \implies S_y = 5.4518$$

P= No. de medias involucradas en comparación			
	2	3	4
q_{5%} y 24 gle	2.92	3.53	3.90
S_y	5.4518	5.4518	5.4518
W_p	15.9192	19.2448	21.2620

Cuadro 8.15. Ordenamiento de medias del factor B.

Categoría		b₄	b₁	b₂	b₃	
Estadística	Medias	124.232	118.698	117.683	102.683	Wp5%
a	124.232	0	5.53 NS	7.15 NS	21.54 *	21.26
a b	118.698	-	0	1.61 NS	16.01 NS	19.24
a b	117.080	-	0	0	14.39 NS	15.91
b	102.683	-	-	-	0	

Conclusión :

La prueba de SNK realizada, permite agrupar las diferencias de las cepas evaluadas, en tres categorías estadísticas: En primer lugar la cepa UMR-189 (**b₄**), que induce a obtener una fijación de 124.232 mg de nitrógeno; en segundo lugar un grupo constituido por las cepas NATIVA y UMR-1073 (**b₁** y **b₂**), las cuales inducen a obtener una fijación de 118.698 y 117.080 mg de nitrógeno, respectivamente; en tercer orden, la fijación menor se obtuvo con la cepa UMR-1077 (**b₃**), con 102.683 mg de nitrógeno.

Prueba de SNK para la Interacción Variedades * Cepas (AB)

$$Wp = q_{p;\alpha;gle} * S_y \quad \text{donde: } S_y = \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

$$S_y = \sqrt{267.50/3} \quad \Rightarrow \quad S_y = 9.442$$

P= No. de Medias involucradas en comparación

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9 5% y 24gl	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10
S_y	9.442	9.442	9.442	9.442	9.442	9.442	9.442	9.442	9.442	9.442	9.442
W_p	27.572	33.333	36.826	39.376	41.265	42.870	44.192	45.419	46.458	47.308	48.158

Cuadro 8.16. Ordenamiento de medias de los tratamientos factoriales.

Orden merito	a ₃	b ₄	a ₃ b ₁	a ₃ b ₂	a ₃ b ₃	a ₂ b ₂	a ₁ b ₄	a ₁ b ₂	a ₁ b ₁	a ₂ b ₁	a ₂ b ₃	a ₂ b ₄	a ₁ b ₃	Wp5%
a	198.61	0	23.59 NS	40.91*	47.64*	101.18*	101.45*	102.50*	107.24*	108.91*	111.51*	121.68*	128.64*	48.15
ab	175.02	-	0	17.32 NS	24.05 NS	77.59 *	77.87 *	78.91 *	83.65 *	85.32 *	87.92 *	98.09 *	105.05 *	47.30
b	157.70	-	-	0	6.73 NS	60.27 *	60.55 *	61.59 *	66.33 *	68.00 *	70.60 *	80.77 *	87.73 *	46.45
b	150.97	-	-	-	0	53.54 *	53.82 *	54.86 *	59.60 *	61.27 *	63.87 *	74.04 *	81.00 *	45.41
c	97.43	-	-	-	-	0	0.28 NS	1.32 NS	6.06 NS	7.73 NS	10.33 NS	20.50 NS	27.46 NS	44.19
c	97.15	-	-	-	-	-	0	1.04 NS	5.78 NS	7.45 NS	10.05 NS	20.22 NS	27.18 NS	42.87
c	96.11	-	-	-	-	-	-	0	4.74 NS	6.41 NS	9.01 NS	19.18 NS	26.14 NS	41.26
c	91.37	-	-	-	-	-	-	-	0	1.67 NS	4.27 NS	14.44 NS	21.4 NS	39.37
c	89.70	-	-	-	-	-	-	-	-	0	2.60 NS	12.77 NS	19.73 NS	36.82
C	87.10	-	-	-	-	-	-	-	-	0	10.17 NS	17.13 NS	33.33	-
c	76.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	6.96 NS	27.57	-
c	69.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-

Conclusión :

La prueba de SNK permite separar los tratamientos factoriales en cuatro grupos diferentes en primer lugar la combinación a_3b_4 induce a la mayor fijación de nitrógeno con 198.61 mg. En segundo lugar la combinación a_3b_1 que induce una fijación de 175.02 mg. Un tercer grupo con diferencias no significativas entre sí, lo forman las combinaciones a_3b_2 y a_3b_3 con una fijación total de 157.70 y 150.97 mg. El cuarto grupo al que corresponde la menor capacidad de fijación, es el constituido por las combinaciones a_2b_2 ; a_1b_4 ; a_1b_2 ; a_1b_1 ; a_2b_1 ; a_2b_3 ; a_2b_4 ; a_1b_3 , con diferencias no significativas entre sí con un rango de nitrógeno fijado entre 97.43 y 69.97 mg.

8.9. Ilustración del procedimiento estadístico para realizar el ANDEVA de un Experimento Bifactorial establecido en B.C.A.

Se estableció un experimento de campo para determinar el efecto de tres densidades de siembra y tres niveles de nitrógeno sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento en chilote en el cultivo del maíz (Zea mays L.). En el cuadro 8.17., se presentan los resultados obtenidos. Los factores en estudio se describen a continuación.

FACTOR A

$$\begin{aligned} a_1 &= 136000 \text{ plantas/ha} \\ a_2 &= 90750 \text{ plantas/ha} \\ a_3 &= 68600 \text{ plantas/ha} \end{aligned}$$

FACTOR B

$$\begin{aligned} b_1 &= 50 \text{ kg/ha} \\ b_2 &= 75 \text{ kg/ha} \\ b_3 &= 100 \text{ kg/ha} \end{aligned}$$

Cuadro 8.17. Datos del rendimiento total de Chilotes (Kg/p.u.) obtenidos.

Tratamientos	BLOQUES				Totales Σ_{ij*}
	I	II	III	IV	
$a_1 b_1$	4.15	7.90	5.50	3.50	21.05
$a_1 b_2$	6.00	8.65	5.00	5.50	25.15
$a_1 b_3$	8.25	8.95	8.60	8.40	34.20
$a_2 b_1$	7.00	7.30	3.00	3.70	21.00
$a_2 b_2$	7.35	7.70	4.70	5.10	24.85
$a_2 b_3$	8.50	8.10	8.45	8.10	33.15
$a_3 b_1$	5.70	8.90	11.10	5.50	31.20
$a_3 b_2$	8.60	8.50	8.25	8.70	34.05
$a_3 b_3$	9.85	9.30	8.80	8.40	36.35
$\Sigma_{..k}$	65.40	75.30	63.40	56.90	261.00

El experimento, establecido por los estudiantes de Experimentación Agrícola durante el primer semestre de 1992, fue diseñado en B.C.A. con el propósito de evaluar ambos factores con el mismo grado de precisión. Se realiza el Análisis de Varianza para determinar la significancia de los tratamientos; así como, la Separación de Medias para cada factor.

Descripción del MAL, para los factores distribuidos en B.C.A.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \varepsilon_{ijk} \dots \text{ donde :}$$

i = 1,2,3.....a	niveles del factor A.
j = 1,2,3.....b	niveles del factor B.
k = 1,2,3.....r	repeticiones o bloques.

Y_{ijk} = La k-ésima observación del rendimiento del i-j-ésimo tratamiento.

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (Densidad), a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = Efecto debido al j-ésimo nivel del factor B (Niveles de Nitrógeno), a estimar a partir de los datos del experimento.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre los factores Densidad*Niveles de Nitrógeno.

ρ_k = Efecto del k-ésimo bloque.

ε_{ijk} = Efecto aleatorio de variación.

Hipótesis

$\Sigma \alpha_i = 0$ vs Algún par de Densidades ejerce un efecto significativo sobre el rendimiento en chilotes obtenido.

$\Sigma \beta_j = 0$ vs Algún par de Niveles de Nitrógeno ejerce un efecto significativo sobre el rendimiento en chilotes obtenido.

$\Sigma (\alpha\beta)_{ij} = 0$ vs Existe efecto de interacción significativo (Densidad * Niveles de Nitrógeno) sobre el rendimiento en chilotes obtenido.

Cálculos para el ANDEVA

$$1. F.C. = (Y_{...})^2 / abr = (261.00)^2 / 3 \times 3 \times 4 \implies F.C. = 1892.25$$

$$2. S.C.Total = \sum Y_{ijk}^2 - F.C. = (4.15)^2 + \dots + (8.40)^2 - FC$$

$$S.C.Total = 2028.79 - FC \implies S.C.Total = 136.54$$

$$3. S.C.Bloques = \sum Y_{..k}^2 / ab - FC$$

$$S.C.Bloques = (65.40)^2 + \dots + (56.90)^2 / 3 \times 3 - FC$$

$$S.C.Bloques = 1911.6022 - FC \implies S.C.Bloques = 19.35$$

Para facilitar el cálculo de las sumas de cuadrados de los factores principales, al igual que en el caso de bifactoriales en D.C.A., es recomendable elaborar un cuadro de doble entrada.

Cuadro 8.18. Totales e Interacciones.

Factor/		A			Y _{..j..}
	Niveles	a ₁	a ₂	a ₃	
B	b ₁	21.05	21.00	31.20	73.25
	b ₂	25.15	24.85	34.05	84.05
	b ₃	34.20	33.15	36.35	103.70
Y _{i..}		80.40	79.00	101.60	261.00

$$4. SCA(Den) = \sum Y_{i..}^2 / br - F.C. =$$

$$SCA(Den) = (80.40)^2 + (79.00)^2 + (101.60)^2 / 3 \times 4 - FC$$

$$SCA(Den) = 1918.9767 - FC \implies SCA(Den) = 26.72$$

$$5. SCB(Nit) = \sum Y_{..j..}^2 / ar - F.C.$$

$$SCB(Nit) = (73.25)^2 + (84.05)^2 + (103.70)^2 / 3 \times 4 - FC$$

$$\text{SCB (Nit)} = 1931.9713 - \text{FC}$$

$$\text{SCB (Nit)} = 39.72$$

$$6. \text{ SCAB (Den*Nit)} = \sum Y_{ij.}^2 / r - \text{F.C.} - \text{S.C.A.} - \text{S.C.B.}$$

$$\text{SCAB (Den*Nit)} = (21.05)^2 + \dots + (36.35)^2 / 4 - \text{FC} - \text{S.C.A.} - \text{S.C.B.}$$

$$\text{SCAB (Den*Nit)} = 1964.2188 - \text{FC} - \text{S.C.A.} - \text{S.C.B.}$$

$$\text{SCAB (Den*Nit)} = 5.52$$

$$7. \text{ SCError} = \text{SCTotal} - \text{SCBloque} - \text{S.C.A.} - \text{S.C.B.} - \text{S.C.AB}$$

$$\text{S.C.E.} = 136.54 - 19.35 - 26.72 - 39.72 - 5.52 \implies \text{S.C.E.} = 45.21$$

Cuadro 8.19. Análisis de Varianza para la variable rendimiento total de Chilotes (Kg/P.U.).

F de V	S.C	G.L	C.M	F _c	F _{5%}	Pr>F
Bloques	19.35	3	6.45	3.42*	3.01	0.0333
Densidad	26.72	2	13.36	7.09**	3.40	0.0038
Nitrógeno	39.72	2	19.86	10.54**	3.40	0.0005
Den*Nit	5.52	4	1.38	0.73NS	2.78	0.5787
Error	45.21	24	1.88			
TOTAL	136.54	35		CV (%) = 18.93		

Conclusiones :

a. El bloqueo realizado contribuyó a mejorar la precisión de los datos obtenidos. De esta forma, una parte importante de la variabilidad aleatoria, correspondiente a las diferencias de heterogeneidad del suelo entre grupos de parcelas, fue captada y disminuida del error total lo que facilitó establecer el verdadero significado estadístico de los factores en estudio.

b. El ANDEVA realizado demuestra que existen diferencias altamente significativas (99% de confianza), en el rendimiento de chilote obtenido por efecto de las diferentes densidades estudiadas (No. de plantas/ha).

c. Así mismo, el ANDEVA demuestra que existen diferencias altamente significativas (99 % de confianza), en el rendimiento de chilote, por efecto de los diferentes niveles de nitrógeno en estudio.

d. Por otra parte, el ANDEVA demuestra que no existen diferencias reales del rendimiento obtenido por el efecto de interacción densidad*nitrógeno. Esto indica que la influencia de ambos factores sobre el rendimiento es independiente entre sí. De modo que, debe considerarse solamente el efecto de cada factor por separado. Se debe concluir separadamente que una densidad es la mejor y que un nivel de nitrógeno es el mejor, sin estudiar más a fondo como se comportaría cada densidad con los diferentes niveles de nitrógeno o viceversa.

Prueba de SNK para el factor Densidad (A)

Retomando la recomendación establecida en los Bifactoriales en D.C.A., se procede a elaborar el cuadro de medias e interacciones.

Cuadro 8.20. Organización de las medias de tratamientos factoriales para obtener las medias para cada factor.

Factor/ Niveles	A			$\bar{Y}_{\cdot j \cdot}$	
	a ₁	a ₂	a ₃		
B	b ₁	5.26	5.25	7.8	6.104
	b ₂	6.28	6.21	8.51	7.004
	b ₃	8.55	8.28	9.08	8.642
$\bar{Y}_{i \cdot \cdot}$		6.770	6.583	8.467	7.250

$$W_p = q_p; \alpha; g_{le} * S_y \quad \dots \quad \text{donde:}$$

$$S_y = \sqrt{CME/br} \quad \Rightarrow \quad S_y = \sqrt{1.88/3 \times 4} \quad \Rightarrow \quad S_y = 0.3958$$

<i>p</i> = No. de medias involucradas en comparación	2	3
$q_{5\%}$ y 24 gle	2.92	3.53
S_y	0.3958	0.3958
W_p	1.1557	1.3971

Cuadro 8.21. Ordenamiento de medias de los niveles del factor A.

Categoría Estadística	Medias	a_3	a_1	a_2	$W_{p5\%}$
a	8.467	0	1.76 *	1.88 *	1.397
b	6.700	-	0	0.117NS	1.155
b	6.583	-	-	0	

Conclusión :·

La prueba de SNK realizada permite agrupar las diferentes densidades de siembra en dos grupos estadísticos claramente diferenciados: En primer lugar, la menor densidad ($a_3=68060$ plantas/ha) induce a obtener el mayor rendimiento de chilotes por parcela con 8.467 kg/P.U. En segundo lugar las densidades ($a_1 = 136000$ y $a_2 = 90750$ plantas/ha), inducen a obtener rendimientos de chilote cuyas diferencias son no significativas entre si, con valores de 6.70 y 6.583 kg/P.U. respectivamente.

Prueba de SNK para el factor Nitrógeno (B)

$$W_p = q_p; \alpha; gle * S_y \dots \text{donde:}$$

$$S_y = \sqrt{\text{CME/ar}} \quad \Rightarrow S_y \sqrt{1.88/3x4} \quad \Rightarrow S_y = 0.3958$$

P = No. de medias involucradas en comparación

2 3

q 5% y 24 gle	2.92	3.53
S_y	0.3958	0.3958
W_p	1.1557	1.3971

Cuadro 8.22. Ordenamiento de medias de los niveles del factor B.

Categoría Estadística	Medias	b₃	b₂	b₁	W_{p5%}
a	8.642	0	1.638 *	2.538 *	1.3971
b	7.004	-	0	0.900 NS	1.1557
b	6.104	-	-	0	

Conclusion :

La prueba de SNK realizada, permite agrupar los diferentes niveles de nitrógeno en dos categorías estadísticas: En primer lugar la dosis de 100 kg/ha de nitrógeno induce a obtener el mayor rendimiento de chilotes con 8.642 kg/P.U. En segundo lugar las dosis de 75 y 50 kg/ha de nitrógeno, que inducen a obtener rendimientos de chilotes cuyas diferencias son no significativas entre sí, con valores de 7.004 y 6.104 kg/P.U respectivamente.

8.10. Diseño de Parcelas Divididas

Principios Generales e Importancia

En los temas anteriores, referidos a los Bifactoriales Propiamente Dichos, se explicó que el conjunto de todas las combinaciones de ambos factores en estudio, constitúan los tratamientos, éstos se aplicaban a las unidades experimentales de acuerdo con el proceso de aleatorización propio para el Diseño Completamente Aleatorio, de Bloques Completos aleatorizados o de Cuadrado Latino. *Pero son posibles otros procesos de aleatorización.* Una de las aleatorizaciones alternas da lugar a un diseño en sí, denominado Diseño de Parcelas Divididas.

Los diseños de parcelas divididas se emplean frecuentemente en experimentos factoriales, en los que la naturaleza del material experimental o las operaciones contempladas dificultan el manejo de todas las combinaciones de factores en una misma forma.

El principio básico del diseño de parcelas divididas consiste en que a las parcelas grandes o parcelas principales, se les aplican niveles de uno o más factores, luego las parcelas grandes se subdividen en parcelas pequeñas o subparcelas a las cuales se les aplican los niveles de un segundo factor. De este modo, cada unidad completa se convierte en un bloque para los niveles de las subparcelas. Es característico de este diseño que cuando se establecen experimentos fitotécnicos, cada parcela experimental ocupada por un primer factor se divide en tantas parcelas pequeñas como niveles del segundo factor existan.

El diseño básico de parcelas divididas involucra la asignación de los niveles de un factor a las parcelas grandes, dispuestas en un Diseño Completamente Aleatorio (D.C.A), de Bloques Completos al Azar (B.C.A) o de Cuadro Latino (D.C.L). Los niveles del segundo factor se asignan a las parcelas pequeñas dentro de cada parcela principal. *El proyecto suele sacrificar la precisión en la estimación de los efectos promedios de los tratamientos asignados a las parcelas principales, aunque frecuentemente aumenta la precisión para comparar los efectos promedios de tratamientos asignados a las subparcelas y cuando existen interacciones, para comparar los efectos de tratamientos de subparcelas en una parcela grande determinada.* Esto proviene del hecho de que el error para las parcelas principales suele ser mayor que el error utilizado para comparar los tratamientos de subparcelas. A menudo, el término de error para tratamientos de subparcelas es inferior al que se obtendría si todas las combinaciones de tratamientos fuesen dispuestas en un diseño de Bloques Completos al Azar.

Evidentemente no todas las comparaciones entre los tratamientos se pueden hacer con el mismo grado de precisión. Está presente una significación diferente en las comparaciones. Aquellas que conciernen a los niveles del segundo factor, o sea las que están dispuestas sobre áreas de menor dimensión, por tanto, están más cerca unas de otras y tienden a ser más exactas que las comparaciones de los niveles del primer factor, que están situadas en parcelas más alejadas unas de otras y por tanto en condiciones de fertilidad del suelo más diferentes.

De aquí la significación diferente de las distintas comparaciones de los resultados experimentales, lo cual ocurre por la disposición de los tratamientos en el diseño de las parcelas divididas, que requiere una descomposición de los errores del experimento en sus componentes. Del error para el factor A, establecido sobre las parcelas grandes en el experimento. Del error para el factor B, establecido sobre las subparcelas y eventualmente de errores sobre los tratamientos de tercer orden. Los valores de estos distintos errores se utilizan después para valorar la precisión y la veracidad de los efectos principales e interacciones entre los factores del experimento.

En términos comparativos, el diseño de parcelas divididas presenta las siguientes características diferenciales en relación a los experimentos bifactoriales propiamente dicho:

- a.** Mientras los Bifactoriales propiamente dicho permiten evaluar dos factores de estudio con igual grado de precisión, el Diseño de Parcelas Divididas permite evaluar dos factores de estudio con diferentes grados de precisión , siendo ésta, mayor para el factor asignado en la parcela pequeña.
- b.** El Diseño de Parcelas Divididas es un diseño en sí, ya que tiene su propia azarización, la cual genera dos tipos de errores : E(a) y E(b), por el contrario, los Bifactoriales propiamente dicho no son un diseño en sí, ya que toman la azarización correspondiente al diseño en que se establezcan (D.C.A, B.C.A, y D.C.L.), el cual se caracteriza por tener un mismo error para evaluar ambos factores.
- c.** El principio básico del Diseño de Parcelas Divididas permite la existencia en campo de dos tamaños de parcelas (Grande o Principal y Pequeña o Subparcela), a diferencia de los bifactoriales propiamente dicho, en los que existe igual tamaño de parcela para cada una de las unidades experimentales.

Situaciones prácticas en que el Diseño de Parcelas Divididas es recomendable

- 1.** Puede usarse cuando los tratamientos relacionados con los niveles de uno o más de los factores necesita mayor cantidad de material experimental que los niveles del otro factor. Esto es común en experimentación de campo. Por ejemplo, en un experimento de campo uno de los factores puede ser métodos de preparación del suelo, factor que necesita por su naturaleza, parcelas grandes. El otro factor puede ser variedades o fertilizantes, los cuales se pueden comparar usando parcelas pequeñas.

- 2.** El diseño puede usarse si va a incorporarse en un experimento un factor adicional para aumentar su alcance. Por ejemplo, suponga que el objetivo principal de un experimento es comparar los efectos de varios fungicidas. Para aumentar el alcance del experimento, se incluyen varias variedades de las cuales se sabe que difieren en su resistencia a la enfermedad. Aquí las variedades podrían organizarse en las parcelas grandes y los productos en las subparcelas, a fin de estudiarlos con mayor precisión.

- 3.** A partir de la información anterior, es posible conocer que existen diferencias mayores entre los niveles de ciertos factores que entre los niveles de otros. En este caso, las combinaciones de los tratamientos para los factores donde se esperan diferencias grandes deben asignarse aleatoriamente a las unidades grandes.

- 4.** Este diseño se usa cuando se desea mayor precisión para comparaciones entre ciertos factores, que para otras. Este argumento es esencialmente igual al expresado en el inciso anterior, pero las razones pueden ser diferentes.

Algunos ejemplos para ilustrar la aplicación del Diseño de Parcelas Divididas

- a.** Diferentes métodos de preparación del suelo (Labranza Convencional, Labranza Mínima, Cero Labranza) y diferentes variedades.

- b.** Láminas de riego y dosis de fertilizante.

- c.** Rotación de cultivos y métodos de control de malezas.

- d.** Diferentes momentos o épocas de siembra y variedades.

- e.** Diferentes densidades de siembra en un mismo cultivo y diferentes niveles de nitrógeno, por ejemplo: un experimento con el cultivo del tomate, usando la variedad UC-82, se necesita estudiar tres densidades de siembra (50-100-150 mil

plantas por Ha) y cuatro dosis de nitrógeno (50-100-150-200 Kg/Ha); se debe controlar la variabilidad del suelo en un sentido y se tiene interés en evaluar con mayor precisión el efecto del nitrógeno. En general, para el arreglo de parcelas divididas, la distribución de las parcela grandes se hace en bloques al azar, estableciendo en ellas las densidades de siembra y la distribución dentro de las parcelas grandes, se hace completamente al azar, estableciendo en éstas los niveles de nitrógeno.

f. Diferentes niveles de nitrógeno y diferentes fraccionamientos, teniendo el investigador interés en evaluar el efecto del fraccionamiento con mayor precisión.

g. Diferentes insecticidas y dosis de cada insecticida, teniendo el investigador interés en evaluar con mayor precisión las dosis del producto.

h. Diferentes sistemas de coberturas y métodos de control de malezas en un cultivo determinado.

Algunos puntos de reflexión al establecer un experimento de campo en Diseño de Parcelas divididas

En particular, debe tenerse presente que el diseño de parcelas divididas impone ciertas restricciones en cuanto al término del error que debe utilizarse para probar los efectos de los tratamientos; por lo tanto, es muy importante asignar correctamente los factores a las parcelas de tal forma que se obtenga la mayor precisión al comparar las interacciones y los efectos promedios de los tratamientos en los que se está más interesado. Cabe preguntarse : Porqué el factor que se desea estudiar con mayor precisión, debe establecerse en la parcela pequeña ?.

Dado que se espera que la variación entre las subparcelas sea menor que entre las parcelas grandes, en los experimentos con parcelas divididas, el factor que: sea de mayor importancia, o del que se espera presente menores diferencias, o para el cual por alguna razón se desee mayor precisión, se asigna a las parcelas pequeñas.

El error de la parcela grande, convenientemente designado E(a), usualmente es mayor que el error de las subparcelas, designado E(b). Esto se debe a que las observaciones en las subunidades de la misma unidad completa tienden a correlacionarse positivamente y así reaccionar de modo más semejante que las subunidades de diferentes unidades grandes. El E(a) no puede ser menor que E(b), excepto por azar; si esto sucede, es apropiado considerar ambos E(a) y E(b) como estimaciones de la misma s^2 y, en consecuencia, las dos sumas de cuadrados pueden combinarse y luego dividirse por los grados de libertad combinados para obtener una estimación de s^2 .

Ocasionalmente el E(a) puede ser inferior al E(b). Esto puede ocurrir en experimentos de campo, por ejemplo, cuando las parcelas grandes pueden encontrarse sobre un solo eje perpendicular a un gradiente de fertilidad y así ser muy similares, mientras que las subunidades pueden ser muestras a lo largo de un gradiente de fertilidad y resultar así muy diferentes. Por lo tanto, la variación entre subunidades ha sido maximizada a expensas de la variación entre unidades completas, al contrario de lo que se anticipó para el experimento.

Azarización para el Diseño de Parcelas Divididas en B.C.A.

La aleatorización de los tratamientos se realiza mediante un proceso en dos etapas :

a. Por cada bloque, se azarizan los niveles del factor A, lo que viene a constituir las parcelas grandes y este proceso genera el error del factor A.

b. Dentro de cada parcela grande, se azarizan los niveles del factor B, lo que viene a constituir las subparcelas y este proceso genera el error del factor B.

Para ilustrar el procedimiento anteriormente descrito, se presenta el esquema de la distribución correspondiente a un ejemplo 3*4 en B.C.A.

El Modelo Aditivo Lineal para un Diseño de Parcelas Divididas establecido en Bloques Completos al Azar

Si se designa : **i = 1, 2, 3 a = número de niveles del factor A.**

j = 1, 2, 3 b = número de niveles del factor B.

K = 1, 2, 3 r = número de bloques.

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_k + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \beta_j + (\alpha \beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{donde :}$$

Y_{ijk} = La k-ésima observación del i-j-ésimo tratamiento.

μ = Media general.

ρ_k = Efecto del K-ésimo bloque.

α_i = Efecto de i-ésimo nivel del factor A.

ε_{ik} = Error de factor (A).

β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor B.

(α β)_{ij} = Efecto del i-j-ésimo nivel de la interacción AB.

ε_{ijk} = Error del factor (B).

ESQUEMA DE CAMPO PARA UN PARCELAS DIVIDIDAS EN B.C.A.

	a ₂				a ₃				a ₁			
I	b ₃	b ₁	b ₄	b ₂	b ₄	b ₂	b ₁	b ₃	b ₂	b ₃	b ₄	b ₁
	a ₃				a ₁				a ₂			
II	b ₂	b ₄	b ₁	b ₃	b ₃	b ₄	b ₁	b ₂	b ₁	b ₄	b ₂	b ₃
	a ₁				a ₃				a ₂			
III	b ₄	b ₃	b ₂	b ₁	b ₂	b ₁	b ₃	b ₄	b ₃	b ₂	b ₄	b ₁
	a ₂				a ₁				a ₃			
IV	b ₃	b ₂	b ₁	b ₄	b ₁	b ₃	b ₄	b ₂	b ₄	b ₁	b ₂	b ₃

Tabla del ANDEVA para un Diseño de Parcelas Divididas establecido en BCA

Asumase un experimento hipotético en el que se estudiará el efecto de 2 niveles de un factor A, con 2 niveles de un factor B. Los datos ordenados se presentan en el cuadro siguiente :

Cuadro 8.23. Organización de los datos para un diseño de Parcelas Divididas en B.C.A.

Factor A	Factor B	BLOQUES			$Y_{ij\bullet}$
		I	II	III	
a_1	b_1	Y_{111}	Y_{112}	Y_{113}	$Y_{11\bullet}$
	b_2	Y_{121}	Y_{122}	Y_{123}	$Y_{12\bullet}$
Sub-Total	$Y_{i\bullet k}$	$Y_{1\bullet 1}$	$Y_{1\bullet 2}$	$Y_{1\bullet 3}$	$Y_{1\bullet\bullet}$
a_2	b_1	Y_{211}	Y_{212}	Y_{213}	$Y_{21\bullet}$
	b_2	Y_{221}	Y_{222}	Y_{223}	$Y_{22\bullet}$
Sub-Total	$Y_{i\bullet k}$	$Y_{2\bullet 1}$	$Y_{2\bullet 2}$	$Y_{2\bullet 3}$	$Y_{2\bullet\bullet}$
Total	$Y_{\bullet\bullet k}$	$Y_{\bullet\bullet 1}$	$Y_{\bullet\bullet 2}$	$Y_{\bullet\bullet 3}$	$Y_{\bullet\bullet\bullet}$

Antes de realizar los cálculos para las sumas de cuadrados para los factores A y B se procede a elaborar el cuadro de totales e interacciones para obtener los totales de los factores respectivos.

Cuadro 8.24. Totales e Interacciones.

Factor/ Niveles	A		$Y_{\bullet j\bullet}$	
	a_1	a_2		
B	b_1	$Y_{11\bullet}$	$Y_{21\bullet}$	$Y_{\bullet 1\bullet}$
	b_2	$Y_{12\bullet}$	$Y_{22\bullet}$	$Y_{\bullet 2\bullet}$
$Y_{i\bullet\bullet}$	$Y_{1\bullet\bullet}$	$Y_{2\bullet\bullet}$	$Y_{\bullet\bullet\bullet}$	

I. Cálculos Generales

$$1. F.C. = (Y_{...})^2 / abr$$

$$2. S.C.Total = \sum Y_{ijk}^2 - F.C.$$

$$3. S.C.Bloques = \sum Y_{..k}^2 / ab - F.C.$$

II. Cálculos en la Parcela Grande

$$4. SCPG = \sum Y_{i,k}^2 / b - F.C.$$

$$5. SCA = \sum Y_{i..}^2 / br - F.C.$$

$$6. SCE(a) = SCPG - SCR - SCA$$

III. Cálculos en la Parcela Pequeña

$$7. SCB = \sum Y_{..j}^2 / ar - F.C.$$

$$8. SCAB = \sum Y_{ij..}^2 / r - F.C. - SCA - SCB$$

$$9. SCE(b) = SCTot - SCPG - SCB - SCAB$$

Cuadro 8.25. Partición de los grados de libertad para el diseño de Parcelas Divididas con diferente arreglo de las parcelas grandes.

BCA		DCA		DCL	
F de V	GL	F de V	GL	F de V	GL
Bloques	r-1			Hileras	r-1
A	a-1	A	a-1	Columnas	r-1
E(a)	(r-1)(a-1)	E(a)	a(r-1)	A	a-1
B	b-1	B	(b-1)	E(a)	(a-1)(a-2)
AB	(a-1)(b-1)	AB	(a-1)(b-1)	B	(b-1)
E(b)	a(r-1)(b-1)	E(b)	a(r-1)(b-1)	AB	(a-1)(b-1)
Total	abr-1	Total	abr-1	E(b)	a(r-1)(b-1)
				Total	a ² b-1

Las fórmulas necesarias para el cálculo de las sumas de cuadrados correspondientes se presentan en síntesis en el cuadro 8.26.

Cuadro 8.26. Fórmulas para el ANDEVA de un Diseño de Parcelas Divididas en B.C.A.

F de V	gl	SC	CM	Fc
Bloques	r-1	$\sum Y^2 ..k/ab - F.C.$	SCBlq/gl	CMBBlq/CME(a)
A	a-1	$\sum Y^2 _{i..}/br - F.C.$	SCA/gl	CMA/CME(a)
E(a)	(r-1) (a-1)	SCPG - SCR - SCA	SCE(a)/gl	
B	b-1	$\sum Y^2 _{..j..}/ar - F.C.$	SCB/gl	CMB/CME(b)
AB	(a-1) (b-1)	$\sum Y^2 _{ij..}/r - F.C.$ -SCA - SCB	SCAB/gl	CMAB/CME(b)
E(b)	a(r-1)(b-1)	SCTot - SCPG -SCB - SCAB	SCE(b)/gl	
TOTAL	abr-1	$\sum Y^2 _{ijk} - F.C.$		

Ilustración del análisis de varianza para un diseño de parcelas divididas con arreglo de parcelas grandes en B.C.A.

Con el objetivo de estudiar el efecto de sistemas de labranza (Factor A) y presencia o no de malezas (Factor B), sobre la incidencia de la Chicharrita del Maíz (Dalbulus maidis) se estableció un experimento de campo en la Estación Experimental del C.N.I.G.B., utilizando la variedad de maíz (NB 100). El experimento, conducido por Valle N. 1992, fue establecido en un Diseño de parcelas Divididas con arreglo de parcelas grandes en B.C.A. En el cuadro 8.27., se presentan los resultados obtenidos. La descripción de los factores en estudio es la siguiente :

Factor A

- a_1 = Labranza Convencional
- a_2 = Labranza Cero

Factor B

- b_1 = Sin maleza
- b_2 = Con maleza

Cuadro 8.27. Datos del Rendimiento de campo en kg/ha.

Factor A	Factor B	BLOQUES				$Y_{ij\bullet}$
		I	II	III	IV	
a_1	b_1	1478.99	1268.23	1150.70	905.14	4803.06
	b_2	1304.30	1027.76	912.04	1013.78	4257.88
Sub-Total	$Y_{i\bullet k}$	2783.29	2295.99	2062.74	1918.92	9060.94
a_2	b_1	1877.33	1277.31	1534.2	1103.52	5792.36
	b_2	1891.54	1529.41	1545.54	1264.54	6231.03
Sub-Total	$Y_{i\bullet k}$	3768.87	2806.72	3079.74	2368.06	12023.39
Total	$Y_{\bullet k}$	6552.16	5102.71	5142.48	4286.98	21084.33

Se realiza a continuación el análisis de varianza para determinar la significancia de los tratamientos así como La Separación de Medias para cada factor y la interacción, mediante el uso de la prueba de rangos múltiples de S.N.K.

Descripción del MAL: $Y_{ijk} = \mu + \rho_k + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \beta_j + (\alpha \beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

Y_{ijk} = La k-ésima observación del rendimiento del i-j-ésimo tratamiento.

μ = Es la media general.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (Labranza), a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor B (Presencia o Ausencia de malezas), a estimar a partir de los datos del experimento.

$(\alpha \beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre los factores Labranza*malezas

ρ_k = Efecto del k-ésimo bloque.

ε_{ik} = Error del factor A.

ε_{ijk} = Error del factor B.

Hipótesis

$H_0: \sum \alpha_i = 0$ vs El sistema de labranza ejerce un efecto significativo sobre el rendimiento obtenido.

$H_0: \sum \beta_j = 0$ vs La presencia o ausencia de malezas ejerce un efecto significativo sobre el rendimiento obtenido.

$H_0: \sum (\alpha\beta)_{ij} = 0$ vs Existe efecto de interacción significativo (Labranza * malezas) sobre el rendimiento obtenido.

Cálculos para el ANDEVA

Cálculos generales

$$1. F.C. = (Y...)^2 / abr \implies F.C. = (21084.33)^2 / 2 * 2 * 4$$

$$F.C. = 27784311$$

$$2. SCTotal = \sum Y_{ijk}^2 - F.C.$$

$$SCTotal = (1478.99)^2 + \dots + (1264.54)^2 - FC$$

$$SCTotal = 1404141.51$$

$$3. SCBloque = \sum Y_{..k}^2 / ab - F.C.$$

$$SCBloque = (6552.16)^2 / 2 * 2 - FC$$

$$SCBloque = 28447937 - FC$$

$$SCBloque = 663626.29$$

II. Cálculos de los componentes en la Parcela Grande

$$4. \text{ S.C.P.G.} = \sum Y_{i \cdot k}^2 / b - F.C.$$

$$\text{S.C.P.G.} = (2783.29)^2 + \dots + (2368.06)^2 / 2 - F.C.$$

$$\text{S.C.P.G.} = 29064994 - F.C.$$

$$\text{S.C.P.G.} = 1280683.20$$

Para el cálculo de las sumas de cuadrados de los factores principales (A y B), es recomendable elaborar previamente un cuadro de doble entrada, tal como sigue:

Cuadro 8.28. Totales e Interacciones.

Factor/ Niveles		A		Y _{i · j}
		a ₁	a ₂	
B	b ₁	4803.06	5792.36	10595.42
	b ₂	4257.88	6231.03	10488.91
	Y _{i ..}	9060.94	12023.39	21084.33

$$5. \text{ S.C.A.} = \sum Y_{i ..}^2 / br - F.C.$$

$$\text{S.C.A.} = (9060.94)^2 + (12023.39)^2 / 2 \times 4 - F.C.$$

$$\text{S.C.A.} = 28332818 - FC$$

$$\text{S.C.A.} = 548506.87$$

$$6. \text{ S.C.E. (a)} = \text{S.C.P.G.} - \text{S.C.Bloque} - \text{SCA}$$

$$\text{S.C.E. (a)} = 1280683.2 - 663626.29 - 548506.87$$

$$\text{S.C.E. (a)} = 68550.32$$

III. Cálculos de los componentes en la Subparcela

$$7. \text{ S.C.B.} = \sum Y_{ij}^2 / ar - F.C.$$

$$\text{S.C.B.} = (10595.42)^2 + (10488.91)^2 / 2x4 - F.C.$$

$$\text{S.C.B.} = 27785020 - F.C.$$

$$\text{S.C.B.} = 709.02$$

$$8. \text{ S.C.AB} = \sum Y_{ij}^2 / r - F.C. - SCA - SCB$$

$$\text{S.C.AB} = (4803.06)^2 + \dots + (6231.03)^2 / 4 - SCA - SCB$$

$$\text{S.C.AB} = 28394024 - FC - SCA - SCB$$

$$\text{S.C.AB} = 60497.55$$

$$9. \text{ S.C.E. (b)} = \text{SCTotal} - \text{SCP.G.} - \text{SCB} - \text{SCAB}$$

$$\text{S.C.E. (b)} = 62251.44$$

Los cálculos realizados se sintetizan en el cuadro que sigue:

Cuadro 8.29. Cuadro del análisis de varianza para un Diseño de parcelas Divididas en B.C.A

F de V	S de C	GL	CM	F _c	F _{5%}	F _{10%}
Bloque	663626.29	3	221208.67	9.68*	9.28	5.39
Labranza	548506.87	1	548506.87	24.00*	10.13	5.54
Error (a)	68550.32	3	22850.32			
Maleza	709.02	1	709.02	0.07NS	5.99	3.78
Lab*Mal	60497.55	1	60497.55	5.83NS	5.99	3.78
Error (b)	62251.44	6	10375.24			
Total	1404141.51	15		CV (%) = 7.729		

Conclusiones:

- a.** El ANDEVA demuestra con un 95 % de confianza que, existe un efecto significativo de bloque, lo cual indica que el bloqueo contribuyó a mejorar la precisión del experimento realizado.
- b.** El ANDEVA demuestra con un 95 % de confianza que, existen diferencias significativas en el rendimiento obtenido por efecto de los diferentes sistemas de labranza sobre el comportamiento de la chicharrita.
- c.** El ANDEVA demuestra con un 95% de confianza que, las diferencias en el rendimiento obtenido, por la presencia o ausencia de malezas, son no significativas.
- d.** Similar al caso de interacción obtenido para el ejemplo citado en el inciso 8.8., el efecto de interacción obtenido en el presente ejemplo, indica literalmente que el valor de $F_c=5.83$ sugiere un efecto no significativo para una probabilidad de error del 5%. Sin embargo, dado la estrecha proximidad del valor calculado ($F_c=5.83$) al límite crítico establecido para un 95% de confianza ($F_{5\%} = 5.99$) y considerando el límite crítico para un 90 % de confianza ($F_{10\%} = 3.78$), es evidente que la significancia de la interacción en estudio existe para un límite de confianza del 90 %.

La probabilidad aleatoria indicada por SAS para la interacción, es de $P = 0.0522$; lo cual demuestra que, sí existe efecto de interacción Labranza*Maleza, pero con un 94.78 % de confianza. “Parece razonable considerar la significancia del efecto de interacción. De ahí la necesidad de aplicar técnicas que ayuden a discernir las diferencias específicas para un par de tratamientos cualquiera”.

Procedimiento para realizar las pruebas de rangos múltiples en Diseños de parcelas divididas

En el Diseño de Parcelas Divididas es aún más complejo la aplicación de las técnicas de separación de medias por la presencia de dos errores, uno para cada factor. En particular es mayor la precisión con que se determina la separación de medias para la interacción de los niveles del factor B dentro de un mismo nivel de la parcela grande. Estas particularidades obligan a fijar detenidamente no sólo el error a utilizar, sino la comparación correcta entre las medias de los tratamientos. A continuación se presentan los errores estandares a usar citados por Litte y Hills (1981), según cada caso :

Cuadro 8.30. Errores estandares para un Diseño de Parcelas Divididas.

Medias comparadas	Errores estandares de una media
Dos medias de A $a_1 - a_2$	$\sqrt{E(a)/rb}$
Dos medias de B $b_1 - b_2$	$\sqrt{E(b)/ra}$
Dos medias de B para el mismo nivel de parcela grande $a_1b_1 - a_1b_2$	$\sqrt{E(b)/r}$
Dos medias de A para el mismo o diferentes niveles de B $a_1b_1 - a_2b_1$ o $a_1b_1 - a_2b_2$	$\sqrt{(b-1) E(b) + E(a)/rb}$

Las comparaciones de dos medias de A, al mismo nivel o a diferentes niveles de B, comprenden tanto el efecto principal de A como la interacción AB. Ellos son tanto comparaciones de unidades completas como subunidades; por tanto es apropiado usar un promedio ponderado de $E(a)$ y $E(b)$. Las ponderaciones son $(b-1)$ y 1, su suma es b , así b aparece en el divisor. Para tales comparaciones, la relación de la diferencia de tratamiento al error estandard no sigue la distribución t de Student. *Solamente una aproximación puede adoptarse para obtener un valor ponderado de comparación (t') para todo nivel de significancia.* Sean $t(a)$ los valores t tabulados al nivel de significancia elegido para los correspondientes grados de libertad de $E(a)$ y $E(b)$, entonces.

$$t' = \frac{(b-1) E(b) * t(b) + E(a) t(a)}{(b-1) * E(b) + E(a)}$$

Así, t' es el valor al nivel de significancia elegido con el cual se compara el valor de t muestral.

Con fines metodológico-docentes, se ilustra la separación de medias para cada factor y las interacciones por la prueba de S.N.K.

Prueba de S.N.K. para el factor Labranza (A)

Igual que la ilustración presentada en el caso de los Bifactoriales propiamente dicho, para realizar la separación de medias en parcelas divididas, es recomendable clasificar los factores A y B en un cuadro de doble entrada.

Cuadro 8.31. Organización de las medias de tratamientos factoriales para obtener las medias de cada factor.

Factor/ Niveles	A		
	a ₁	a ₂	$\bar{Y}_{\cdot j \cdot}$
B	b ₁	1200.765	1448.09
	b ₂	1064.47	1557.57
	$\bar{Y}_{i \cdot \cdot}$	1132.62	1502.92
			1317.77

$W_p = q_{\alpha; gl; p} * S_y$ donde:

$$S_y = \sqrt{CME(a)/br} \implies S_y = \sqrt{22850.20/2x4} \implies S_y = 53.4441$$

P = No. de medias involucradas en comparación

2

$q_{5\% \text{ y } 5gl}$	3.64
S_y	53.4441
W_p	194.5365

El ordenamiento de las medias para el factor labranza se ve limitado a una única comparación, dado que en el ejemplo sólo hay dos niveles del factor en estudio,

Cuadro 8.32. Ordenamiento de medias para el factor A.

Categoría Estadística	Medias	a₂ 1502.92	a₁ 1132.62	W_{p5%}
a	1502.92	0	370.30 *	194.53
b	1132.62	-	0	

Conclusión :

Partiendo de la prueba de SNK realizada, puede afirmarse con un 95% de confianza que el sistema de labranza **a₂** (Labranza cero), modificó la incidencia de la Chicharrita en el cultivo del maíz e indujo a obtener un mayor rendimiento.

Prueba de S.N.K. para el factor Malezas (B)

$$W_p = q \cdot \alpha; \text{gle; } "p" * S_y \dots \text{ donde:}$$

$$S_y = \sqrt{CME(b)/ar} \implies S_y = \sqrt{10375.24/2 \times 4} \implies S_y = 36.0125$$

P = No. de medias involucradas en comparación

2

$$\begin{array}{ll} q_{5\%} \text{ y } 6\text{gle} & 3.46 \\ S_y & 36.0125 \end{array}$$

$$W_p \quad 124.6032$$

Cuadro 8.33. Ordenamiento de medias para el factor B.

Categoría		b₁	b₂	
Estadística	Medias	1324.42	1311.11	W _p 5%
a	1324.42	0	13.31 NS	124.60
a	1311.11	-		

Conclusión

La prueba de SNK realizada permite afirmar que, el rendimiento obtenido no muestra diferencias estadísticas entre sí, por influencia de la presencia o ausencia de malezas, sobre la incidencia de la Chicharrita del maíz.

Prueba de S.N.K. para el efecto de interacción labranza*maleza (A*B), considerando los diferentes subparcelas dentro de una misma parcela grande.

$$W_p = q_{\alpha; gle; "p"} * S_y \text{ donde:}$$

$$S_y = \sqrt{CME(b)/r} \quad \Rightarrow \quad S_y = \sqrt{10375.24/4} \quad \Rightarrow \quad S_y = 50.9294$$

$$P = \frac{\text{No. de medias involucradas en comparación}}{2}$$

$$\begin{array}{ll} q_{5\% \text{ y } 6gle} & 3.46 \\ S_y & 50.9294 \end{array}$$

$$W_p \quad 176.2157$$

Cuadro 8.34. Ordenamiento de medias para diferentes niveles del factor B dentro de **a₁**.

Categoría		a₁ b₁	a₁ b₂	
Estadística	Medias	1200.765	1064.47	W _p 5%
a	1200.765	0	136.295.NS	176.21
a	1064.47		0	

Conclusiones :

La prueba de SNK indica, con una probabilidad de error del 5% que, el maíz cultivado en el sistema de labranza convencional con o sin malezas en los surcos, no modifica la incidencia de la Chicharrita del maíz, lo cual induce a obtener rendimientos cuyas diferencias son no significativas entre sí.

Cuadro 8.35. Ordenamiento de medias para diferentes niveles de factor **B**
dentro de **a₂**

Categoría Estadística	Medias	a₂	b₂	a₂b₁	Wp5%
a	1557.757		0	109.667 NS	176.2157
a	1448.09			0	

Conclusiones :

La prueba de SNK indica que, el maíz cultivado en el sistema de labranza cero con o sin malezas en los surcos, no modifica la incidencia de la Chicharrita del maíz, lo cual induce a obtener rendimientos cuyas diferencias son no significativas entre sí.

CAPITULO 9.

ANALISIS ESTADISTICO DE RESULTADOS

PROVENIENTES DE EXPERIMENTOS

TRIFACTORIALES

9.1. Principios Generales e Importancia

En la práctica de la experimentación, a veces es necesario buscar evidencias acerca de los efectos individuales de tres factores, manteniendo constantes las demás condiciones experimentales. Así mismo, puede ser de mucha utilidad la obtención de los efectos de las interacciones posibles. Para poder lograr esto, es necesario evaluar todos los factores en un mismo lugar y al mismo tiempo, es decir en un mismo experimento. Para el caso de tres factores el método de análisis es conocido como trifactorial. Dentro de los métodos trifactoriales mencionados están:

- a. Trifactoriales Propiamente Dichos.
- b. Diseño de Parcelas Subdivididas.

Los experimentos trifactoriales propiamente dichos son un método a través del cual se combinan todos los niveles de cada uno de los tres factores, de manera que cada combinación constituye un tratamiento específico el cual es aplicado a cada una de las U.E. de acuerdo a la azarización propia del diseño experimental a usar.

En principio, tal como un experimento unifactorial puede ser expandido para incluir un segundo factor, un experimento bifactorial puede ser ampliado para incluir un tercer factor; un experimento trifactorial incluir un cuarto factor y así sucesivamente.

El número total de tratamientos, sin embargo, es el producto de los niveles de cada factor tal que, el tamaño de el experimento se amplía muy rápidamente con el número de factores. Por ejemplo, un experimento bifactorial con tres niveles de cada factor tendría 9 tratamientos. Agregando un factor adicional con tres niveles cada uno, el número total de tratamientos se incrementaría a 27; agregando aún otro factor, de nuevo con tres niveles cada uno, el número de tratamientos sería 81. De este modo, la limitación primaria de el número de factores que serán incluidos en él estudio, es el tamaño del experimento.

Cualquiera de los diseños básicos (**D.C.A.**, **B.C.A** y **D.C.L.**), pueden ser utilizados para establecer los experimentos trifactoriales. Obviamente, la elección del diseño apropiado en que se establecerá el trifactorial depende sobre todo del objetivo del experimento y de las ventajas específicas de cada diseño, lo cual está indivisiblemente vinculado a la naturaleza de las unidades experimentales en donde se establecerán los tratamientos.

Por ejemplo, si se desea establecer un experimento trifactorial para estudiar el efecto de dos variedades, cuatro niveles de nitrógeno y tres métodos de control de malezas, puede establecerse un trifactorial en **B.C.A.**, aunque la alternativa puede ser utilizar el diseño de parcelas

subdivididas. En el ejemplo citado, el grado de precisión para la medida del efecto de los tres factores es igual para cada uno de ellos en el B.C.A.; mientras que, si se elige el diseño de parcelas subdivididas y se estable el factor nitrógeno en las subparcelas, éste factor será estudiado con mayor precisión.

Las ventajas y limitaciones así como la notación de los trifactoriales propiamente dichos, son similares a las mencionadas para los bifactoriales, en los acápite 8.2., 8.3., y 8.4.

Resulta evidente que con la adición de un tercer factor en estudio, se amplía el rango de validez de las conclusiones, aún más que el caso de un bifactorial. Por otra parte, es obvio que el planeamiento del experimento resulta más difícil, y la interpretación de los resultados es más compleja, aún más que para los bifactoriales propiamente dichos. Así mismo, las posibilidades de error en la ejecución de los trabajos de campo, son más numerosas.

9.2. Azarización

Tal como se explicó para los bifactoriales, los tratamientos factoriales obtenidos por la combinación de los niveles de tres factores, pueden distribuirse en cualquiera de los diseños comunes. Para su azarización, simplemente asigne los tratamientos a las unidades experimentales de acuerdo al proceso de azarización del diseño elegido, (DCA, BCA, DCL).

9.3. Modeo Aditivo Lineal

a. Para un Trifactorial establecido en D.C.A.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha \beta_{ij} + \alpha \gamma_{ik} + \beta \gamma_{jk} + \alpha \beta \gamma_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

b. Para un Trifactorial establecido en B.C.A.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha \beta_{ij} + \alpha \gamma_{ik} + \beta \gamma_{jk} + \alpha \beta \gamma_{ijk} + \rho_1 + \varepsilon_{ijkl}$$

c. Para un Trifactorial establecido en un D.C.L.

$$Y_{ijklh} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha \beta_{ij} + \alpha \gamma_{ik} + \beta \gamma_{jk} + \alpha \beta \gamma_{ijk} + \rho_1 + \Omega_h + \varepsilon_{ijklh}$$

La descripción del MAL es similar a la descrita para los experimentos Bifactoriales.

9.4. Tabla del ANDEVA para un Trifactorial en B.C.A.

Para construir la tabla del ANDEVA, considerese el ejemplo hipotético de un trifactorial 3x2x2, establecido en B.C.A. La generalización de los datos se presenta en el cuadro 9.1.

Cuadro 9.1. Arreglo de los tratamientos en un trifactorial propiamente dicho, 3x2x2, establecido en B.C.A. con tres repeticiones.

Tratamientos	BLOQUES			Y_{ijkl}
	I	II	III	
a₁ b₁ c₁	Y_{1111}	Y_{1112}	Y_{1113}	$Y_{111\bullet}$
a₁ b₁ c₂	Y_{1121}	Y_{1122}	Y_{1123}	$Y_{112\bullet}$
a₁ b₂ c₁	Y_{1211}	Y_{1212}	Y_{1213}	$Y_{121\bullet}$
a₁ b₂ c₂	Y_{1221}	Y_{1222}	Y_{1223}	$Y_{122\bullet}$
a₂ b₁ c₁	Y_{2111}	Y_{2112}	Y_{2113}	$Y_{211\bullet}$
a₂ b₁ c₂	Y_{2121}	Y_{2122}	Y_{2123}	$Y_{212\bullet}$
a₂ b₂ c₁	Y_{2211}	Y_{2212}	Y_{2213}	$Y_{221\bullet}$
a₂ b₂ c₂	Y_{2221}	Y_{2222}	Y_{2223}	$Y_{222\bullet}$
a₃ b₁ c₁	Y_{3111}	Y_{3112}	Y_{3113}	$Y_{311\bullet}$
a₃ b₁ c₂	Y_{3121}	Y_{3122}	Y_{3123}	$Y_{312\bullet}$
a₃ b₂ c₁	Y_{3211}	Y_{3212}	Y_{3213}	$Y_{321\bullet}$
a₃ b₂ c₂	Y_{3221}	Y_{3222}	Y_{3223}	$Y_{322\bullet}$
$Y_{...1}$	$Y_{...1}$	$Y_{...2}$	$Y_{...3}$	$Y_{...}$

Por convencionalismo se asume que Y_{ijkl} corresponde a :

- i = 1, 2, 3 a niveles del factor A.
- j = 1, 2 b niveles del factor B.
- k = 1, 2 c niveles del factor C.
- l = 1, 2, 3 r repeticiones o bloques.

Tal como se explicó para los bifactoriales, es recomendable elaborar un cuadro de doble entrada para facilitar el cálculo de los factores principales y las interacciones.

Cuadro 9.2. Totales e Interacción para el arreglo de los datos presentados en el cuadro 9.1.

	C_1			C_2								
	a_1	a_2	a_3	BC	a_1	a_2	a_3	BC	AB	AB	AB	B
b_1	Y_{111} .	Y_{211} .	Y_{311} .	$Y_{.11}$.	Y_{112} .	Y_{212} .	Y_{312} .	$Y_{.12}$.	$Y_{11..}$	$Y_{21..}$	$Y_{31..}$	$Y_{.1..}$
b_2	Y_{121} .	Y_{221} .	Y_{321} .	$Y_{.21}$.	Y_{122} .	Y_{222} .	Y_{322} .	$Y_{.22}$.	$Y_{12..}$	$Y_{22..}$	$Y_{32..}$	$Y_{.2..}$
AC	$Y_{1..1}$.	$Y_{2..1}$.	$Y_{3..1}$.	$Y_{..1.}$	$Y_{1..2}$.	$Y_{2..2}$.	$Y_{3..2}$.	$Y_{..2.}$	$Y_{1...}$	$Y_{2...}$	$Y_{3...}$	$Y_{...}$

Cuadro 9.3. Fórmulas operacionales para el ANDEVA de un trifactorial en B.C.A.

F de V	gl	SC	CM	F _c
Bloque	r-1	$\sum Y^2_{...l}/abc - FC$	SC _{bloq} /gl(bloq)	CM _{bloq} /CME
A	a-1	$\sum Y^2_{i...}/ber - FC$	SCA/gl(a)	CMA/CME
B	b-1	$\sum Y^2_{.j..}/acr - FC$	SCB/gl(b)	CMB/CME
C	c-1	$\sum Y^2_{..k..}/abr - FC$	SCC/gl(c)	CMC/CME
AB	(a-1)*(b-1)	$\sum Y^2_{ij..}/cr - FC$ - SCA - SCB	SCAB/gl(ab)	CMAB/CME
AC	(a-1)*(c-1)	$\sum Y^2_{ik..}/br - FC$ - SCA - SCC	SCAC/gl(ac)	CMAC/CME
BC	(b-1)*(c-1)	$\sum Y^2_{.jk..}/ar - FC$ - SCB - SCC	SCBC/gl(bc)	CMBC/CME
ABC	(a-1)*(b-1)*(c-1)	$\sum Y^2_{ijk..}/r - FC$ - SCA - SCB - SCC - SCAB - SCAC - SCBC	SCABC/gl(abc)	CMABC/CME
Error	Diferencia	Diferencia	SCE/gl(e)	
Total	abcr-1	$\sum Y^2_{ijkl} - FC$		

9.5. Ilustración de un Trifactorial Propiamente Dicho en B.C.A.

Se estableció un experimento de campo para estudiar la influencia de la fertilización edáfica **N-P-K**, sobre el comportamiento agronómico del cultivo de la cebolla. El experimento conducido por Tapia B.J. 1987, fué establecido en B.C.A. con cuatro repeticiones los datos del rendimiento se presentan en el cuadro 9.4., la descripción de los factores es la siguiente :

Factor Nitrógeno.	Factor Fósforo.	Factor Potasio.
$n_1 = 50 \text{ kg/ha}$	$p_1 = 50 \text{ kg/ha}$	$k_1 = 20 \text{ kg/ha}$
$n_2 = 100 \text{ kg/ha}$	$p_2 = 100 \text{ kg/ha}$	$k_2 = 40 \text{ kg/ha}$
$n_3 = 150 \text{ kg/ha}$		

Cuadro 9.4. Rendimiento obtenido del peso de planta entera (ton/ha) del cultivo de Cebolla (Allium cepa L.) cv. Toro White, en la Cooperativa Leonel Valdivia, localidad de Chaguitillo, Sésbaco. 1986.

No . Tratamientos		BLOQUES				TOTAL Y_{ijk}.
		I	II	III	IV	
1	$n_1 p_1 k_1$	18.23	22.02	19.89	18.23	78.37
2	$n_1 p_1 k_2$	23.44	20.83	22.73	22.02	89.02
3	$n_1 p_2 k_1$	19.18	21.07	22.73	22.49	85.47
4	$n_1 p_2 k_2$	17.76	21.07	19.41	19.65	77.89
5	$n_2 p_1 k_1$	21.07	20.60	20.36	23.44	85.47
6	$n_2 p_1 k_2$	20.83	19.18	23.91	21.07	84.99
7	$n_2 p_2 k_1$	24.87	21.31	22.02	26.52	94.72
8	$n_2 p_2 k_2$	20.60	21.31	17.05	23.91	82.87
9	$n_3 p_1 k_1$	16.34	19.89	22.96	18.23	77.42
10	$n_3 p_1 k_2$	21.31	21.54	17.52	18.70	79.07
11	$n_3 p_2 k_1$	18.47	20.83	19.18	21.54	80.02
12	$n_3 p_2 k_2$	17.05	18.47	20.36	21.54	77.42
Y ...1		239.15	248.12	248.12	257.34	992.73

Se realiza el Análisis de Varianza para determinar la significancia de los tratamientos: así como, la Separación de Medias para cada factor y los tratamientos factoriales.

Descripción del MAL, para tres factores distribuidos en B.C.A.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \rho_l + \varepsilon_{ijkl}$$

donde :

$i = 1, 2, 3, \dots$ a niveles del factor A (Nitrógeno).

$j = 1, 2, \dots$ b niveles del factor B (Fósforo).

$k = 1, 2, \dots$ c niveles del factor C (Potasio).

$l = 1, 2, 3, \dots$ l bloques.

Y_{ijkl} = La k-ésima observación del rendimiento obtenido por el i-j-k-ésimo tratamiento.

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del Peso entero de planta obtenido en el experimento.

ρ_l = Efecto de bloques.

α = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (Nitrógeno).

β_j = Efecto debido al j-ésimo nivel del factor B (Fósforo).

γ_k = Efecto debido al k-ésimo nivel del factor C (Potasio).

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre los factores Nitrógeno y Fósforo.

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = Efecto de interacción entre los factores Nitrógeno y Potasio.

$(\beta\gamma)_{jk}$ = Efecto de interacción entre los factores Fósforo y Potasio.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = Efecto de interacción entre los factores Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

ε_{ijkl} = Efecto aleatorio de variación.

Hipótesis

$$H_0: \sum \alpha_i = 0$$

$$H_0: \sum (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

$$H_0: \sum \beta_j = 0$$

$$H_0: \sum (\alpha\gamma)_{ik} = 0$$

$$H_0: \sum \gamma_k = 0$$

$$H_0: \sum (\beta\gamma)_{jk} = 0$$

$$H_0: \sum (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0$$

Cálculos para el ANDEVA

Tomando los valores de los totales para los factores principales e interacciones, dados en el cuadro 9.5., se procede a calcular las sumas de cuadrados respectivas.

Cuadro 9.5. Totales e Interacciones del peso de planta entera (ton/ha).

	k_1				k_2			
	n_1	n_2	n_3	PK	n_1	n_2	n_3	PK
p_1	78.37	85.47	77.42	241.26	89.02	84.99	74.07	253.08
p_2	85.47	94.72	80.02	260.21	77.89	82.87	77.42	238.18
NK	163.84	180.19	157.44	501.47	166.91	167.86	156.49	491.26

..... continuación del cuadro 9.5.

	NP	NP	NP	P
p_1	167.39	170.46	156.49	494.34
p_2	163.36	177.59	157.44	498.39
NK	330.75	348.05	313.93	992.73

$$1. \quad F.C. = (992.73)^2 / 48 \implies F.C. = 20531.5177$$

$$2. \quad SCTotal = (18.23)^2 + (23.44)^2 + \dots + (21.54)^2 - F.C. \\ SCTotal = 220.4043$$

$$3. \quad SCBloques = (239.15)^2 + \dots + (257.34)^2 / 12 - F.C. \\ SCBloques = 13.7929$$

$$4. \quad SCNit = (330.75)^2 + (348.05)^2 + (313.93)^2 / 2 * 2 * 4 - F.C. \\ SCNit = 36.3886$$

5. $SCFos = (494.34)^2 + (498.39)^2 / 3 * 2 * 4 - F.C.$

SCFos = 0.3457

6. $SCPot = (501.47)^2 + (491.26)^2 / 3 * 2 * 4 - F.C.$

SCPot = 2.1757

7. $S.C.Nit*Fos = (167.39)^2 + \dots + (157.44)^2 / 2 * 4 - F.C. - SCNit - SCFos$
SCNit*Fos = 3.9023

8. $SCNit*Pot = (163.84)^2 + \dots + (156.49)^2 / 2 * 4 - F.C. - SCNit - SCPot$
SCNit*Pot = 7.9687

9. $SCFos * Pot = (241.26)^2 + \dots + (238.18)^2 / 3 * 4 - F.C. - SCFos - SCPot$
SCFos * Pot = 23.8671

10. $SCNit*Fos*Pot = (78.37)^2 + \dots + (77.42)^2 / 4 - F.C. - SCNit - SCFos - SCPot - SCNit*Fos - SCNit*Pot - SCFos*Pot$
SCNit*Fos*Pot = 6.1152

11. $SCError = SCTotal - SCbloque - SCNit - SCFos - SCPot - SCNit*Fos - SCNit*Pot - SCFos*Pot - SCNit*Fos*Pot$
SCError = 125.8477

Cuadro 9.6. Tabla del Análisis de Varianza para los datos presentados en el cuadro 9.4.

F. de V.	S. de C.	G1	C.M.	F _c	F _{5%}
Bloque	13.79297	3	4.597657	1.205606 NS	2.92
NIT	36.38867	2	18.19434	4.770952 *	3.32
FOSFORO	0.3457031	1	0.3457031	0.0906509NS	4.17
NIT*FOS	3.902344	2	1.951172	0.5116399NS	3.32
POTASIO	2.175781	1	2.175781	0.5705373NS	4.17
NIT*POT	7.96875	2	3.984375	1.04479NS	3.32
FOS*POT	23.86719	1	23.86719	6.258497 *	4.17
NIT*FOS*POT	6.115235	2	3.057617	0.8017739NS	3.32
ERROR	125.8477	33	3.813565		
TOTAL	220.4043	47		CV% = 9.442255	

Conclusiones :

- a. El ANDEVA demuestra con un 95 % de confianza que, existen diferencias significativas en el peso de planta entera obtenido por efecto del nitrógeno; así mismo, por efecto de la interacción de primer orden Fósforo*Potasio.
- b. El ANDEVA demuestra con un 95 % de confianza que, las diferencias en el peso de planta entera, obtenido por influencia de los factores principales Fósforo y Potasio; así como, las interacciones Nitrógeno*Fósforo, Nitrógeno*Potasio y Nitrógeno*Fósforo*Potasio, son no significativas.
- c. El ANDEVA demuestra con un 95 % de confianza que, el bloqueo realizado no contribuyó significativamente a reducir la magnitud del error experimental.

Procedimiento para realizar las pruebas de Rangos Múltiples en Experimentos Trifactoriales propiamente dicho

Para realizar la prueba de rangos múltiples es necesario calcular un error estandar específico para cada comparación. En el cuadro 9.7., se señalan los términos a calcular.

Cuadro 9.7. Diferentes errores estandares para las pruebas de rangos múltiples en Experimentos Trifactoriales propiamente dichos.

Comparaciones a realizar	Errores estandares
• Para diferentes niveles del factor A.	$Sy_{(A)} = \sqrt{CME/bcr}$
• Para diferentes niveles del factor B.	$Sy_{(B)} = \sqrt{CME/acr}$
• Para diferentes niveles del factor C.	$Sy_{(C)} = \sqrt{CME/abr}$
• Para la interacción AB.	$Sy_{(AB)} = \sqrt{CME/cr}$
• Para la interacción AC.	$Sy_{(AC)} = \sqrt{CME/br}$
• Para la interacción BC.	$Sy_{(BC)} = \sqrt{CME/ar}$
• Para la interacción ABC.	$Sy_{(ABC)} = \sqrt{CME/r}$

Para ilustrar el procedimiento estadístico se realizará la prueba de SNK para los factores nitrógeno, fósforo y potasio. Así mismo, para la interacción de primer orden Fósforo*Potasio. Es recomendable organizar la tabla de medias correspondiente, tal como se presenta en el cuadro 9.8.

Cuadro 9.8. Medias para los factores principales e Interacciones.

	k₁				k₂			
	n₁	n₂	n₃	PK	n₁	n₂	n₃	PK
P₁	19.59	21.36	19.35	20.10	22.25	21.24	19.76	21.08
P₂	21.36	23.68	20.00	21.68	19.47	20.71	19.35	19.84
NK	20.47	22.52	19.67	20.89	20.86	20.97	19.55	20.46

**** continuación del cuadro 9.8.

	NP	NP	NP	P
P₁	20.92	21.30	19.50	20.59
P₂	20.41	22.19	19.67	20.75
NK	20.66	21.74	19.61	20.67

Prueba de S.N.K. para el factor Nitrógeno

$$W_p = q_{\alpha; gle; "p"} * S_y \quad \text{donde:}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{CME}{pk}} \implies S_y = \sqrt{\frac{3.8135}{2*2*4}} \implies S_y = 0.4882$$

p = No. de medias involucradas en comparación

2	3
----------	----------

q 5% y 30gle	2.89	3.49
S_y	0.4882	0.4882
w_p	1.4108	1.7038

Cuadro 9.9. Ordenamiento de medias del factor Nitrógeno.

Categoría Estadística	Medias	n₂ 21.74	n₁ 20.66	n₃ 19.61	w_{p5} %
a	21.74	0	1.08NS	2.13*	1.70
ab	20.66	-	0	1.05NS	1.41
b	19.61	-	-	0	

Conclusiones :

En relación al efecto del nitrógeno, la prueba de SNK realizada, permite establecer tres categorías estadísticas diferentes: En primer lugar, el mayor peso de planta entera (21.74 ton/ha), es obtenido con 100 kg/ha de nitrógeno (**n₂**), seguido por 20.66 ton/ha, correspondiente a la influencia de 50 kg/ha de nitrógeno (**n₁**). El menor rendimiento se obtuvo al aplicar 150 kg/ha de nitrógeno (**n₃**).

Prueba de S.N.K. para el factor Fósforo

$$W_p = q_{\alpha; gle; "p"} * S_y \quad \text{donde:}$$

$$S_y = \sqrt{CME/nkr} \quad \Rightarrow \quad S_y = \sqrt{3.8135/3*2*4} \quad \Rightarrow \quad S_y = 0.3986$$

$$p = \frac{\text{No. de medias involucradas en comparación}}{2}$$

q 5% y 30 gle	2.89
S_y	0.3986
w_p	1.1519

Cuadro 9.10. Ordenamiento de medias del factor Fósforo.

Categoría		P_2	P_1	
Estadística	Media	20.75	20.59	$w_{P5\%}$
a	20.75	0	0.16	1.15
a	20.59	-	0	

Conclusiones :

La prueba de rangos múltiples realizada indica que : los rendimientos de 20.75 y 20.59 ton/ha., obtenidos por efecto de los niveles de Fósforo (P_1 y P_2), no muestran diferencias significativas entre sí.

Prueba de S.N.K. para el factor Potasio

$$W_p = q_{\alpha; gle; "p"} * S_y \quad \text{donde:}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{CME}{npr}} \implies S_y = \sqrt{3.8135 / 3 * 2 * 4} \implies S_y = 0.3986$$

$$p = \text{No. de medias involucradas en comparación}$$

$$2$$

$$\begin{array}{ll} q_{5\% \text{ y } 30 \text{ gle}} & 2.89 \\ S_y & 0.3986 \\ w_p & 1.1519 \end{array}$$

Cuadro 9.11. Ordenamiento de medias del factor Potasio.

Categoría		k_1	k_2	
Estadística	Medias	20.89	20.46	$w_{P5\%}$
a	20.89	0	0.43 NS	1.15
a	20.46	-	0	

Conclusiones :

La prueba de rangos múltiples realizada indica que : los rendimientos de 20.89 y 20.46 ton/ha., obtenidos por efecto de los niveles de Potasio (k_1 y k_2), no muestran diferencias significativas entre sí.

Prueba de S.N.K. para la Interacción Fósforo*Potasio

$$W_p = q_{\alpha; g; e; "p"} * S_y \quad \text{donde:}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{CME}{nr}} \implies S_y = \sqrt{\frac{3.8135}{3*4}} \implies S_y = 0.5637$$

p = No. de medias involucradas en comparación

2	3	4
---	---	---

q 5% y 30 gle	2.89	3.49	3.84
S_y	0.5637	0.5637	0.5637
w_p	1.6290	1.9673	2.1646

Cuadro 9.12. Ordenamiento de medias de la interacción Fósforo*Potasio.

Categoría Estadística	Medias	$p_2 k_1$	$p_1 k_2$	$p_1 k_1$	$p_2 k_2$	$w_p 5\%$
a	21.68	0	0.60NS	1.58NS	1.84*	2.16
a b	21.08	-	0	0.98NS	1.24NS	1.71
a b	20.10	-	-	0	0.26NS	1.62
b	19.84	-	-	-	0	

Conclusiones :

La prueba de SNK indica que, el conjunto de medias para la interacción Fósforo*Potasio pertenecen a una misma categoría estadística. Es decir, que no hay efecto de la interacción Fósforo*Potasio. Cualquiera de las combinaciones $p_2 k_1$; $p_1 k_2$; $p_1 k_1$; y $p_2 k_2$, inducen a obtener rendimientos estadísticamente iguales entre sí, con rangos entre 21.68 y 19.84 Ton/ha.

9.6. Diseño de Parcelas Subdivididas

Principios Generales e Importancia

La adición de un tercer factor mediante la división de las subparcelas de un diseño de parcelas divididas da lugar a un Diseño de Parcelas Subdivididas que suele ser bastante útil en un experimento de tres factores, a fin de facilitar las operaciones de campo o cuando resulta deseable mantener agrupadas combinaciones de tratamientos. El utilizar un diseño de parcelas subdivididas puede tener ventaja en cuanto a las operaciones físicas con las unidades experimentales, según la naturaleza de los factores estudiados. Sin embargo, la restricción adicional a la distribución aleatoria del tercer factor hace necesario calcular un tercer término del error, que se utiliza para probar los efectos principales del factor aplicado a la segunda división, así como todas las interacciones que incluye dicho factor. El proyecto puede tener ciertas ventajas en cuanto a las operaciones físicas con las unidades experimentales, pero la necesidad de un tercer término del error puede hacer bastante complicada la separación de medias.

Este arreglo es muy útil cuando se estudian tres factores y los niveles de algún factor necesitan unidades experimentales de área grande, o cuando se tiene interés en evaluar con mayor precisión los niveles de algún factor. Si A, B y C son los factores, los niveles del factor A necesitarán un área más grande y se requerirá evaluar los niveles del factor C con mayor precisión.

Las ventajas y limitaciones del diseño de parcelas subdivididas, son similares a las del diseño de parcelas divididas. La precisión de las comparaciones entre los tratamientos de la sub-subparcela es mayor, seguido por los tratamientos de la subparcela y luego por los tratamientos ubicados en la parcela principal, que son los que tienen la menor precisión. Por lo tanto, para la implementación de este diseño, debería asignarse el factor más importante en la parcela más pequeña y no en la más grande.

No es necesario tener una división adicional por cada factor. Si se tienen tres factores las combinaciones AB, pueden asignarse a las unidades completas y los niveles del factor C a la subunidades, o los niveles de A a las unidades completas y las combinaciones BC a las subunidades.

Las diferencias comparativas entre los trifactoriales propiamente dichos y el diseño de parcelas sub-divididas son similares a las descritas para los Bifactoriales Propiamente Dichos en relación al Diseño de Parcelas Divididas.

Azarización

Dado que el diseño de parcelas subdivididas es una extensión del diseño de parcelas divididas presentado en el acápite 8.10., para acomodar un tercer factor, cada subparcela de un diseño de parcelas divididas es de nuevo dividido en sub-subparcelas y la azarización de este último factor se realiza separadamente para cada subparcela. Teóricamente, la subdivisión podría continuar, esto es, cada sub-subparcela de un diseño de parcelas subdivididas puede ser dividida una vez más en sub-sub-subparcelas y niveles de un cuarto factor podrían ser establecidos aleatoriamente. Las consideraciones prácticas en términos del área total, el tamaño de las parcelas más pequeñas, limitan el número de factores que pueden ser incluidos en el experimento. La aplicación del procedimiento de azarización se ilustra en el esquema siguiente para un ejemplo 3*2*3, tomado de Little y Hills (1981).

CAPITULO 10.

PLANIFICACION DEL EXPERIMENTO DE CAMPO

10.1. Principios Generales e Importancia

El éxito que puede esperarse de cualquier trabajo experimental, la efectividad y validez de los resultados dependen fundamentalmente de la correcta planificación del trabajo de campo. La preparación del experimento a realizar implica la planeación del mismo, es decir, delinean en detalle cada una de las actividades que deberán seguirse, desde el planteamiento del problema hasta las etapas finales, de manera que sepamos de antemano el curso del trabajo a ejecutar; esto permitirá prever el desarrollo de los acontecimientos y adoptar a tiempo las medidas necesarias.

El punto de partida de la planeación es delimitar el problema objeto de estudio. Debe preguntarse: Cómo se puede resolver el problema? El trabajo de planeación del experimento implica la selección de los métodos y técnicas específicas que deben utilizarse, así como los equipos, insumos, recursos materiales, recursos humanos calificados y no calificados que exigen la realización del experimento.

Para la planeación del experimento de campo a realizar, se debe elaborar alguna metodología que permita iniciar y culminar la elaboración del conjunto de actividades que ordenadas de manera lógica y armónica constituirán la correcta planeación del experimento. La validez del trabajo científico investigativo depende de la seguridad del método utilizado y la exactitud de las observaciones realizadas. De ahí que, para recibir una información objetiva y científicamente fundamentada, es necesario que el experimento de campo asegure resultados exactos, veraces, reales. En este sentido, cada autor propone una serie de pasos diferentes entre sí aparentemente; sin embargo, todos tienen en común que se guían por los pasos del Método Científico. Consecuentes con este principio y con fines meramente docentes, en este texto se usarán las etapas fundamentales de la Experimentación Agrícola como guía para la Planeación del Experimento de Campo, ya que tales etapas son una aplicación del Método Científico en el trabajo práctico experimental.

Etapas Fundamentales de la Experimentación Agrícola

Las etapas sucesivas que lleva consigo el desarrollo de los trabajos de experimentación agrícola se establecen de acuerdo al criterio de Ivanov (1977), de la siguiente forma :

- 1.- Especificación del problema.
- 2.- Planteamiento de la experiencia.
- 3.- Ejecución de las operaciones de campo.
- 4.- Recolección y obtención de los datos relativos a los resultados.
- 5.- Interpretación de los datos numéricos sometiéndolos al análisis estadístico, para estimar su verdadero significado.

- 6.- Análisis económico de los resultados definitivos obtenidos, para aquilatar la conveniencia práctica de adoptar el tratamiento que mayores méritos haya demostrado como consecuencia de experiencia realizada.

Especificación del Problema

La especificación de un problema objeto de estudio, presupone una observación cuidadosa de los hechos relacionados directa o indirectamente con el problema. De la observación detenida de los hechos debe derivarse de manera clara y concisa el problema que se desea investigar. La observación es el procedimiento básico para la adquisición de conocimientos en la vida diaria, es una valiosa ayuda en el campo científico donde se utiliza para la obtención de la información primaria de los objetos y fenómenos, tanto para describirlos en sí como para formulación de los objetivos y las hipótesis empíricas o teóricas.

Esta etapa es de gran importancia y en la misma debe quedar bien definido el objetivo central del trabajo, ya que en la práctica debido a la complejidad del trabajo experimental pueden surgir algunos casos que desvén la atención del investigador y afecten la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Una vez que se ha definido el problema, éste se debe traducir en preguntas. "Al aumentar la carga vegetal por área (densidad) disminuye el rendimiento individual en el cultivo del tomate"? Porqué se produce este fenómeno?. Qué relaciones tiene con la nutrición mineral del suelo y la fertilización inorgánica que impone el hombre?. Es la localidad del experimento, representativa de la población definida?. Es el material experimental (variedad de cultivos por ejemplo) representativo de la población definida?., etc.

La explicación que se considere sobre estas y otras preguntas relativas nos llevan a la solución tentativa del problema.

También es importante considerar los antecedentes del problema ya que actualmente existen miles de centros experimentales y miles de investigadores en el mundo; de manera que, resulta muy difícil que un problema determinado no haya sido objeto de estudio y cuyos resultados no se hayan publicado en alguna revista científica. Esto nos permitirá conocer las investigaciones sobre el problema, en qué condiciones, dónde, cuándo, cómo y qué resultados se han obtenido. Esto nos ahorrará tiempo, recursos y evitará repetir el trabajo.

Si se especifica correctamente el problema a estudiar, se establecen determinadas interrogantes, suposiciones o hipótesis más o menos fundamentadas con las cuales el investigador tratará de verificar los efectos que desea estimar.

De ahí que el definir las hipótesis en estudio, implica el plantear de manera clara y explícita los objetivos que se persiguen al estudiar el problema y las razones para realizarlo. Estos objetivos se deben convertir en preguntas, las cuales se espera sean respondidas en el experimento. Los objetivos sirven de guía para el estudio y se deben responder al concluir el mismo. No se puede entender un objetivo sin conclusión ni una conclusión a la que se lleve en la investigación realizada, sin un objetivo previo al que responder. Al planverse los objetivos del estudio de manera precisa, sin ambigüedad, se está preparado para plantear más eficientemente su metodología experimental.

Planteamiento de la Experiencia

Esta etapa es de vital importancia en el experimento, la misma comprende desde la fijación del tamaño de la muestra, número de tratamientos, número de repeticiones, tamaño y forma de la parcela experimental, los tratamientos a utilizar, nivelación del terreno, hasta el plan de trabajo a seguir durante todo el desarrollo del experimento. En la misma, se selecciona el método estadístico a utilizar para dar respuesta al objetivo del experimento. Es muy importante esta etapa, pues de la planificación del experimento depende la calidad del resultado obtenido.

El cómo o de qué manera vamos a realizar el experimento comprende describir los métodos a emplear y el procedimiento de manera explícita. La selección de un procedimiento para la investigación depende en gran medida de los objetivos de la investigación. Son muchos y muy variados los aspectos a considerar al tratar de describir el procedimiento experimental en sí, por lo tanto en este texto abordaremos los aspectos más generales e importantes.

Gran parte del éxito de un experimento depende de la correcta selección de los tratamientos a establecer, de cuya evaluación cuantitativa y cualitativa se debe responder los objetivos planteados en el estudio. De ahí la importancia de definir los tratamientos experimentales lo suficientemente precisos y aplicarlos correctamente a las unidades experimentales. Si los tratamientos son variedades o especies, éstas deben ser representativas de la población definida.

Es posible que los tratamientos sean una expresión factorial, producto de la combinación de dos o más niveles, de dos o más factores en estudio. Hay que tener cuidado de no querer estudiar un elevado número de factores o bien niveles que no resultan prácticos, es decir cuya ejecución no sería realista. En ciertos casos de la experimentación factorial es conveniente el usar más de tres niveles de un factor en el cual se está interesado determinar la

forma de la curva de respuesta. Así mismo, puede ser conveniente hacer variar los niveles de algún factor en alguna proporción o cantidad constante, por ejemplo, estudiar niveles de: 0-50-100-150-200 kg/ha de nitrógeno en una especie cultivada.

La pregunta concreta de cuál es el número de tratamientos a estudiar ?, es un asunto muy relativo. Muchos factores pueden incidir, tanto económicos, agronómicos o estadísticos. Debe tenerse presente que la experimentación es un proceso continuo y sistemático de observaciones relativas a un fenómeno y por lo tanto no deben esperarse todas las respuestas a un problema a partir de un solo experimento. En algunos casos, por ejemplo, puede ser conveniente formar grupos de tratamientos y con cada grupo establecer un experimento independiente.

En cuanto a la selección del material experimental, de acuerdo a los objetivos del experimento, debe ser representativo de la población sobre la cual deseamos probar nuestros tratamientos.

En relación a la selección del Diseño Experimental a utilizar cabe remarcar que tal selección se hace fundamentalmente basado en los objetivos del estudio y por norma general es recomendable que se seleccione el Diseño Experimental más simple que corresponda con los objetivos planteados y con el grado de presición deseado. Es sumamente importante que el experimentador esté convencido de los tratamientos a estudiar y el Diseño Experimental a usar, lo cual permitirá responder a los objetivos del trabajo.

Otros aspectos prácticos del planteamiento de la experiencia a realizar son aquellos relacionados con el tamaño, forma y orientación de la parcela experimental, el número de repeticiones a establecer y las defensas internas y externas a implementar. Hay que considerar que para cada cultivo existe un rango para escoger el tamaño de la parcela, de manera que definir el tamaño y forma de la parcela experimental dependerá de la naturaleza del material experimental, el número de tratamientos y las características del terreno disponible (heterogeneidad, topografía, área en sí), etc.

La experiencia de otros experimentos similares es de incalculable valor para tomar la mejor decisión en relación al tamaño, forma y orientación de la parcela, así como las defensas internas y externas que ayudarán a evitar la competencia mutua entre los tratamientos.

En la determinación del número de repeticiones a establecer en el experimento tiene fundamental importancia la precisión requerida, expresada ésta como un coeficiente de variación, como un indicador de presión (P %) o mejor aún, como una magnitud en

porcentaje del rendimiento promedio general esperado, tal magnitud representa la diferencia que se desea detectar como significativa entre cualquier par de tratamientos, (D%).

En relación a la pregunta de cuál debe ser la magnitud de las diferencias a considerar como significativa (D%), tenga en cuenta que esto ya es un aspecto estrictamente práctico y económico, relativo al problema objeto de estudio. Hay que tener presente que, por ejemplo, 25% de diferencias puede ser demasiado para un cultivo, pero muy poco en otro caso, esto dependerá entre otras causas del grado de tecnología, productividad ya existente en determinado cultivo y de la rentabilidad del mismo. Debe destacarse que entre menor sean las diferencias significativas esperadas, existe la tendencia real a aumentar el número de repeticiones.

El planteamiento de la experiencia también implica el definir de manera explícita las variables o características que se van a medir o contar y que permitirán evaluar los efectos de los tratamientos; así mismo, detallar como se van a medir. Es indispensable que las variables que se determinen sean relevantes para responder a los objetivos planteados. Es posible que algunas variables serán evaluadas a partir de un área de muestreo y con algún período de tiempo definido, tanto el área de muestreo como el intervalo es importante detallarlos y estar debidamente fundamentados.

Es necesario designar claramente cada tratamiento a su respectiva parcela experimental, esto debe plasmarse sin ninguna ambigüedad en el plano de campo respectivo. Así mismo es sumamente importante diseñar las hojas en que se garantice que todas las evaluaciones estén completas y que se anotarán correctamente según el tratamiento correspondiente a cada parcela experimental. No debe subestimarse este aspecto ni hacerse anotaciones que posteriormente (en la oficina por ejemplo), van a necesitar arreglos que pueden llevarnos a cometer errores vulgares, cuya consecuencia puede ser la pérdida de una parte sustancial o total de los datos obtenidos.

En esencia, el Planteamiento de la Experiencia significa que se traza la estrategia a seguir durante el desarrollo del experimento establecido y los requerimientos que se presentarán. El Planteamiento de la Experiencia será la guía que garantice la calidad misma del trabajo experimental, aún antes de establecerlo, es el plan de trabajo a desarrollar.

Ejecución de las Operaciones de Campo

Puede considerarse como la conducción del experimento propiamente dicho y consiste en aplicar el Plan de Trabajo establecido en el Planteamiento de la Experiencia. Es evidente que no todo puede preverse de manera perfecta, pero siempre será mejor adoptar modificaciones sobre la marcha ante hechos imprevistos, que implementar muchas

actividades de forma improvisada. Esta etapa comprende la adopción de cuantas precauciones sean necesarias para asegurar la perfección del trabajo a fin de evitar influencias extrañas a aquellos cuyo efecto se está analizando.

Como considera usted que se deben ejecutar las operaciones de campo?

Muchos de los errores en el trabajo experimental son la expresión de deficiencias y errores en la ejecución técnica del conjunto de actividades que acompañan al experimento de campo; de ahí la importancia o necesidad de ejecutarlas correctamente. Es necesario mantener los siguientes principios al ejecutar las operaciones de campo: **a) Calidad; b) Poca duración; c) Simultaneidad; d) Igualdad.** Tales principios, aseguran guardar la comparatividad de los tratamientos, de los que pueden esperarse resultados veraces y conclusiones válidas.

Recolección de los Datos relativos a los resultados

Esta etapa se desarrolla en parte a la par con el desarrollo del experimento, debido a que para el investigador, en muchos casos, le interesa ir haciendo evaluaciones parciales a algunas características del cultivo; por ejemplo altura de planta, en determinados momentos y finaliza con la recolección de los datos de cosecha, que en muchas oportunidades se valoran cuantitativamente dependiendo del objetivo del experimento.

La determinación de la calidad suele ser más difícil y presentar aspectos más variados. En general se presentan dos formas diferentes: 1) Por caracteres externos, casi exclusivamente morfológicos; 2) Por el contenido o riquezas de productos útiles.

En el caso de las frutas, hortalizas y la caña de azúcar, se utiliza mucho la caracterización con fines industriales. Los tratamientos ensayados pueden tener influencia sobre la riqueza en sacarosa, en la pureza de los jugos, o el contenido de sólidos solubles expresados como °B (grados brix), factores de primordial interés para el aprovechamiento de la materia prima en la industrialización y de mayor importancia en muchas ocasiones, que el rendimiento cuantitativo del cultivo en estudio.

Es recomendable en esta etapa el máximo grado de precaución. Debe darse el tiempo necesario para cada actividad, debe evitarse la fatiga en la toma de datos comprobar inmediatamente aquellas observaciones que parecen estar fuera de lugar. Cuando sea necesario copiar los datos, deben comprobarse inmediatamente los números copiados con los números originales para evitar equivocaciones.

Análisis Estadístico e Interpretación de los datos numéricos, para estimar su verdadero significado

Para eliminar la influencia del azar y determinar el verdadero valor de las diferencias observadas es necesario someter los datos numéricos al análisis estadístico, empleando algunos de los métodos de la Biometría, para determinar en que medida las discrepancias apreciadas entre los resultados se deben al efecto de los distintos tratamientos en estudio.

Es necesario conocer, saber y dominar los aspectos relacionados a los métodos de análisis estadísticos que se necesitarán para el análisis e interpretación de los resultados experimentales a obtener. Si el procesamiento estadístico se va a hacer con una computadora, es recomendable conocer si existen los programas necesarios para el análisis o bien existen, pero tienen algunas restricciones en cuanto a la organización de los datos, etc.

Análisis Económico de los resultados obtenidos

Se emite un criterio en cuanto a la importancia de este aspecto; ya que a medida que se vaya perfeccionando el sistema de organización y control de la economía del país, esta etapa cobrará mayor importancia ya que no tiene ningún sentido aumentar la producción o la productividad a costa del aumento en los costos de la misma. Es de destacar que en nuestro país esta etapa tiene una gran importancia para definir que es lo que realmente debemos recomendar a la producción, que ofrezca mayor rendimiento con menos costos ya que los fines fundamentales de la experimentación agrícola aplicada, deben ser estrictamente prácticos. Esto está estrechamente vinculado con los sistemas de producción e investigación que prevalezcan en el país.

Es conveniente solicitar los consejos de uno o más colegas calificados tanto en el análisis estadístico como el económico. Sus sugerencias pueden revelarnos aspectos valiosos que posiblemente pasamos inadvertidos. **Es claro que para enriquecer el trabajo experimental que se va a realizar, tales consejos, deben solicitarse antes de empezar el experimento y nunca después de concluida la fase de campo.**

10.2. Premisas para la elaboración del Anteproyecto Experimental

Todo experimento de campo debe ser planificado y ejecutado de manera que se obtengan resultados Típicos y Exactos. En este sentido, la propia fundamentación de causas y efectos del problema objeto de estudio, es uno de los momentos más importantes en la planificación experimental. Para alcanzar el objetivo propuesto, de la manera más racional, conviene planificar los experimentos teniendo definido, tanto como sea posible, cada paso en concreto a seguir.

La línea directriz para la elaboración del anteproyecto debe ser el **objetivo del experimento**, pues la planificación y evaluación del mismo no sólo consiste en establecer y cumplir reglas estadísticas, sino también en formular los problemas a través de preguntas lo más exactas posibles y encontrar una respuesta concreta a estas preguntas. Para todo esto es de singular importancia el juicio especializado del experimentador responsable del proyecto, en conjunto con otros especialistas de otras disciplinas; ya que, en esencia, la investigación representa un trabajo de equipo interdisciplinario, que implica tanto la aplicación de métodos estadísticos, agronómicos, administrativos, como buen sentido común y tacto para la toma de decisión en el campo, etc.

La elaboración del anteproyecto de los experimentos de campo, del tipo que fueren, constituyen una actividad metodológica sustantiva inherente a todo proceso de generación y transferencia de tecnología.

El objetivo en sí de la planificación de los ensayos, consiste en llevar los problemas, identificados mediante alguna metodología de diagnóstico, hacia soluciones óptimas con un gasto mínimo. La elaboración del anteproyecto incluye, entre otras premisas, tanto las de Políticas Institucionales, como Metodológicas y Organizativas :

Premisas Político-Institucionales :

- Determinación de los problemas y campos de aplicación.
- Concreción de estrategias pre-establecidas.
- Decidir sobre la magnitud y los costos de los proyectos a ejecutar.
- Determinación de prioridades, etc.

Premisas Metodológicas :

- Determinar los procedimientos y las posibles soluciones que son objeto de experimentación (los tratamientos).
- Determinar los factores que influirán sobre la precisión necesaria para alcanzar el objetivo propuesto en el ensayo.
- Determinar el tipo y método de la estructuración del ensayo, de su ejecución y evaluación.
- Planificación de la toma de datos, su registro y su análisis estadístico, etc.

Premisas Organizativas :

- Planificación del desarrollo del trabajo y distribución del mismo.
- Asegurar la supervisión del trabajo.
- Encontrar y organizar el (los) equipo(s), materiales y auxiliares necesarios.
- Determinar el trabajo a realizar y ajustarlo a la capacidad de trabajo disponible.
- Concretar un calendario de actividades a ejecutar (lugar, fecha, horario), etc.

El término “**Anteproyecto**”, es una denominación relativa a la fase de preparación del proyecto propuesto. Supone que aún debe ser sometido a revisión para su aprobación. Esto implica que, un equipo interdisciplinario de carácter técnico, conformado por diversos especialistas (estadístico, extensionista, economista, el técnico encargado del Anteproyecto y otros), analizan a profundidad la propuesta presentada y juzgan con alto rigor científico la validez de la misma. Las modificaciones propuestas, como ocurre en la mayoría de los casos, se le incorporan al anteproyecto propuesto inicialmente; de lo cual, se deriva una propuesta enriquecida, que, ya debidamente aprobada por la instancia u órgano institucional establecido, se convierte en el “**Proyecto Experimental**”, listo para llevarlo a la fase de su ejecución.

En síntesis, el proyecto íntegro que se debe elaborar implica un detallado registro donde se incluirá toda la información necesaria para la realización exitosa del experimento, es decir, el **anteproyecto debe reflejar de forma transparente**, entre otras cosas :

- 1- Título.
- 2- El Problema objeto de estudio y las hipótesis a verificar.
- 3- El objetivo del experimento.
- 4- El cultivo y la(s) variedad(es) a usar o evaluar en el experimento, incluido una breve descripción de la(s) misma(s)
- 5- La rotación de siembra en que se establece el experimento. Es necesario la valoración de los datos y con respecto a la repetición del experimento.
- 6- Datos sobre la historia agrotécnica del lote experimental seleccionado.
- 7- Plano a escala; esto es, señalar exactamente la ubicación del experimento con respecto a las direcciones geográficas; el lugar de las réplicas del experimento y de los tratamientos en cada réplica, mediante una codificación asignada; se anota el área de siembra total del experimento, el área útil para cada tratamiento de cada réplica. Así, especificar las dimensiones de las parcelas, los caminos y las defensas internas y externas.
- 8- Plan de fertilización del experimento, tipos y cualidades de los fertilizantes a usar, tiempo y modo de aplicación.
- 9- Régimen de cultivo de las plantas, de secano o de riego. Si es de riego, especificar volumen, tiempo y tipo de riego.

- 10- Establecimiento de las parcelas para el experimento: tiempo, equipos y formas.
- 11- Datos detallados sobre el material de siembra y la norma de siembra.
- 12- Epoca y método de siembra del experimento.
- 13- Se planifican las observaciones fenológicas necesarias, las observaciones de los factores climáticos y otros, que pudieran tener influencia sobre el desarrollo de las plantas. Además, se anota qué pruebas se van a tomar cuándo y cómo, para hacer los análisis planificados, antes de establecer el experimento y después de concluido, si es necesario.
- 14- Se hace el inventario de los materiales y equipos más necesarios para el establecimiento del experimento.

Todos los puntos señalados son necesarios puesto que sirven como guía durante la ejecución práctica del experimento.

La elaboración del proyecto experimental por el procedimiento recién descrito, se debe hacer cuando el ensayo se establezca en un campo experimental ya formado de un Instituto de Investigación, donde los lotes experimentales están delimitados y las rotaciones de cultivo concebidas. Cuando se establecen los ensayos de campo sobre un área experimental nueva (al organizar un nuevo campo experimental), antes de preparar el proyecto de cada experimento, se debe parcelar y señalar los límites de las futuras parcelas en el nuevo campo experimental.

10.3. Guía Metodológica para la elaboración del Anteproyecto Experimental

A manera de ilustración metodológica-docente, se presenta a continuación un anteproyecto elaborado, que además corresponde al trabajo de curso que debe implementarse para la asignatura de Experimentación Agrícola.

ANTEPROYECTO DE TRABAJO EXPERIMENTAL PARA LOS ESTUDIANTES DE EXPERIMENTACION AGRICOLA

"Efecto de diferentes niveles de nitrógeno y la densidad de siembra sobre el Crecimiento, Desarrollo y Rendimiento en Chilote del cultivo del Maíz (Zea mays L.)"

INTRODUCCION

El cultivo del maíz (Zea mays L.), representa en nuestro país una importante fuente alimenticia para la población nicaragüense, ya que tiene diferentes usos en la preparación de alimentos de las más variadas formas. Junto con el frijol común (Phaseolus vulgaris L.), constituye la dieta básica para la población nicaragüense; proporciona cerca del 24 y 17 por ciento de las calorías y proteínas en su alimentación.

En Nicaragua, el maíz se cultiva en todas las regiones del país, teniendo un amplio rango de adaptación a diferentes condiciones ambientales de clima y suelo, utilizándose en zonas planas como las del pacífico una tecnología avanzada, (maquinaria, riego, etc.). El área cultivada de maíz se ha incrementado aproximadamente en un 70 % desde 1960. Sin embargo, los rendimientos obtenidos son muy bajos, debido a deficiencias en el manejo agronómico.

Por otra parte, la mayoría de los suelos en que es cultivado el maíz son deficientes en nitrógeno y fósforo disponible para las plantas; de ahí que para obtener altos rendimientos, el cultivo del maíz es dependiente de aplicaciones de fertilizantes, especialmente nitrogenados. La eficiencia del uso del fertilizante nitrogenado es un aspecto complejo, el mismo interactúa con otros factores como : La dosis o cantidad a aplicar, la densidad de siembra, el fraccionamiento, el método de aplicación, el tipo de suelo y otros.

Actualmente se le da una gran importancia a la investigación sobre el uso eficiente del nitrógeno en el maíz sometido a diferentes factores, para ser aplicables en la producción de granos o chilotes. Por otro lado, tiene especial importancia implementar el presente trabajo experimental para la formación académica de los nuevos profesionales. En este sentido, la Escuela de Producción Vegetal se propone poner en práctica los conocimientos impartidos a los estudiantes en la asignatura de Experimentación Agrícola.

OBJETIVOS

- Determinar el efecto de 3 diferentes densidades de siembra sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento en chilote del cultivo de maíz (Zea mays L.).
- Determinar el efecto de 3 niveles de nitrógeno en el crecimiento, desarrollo y rendimiento en chilote en el cultivo del maíz (Zea mays L.).
- Determinar el efecto de la interacción de los factores sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento en chilote en el cultivo de maíz (Zea mays L.).
- Determinar el efecto de la covariable (No. de plantas/P.U) sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento en chilote en el cultivo de maíz (Zea mays L.).
- Que los estudiantes apliquen todos los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura de Experimentación Agrícola.

MATERIALES Y METODOS

1. Datos generales

1.1- Localización del experimento : El ensayo se establecerá en los campos destinados a la docencia de la Escuela de Producción Vegetal de la FAGRO-UNA.

1.2- Participantes:

Responsable	: Docente encargado de cátedra.
Asistente	: Docente encargado de clases prácticas.
Participan	: Estudiantes de la Escuela de Producción Vegetal de 4to. año organizados en sub-grupos de trabajo.

1.3- Fecha de inicio : _____.

1.4- Fecha de finalización : _____.

2. Procedimiento Experimental

2.1- Tratamientos.

Los tratamientos a estudiar, arreglo de un bifactorial 3 x 3, están dados en el cuadro 10.1.

2.2- Diseño Experimental

El ensayo se establecerá en un diseño de Bloques Completos al Azar (**BCA**), con 4 repeticiones.

a- Parcela Experimental (**P.E**)

La **P.E.** estará constituida por 8 surcos de 10 metros de longitud, separados cada uno 50 cm entre sí.

b- Parcela Util (P.U.)

La P.U. estará constituida por 6 surcos de 8 metros de largo cada uno.

c- El área de muestreo para la toma de datos de crecimiento y desarrollo estará dada por 10 plantas tomadas al azar en la P.U.

2.3- Dimensiones del ensayo: Se presentan en detalle en el plano de campo (adjunto).

- a) Area de la P.E. = $4 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 40 \text{ m}^2$
- b) Area de la P.U. = $3 \text{ m} \times 8 \text{ m} = 24 \text{ m}^2$
- c) Area de la repetición = $40 \text{ m}^2 \times 9 = 360 \text{ m}^2$
- d) Area de 4 repeticiones = $360 \text{ m}^2 \times 4 = 1440 \text{ m}^2$
- e) Area entre repeticiones = $1 \text{ m} \times 36 \text{ m} \times 3 = 108 \text{ m}^2$
- f) Area total del experimento = 1548 m^2

2.4- Distribución de los tratamientos

La distribución se efectuará de acuerdo al proceso de azarización de un B.C.A; la distribución se presenta en el plano de campo (adjunto).

3. Manejo Experimental

El conjunto de actividades que constituirán el manejo del experimento, están expresadas en detalle en el **Cronograma de Actividades**, (adjunto).

3.1- La preparación del suelo será mecanizada siguiendo el sistema de labranza convencional, el suelo será desinfectado con furadán al 5% a razón de 40 kg/ha., aplicado al fondo del surco.

3.2- Se tomarán las muestras de suelo, antes de la siembra, para realizar el análisis químico y Físico del suelo en el lote experimental. El total de muestras será de 5 en el campo.

3.3- La siembra será manual, al golpe en hileras o surcos, separados entre sí a 20 pulgadas; se establecerá inicialmente una alta densidad poblacional (número de plantas por unidad de área).

3.4- La fertilización fosfórica y potásica, se aplicará toda en el momento de la siembra, las cantidades a usar serán las correspondientes a formulaciones comerciales como 10-30-10 ó 12-30-10, a razón de dos quintales por manzana equivalente a 2.4 qq/ha. La fertilización nitrogenada, siendo un factor objeto de estudio se aplicará en dosis de 50kg/ha, 100kg/ha y 150kg/ha fraccionados de la siguiente forma :

- a) El 50% se aplicará a los 15 días después de emergencia.
 - b) El resto a los 30 días después de emergencia.
- La fuente de nitrógeno a usar será : Urea, 46% de Nitrógeno.

3.5- El control de malezas se hará manual cuando las circunstancias lo requieran, siendo necesario mantener el área experimental razonablemente libre de malezas durante los primeros 40 días del ciclo vegetativo del cultivo.

3.6- Raleo: El raleo va a depender de las densidades poblacionales en estudio, esta actividad se realizará 15 días después de emergencia, dejando las siguientes densidades:

d_1 = 136125 plantas/Mz. Significa ralear a una distancia de 4 pulgadas entre planta y planta; dejando una planta por golpe.

d_2 = 68060 plantas/Mz. Significa ralear a una distancia de 8 pulgadas entre planta y planta; dejando una planta por golpe.

d_3 = 45370 plantas/Mz. Significa ralear a una distancia de 12 pulgadas entre planta y planta; dejando una planta por golpe.

3.7- Las aplicaciones de riego se harán calendarizadas, una vez por semana, cuando el cultivo lo requiera. Se aplicarán dos horas consecutivas de riego, que aportarán aproximadamente 50 mm de agua.

3.8- El control de plagas y enfermedades será de acuerdo al programa establecido en el Cronograma de Actividades del manejo experimental*.

3.9- La variedad de siembra será la **NB-6**, de ciclo intermedio, y tolerante al achaparramiento.

3.10- La cosecha será manual cuando el chiloteo esté plenamente establecido; esto es, cuando el cultivo tenga aproximadamente 55-60 días después de emergencia.

4. Variables a medir

4.1- Sobre el crecimiento y desarrollo

Quince días después de la emergencia se procederá a establecer las poblaciones definitivas en cada parcela experimental.

* Método tradicional de planificar el control de plagas y enfermedades y no mediante el manejo de poblaciones (concepto MIP).

Para los datos de crecimiento y desarrollo, se procederá a tomar 10 plantas al azar de la P.U., en las que se medirán los datos a 8 días de intervalo entre sí, hasta el momento del chiloteo. Las variables a medir serán las siguientes :

- a. Altura de plantas se medirá en cm desde la superficie del suelo hasta la superficie de la hoja de mayor desarrollo.
- b. El diámetro del tallo en cm, a la altura del cuarto entrenudo.
- c. Se contará el número de hojas verdaderas por plantas.
- d. Se determinará el área foliar midiendo el largo y el ancho de hoja en cm.
- e. Se anotarán los días de floración (floración inicial) y días de finalización de la floración.
- f. Se anotará el número de plantas totales por P.U., específicamente el número de plantas dañadas y no dañadas, con el fin de estimar el porcentaje de daño por plagas ó enfermedades. La variable en sí se constituirá mediante el cálculo del número de plantas dañadas/número de plantas totales por cien, ($No. PD/No PT$) * 100.
- g. Se contará el número de plantas acamadas por P.U., con el fin de estimar el porcentaje de acame.
- h. Se medirá la longitud de la espiga al momento de la cosecha del chilote.

4.2. Sobre el rendimiento

- a. Se contará el número de plantas cosechadas.
- b. Peso del chilote (gr) dañados y no dañados en la P.U. de cada tratamiento, al momento de la cosecha.
- c. Longitud del chilote (cm) al momento de la cosecha, tomándose 10 chilotas al azar de la P.U.
- d. Se anotará el número de chilotas totales cosechados de la P.U.
- e. Se anotará el número de chilotas dañados y no dañados por P.U.
- f. Se determinará el peso de brácteas y de chilote sin brácteas, tomando una muestra al azar de 10 chilotas por P.U., al momento de la cosecha.

4.3. Análisis Estadístico a realizar

Se realizarán Análisis de Varianzas para las variables del rendimiento; así como, se realizarán Análisis de Correlación para los componentes del rendimiento. También se realizarán las separaciones de medias por S.N.K. para cada uno de los factores y la posible interacción entre los mismos.

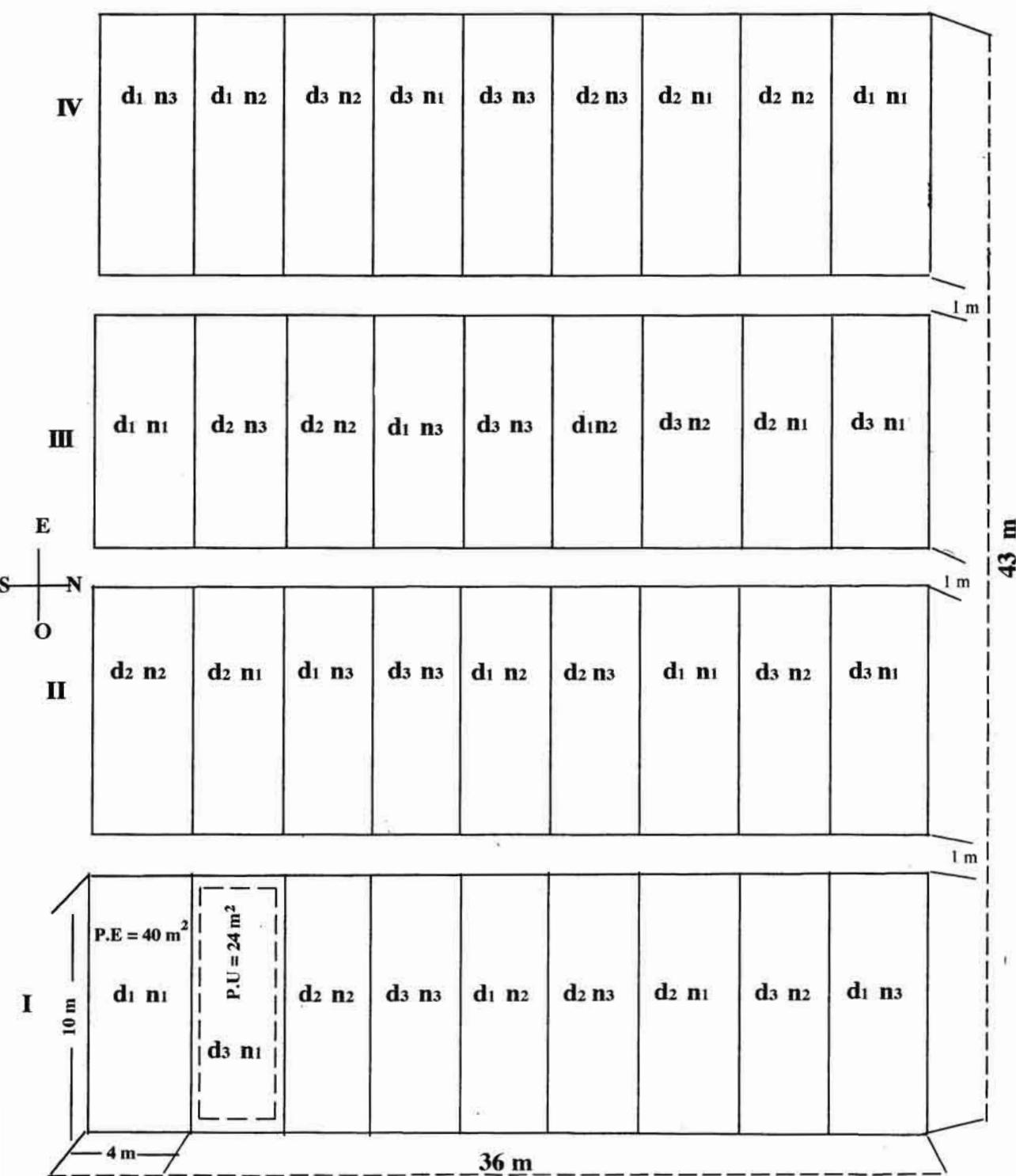
Cuadro 10.1. Descripción de los tratamientos objeto de estudio como resultado del arreglo factorial de 3 densidades y 3 dosis de Nitrógeno a aplicarse en ensayo experimental de maíz (Zea mays L.). Área experimental de la E.P.V., 1993.

Tratamientos	Densidad (plantas/Mz)	Cantidad de N (kg/ha)
1. $d_1 \ n_1$	136125	50
2. $d_1 \ n_2$	136125	100
3. $d_1 \ n_3$	136125	150
4. $d_2 \ n_1$	68060	50
5. $d_2 \ n_2$	68060	100
6. $d_2 \ n_3$	68060	150
7. $d_3 \ n_1$	45370	50
8. $d_3 \ n_2$	45370	100
9. $d_3 \ n_3$	45370	150

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL MANEJO EXPERIMENTAL

ACTIVIDADES	MAYO	JUNIO	DESCRIPCION	INSUMOS	CANTIDAD	COSTOS
MUESTREO DEL SUELO PARA ANALISIS QUIMICO						
PREPARACION DEL SUELO (ARADO)						
GRADEO, NIVELACION Y RAYADO DEL TERRENO						
DELIMITAR EL AREA EXPERIMENTAL						
DSINFECCION Y FERTILIZACION DEL TERRENO			FURADAN AL 5 % COMPLETO	40 Kg/Ha. 2 QQ/Mz.		
SIEMBRA DEL ENSAYO DE MAIZ			SEMILLA	BOLSA DE 50 LBS.		
RALEO DEL ENSAYO DE MAIZ 8 DIAS DESPUES DE EMERGENCIA						
CONTROL DE MALEZAS Y APORQUE						
FRACCIONAMIENTO DEL NITROGENO			UREA	50 Kg.		
RIEGO						
CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES						
TOMA DE DATOS DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO						
COSECHA Y TOMA DE DATOS SOBRE RENDIMIENTO (CHILOTE)						

PLANO DE CAMPO



HOJA PARA TOMA DE DATOS DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO**TITULO DEL EXPERIMENTO :** _____**BLOQUE No :** _____ **TRATAMIENTO :** a b **FECHA :** _____**TOMA DE DATOS No :** _____ **DIAS DESPUES DE EMERGENCIA :** _____**VARIABLES DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO**

NO DE PLANTA	ALTURA DE PLANTA	DIAMETRO DE PLANTA	No DE HOJAS POR PLANTA	No DE PLANTAS SANAS POR P.U.	No DE PLANTAS DAÑADAS POR P.U.
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
X				***	***

OBSERVACIONES: __________

*** : UN SOLO DATO; TOMADO AL AZAR POR P.U.

HOJA PARA TOMA DE DATOS DE COMPONENTES DEL RENDIMIENTO**TITULO DEL EXPERIMENTO :** _____**BLOQUE No :** _____ **TRATAMIENTO : a b** **FECHA :** _____**TOMA DE DATOS No :** _____ **DIAS DESPUES DE EMERGENCIA :** _____**VARIABLES DE COMPONENTES DEL RENDIMIENTO**

NO DE CHILOTE	LONGITUD DE CHILOTE	DIAMETRO DE CHILOTE	PESO DE BRACTEAS	PESO DE CHILOTE SIN BRACTEAS	No DE PLANTAS POR P.U.
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
—X—					

OBSERVACIONES: _____

HOJA PARA TOMA DE DATOS DEL RENDIMIENTO**TITULO DEL EXPERIMENTO :** _____**BLOQUE No :** _____**FECHA :** _____**TOMA DE DATOS No :** _____**DIAS DESPUES DE EMERGENCIA :** _____**VARIABLES DEL RENDIMIENTO A LA COSECHA**

TRATAMIENTOS	No DE CHILOTES SANOS	PESO DE CHILOTES SANOS	No DE CHILOTES DAÑADOS	PESO DE CHILOTES DAÑADOS	PESO TOTAL DE CHILOTES
a ₁ b ₁					
a ₁ b ₂					
a ₁ b ₃					
a ₂ b ₁					
a ₂ b ₂					
a ₂ b ₃					
a ₃ b ₁					
a ₃ b ₂					
a ₃ b ₃					
— X					

OBSERVACIONES: _____

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1.	Acerca de la Prueba de Significancia Estadística.	20
Cuadro 3.1.	Análisis de dispersión para los valores del rendimiento potencial obtenido (kg/p.e.). Alemán M., (1990)	35
Cuadro 3.2.	Componentes de Varianzas : Varianzas no ponderadas (V) y Varianzas ponderadas (V'), para el diseño de B.C.A. Koch y Rigney, (1951).	36
Cuadro 3.3.	Logarítmos de las parcelas condicionales y de las varianzas unitarias correspondientes al experimento de campo establecido en B.C.A.	37
Cuadro 3.4.	Elementos necesarios para el cálculo del coeficiente de Heterogeneidad del suelo.	37
Cuadro 3.5.	Análisis de dispersión para los valores del rendimiento potencial obtenido, (kg/p.e). Pedroza H., (1985).	38
Cuadro 3.6.	Componentes de varianzas: Varianzas no ponderadas (V), y Varianzas ponderadas (V') para el D.P.D. Koch y Rigney, (1951).	39
Cuadro 3.7.	Logarítmos de las parcelas condicionales y las varianzas unitarias, correspondientes al experimento establecido en Diseño de Parcelas Divididas.	40
Cuadro 3.8.	Elementos necesarios para el cálculo del coeficiente de heterogeneidad del suelo.	40
Cuadro 3.9.	Análisis de dispersión para el rendimiento (Kg/u.b.). Parcelas de 3 m. de longitud. Pedroza H., (1990).	41
Cuadro 3.10.	Componentes de Varianzas: Varianzas no ponderadas (V) y Varianzas ponderadas (V'), para los ensayos de uniformidad. Koch y Rigney, (1951).	44
Cuadro 3.11.	Ponderación de las Varianzas no ponderadas para el ensayo de uniformidad con el cultivo del Sorgo. Pedroza H., (1990).	44
Cuadro 3.12.	Elementos necesarios para el cálculo del coeficiente de heterogeneidad del suelo partiendo de los datos experimentales del ensayo de uniformidad con el cultivo del Sorgo.	45

Cuadro 4.1.	Datos del rendimiento obtenido de un Ensayo de Uniformidad.	
	Reyes C., (1982).	47
Cuadro 4.2.	Tamaño óptimo de la parcela experimental para diversos cultivos.	
	Reyes C., (1982).	50
Cuadro 4.3.	Pérdida del área experimental al formar defensas internas de la P.E. alargada.	
	Ivanov Z., (1977).	51
Cuadro 4.4.	Coeficientes de exactitud (Sx%), obtenidos para diferentes formas en estudio para un mismo tamaño de parcela experimental. Resultados promedios trianuales en Sorgo.	
	Pedroza H., (1991).	52
Cuadro 5.1.	Presentación del ANDEVA.	
	Caballero W., (1975).	71
Cuadro 6.1.1.	Generalización de los datos para un D.C.A.	
	.....	75
Cuadro 6.1.2.	Tabla del ANDEVA para un D.C.A.	
	.....	76
Cuadro 6.1.3.	Peso de jugo (en g) obtenido para diferentes variedades de tomate industrial.	
	.....	76
Cuadro 6.1.4.	Ánálisis de varianza del peso de jugo (en g) para los datos presentados en el cuadro 6.1.3.	
	.....	78
Cuadro 6.1.5.	Rendimiento de grano del arroz bajo diferentes tipos, dósis, y tiempo de aplicación de diferentes herbicidas post-emergentes.	
	.....	79
Cuadro 6.1.6.	Ánálisis de varianza para datos del rendimiento de grano (kg/ha) presentados en el cuadro 6.1.5.	
	.....	81
Cuadro 6.2.1.	Generalización de los datos para un B.C.A.	
	.....	88
Cuadro 6.2.2.	Tabla del ANDEVA para un B.C.A.	
	.....	89
Cuadro 6.2.3.	Diámetro ecuatorial (en cm) obtenido para diferentes variedades de tomate industrial.	
	.....	90
Cuadro 6.2.4	Ánálisis de varianza del diámetro ecuatorial (en cm) para los datos presentados en el cuadro 6.2.3.	
	.....	91
Cuadro 6.2.5.	Cálculo de los valores críticos de Duncan para diferentes rangos de comparación.	
	.....	92

Cuadro 6.2.6. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de Duncan.	93
Cuadro 6.2.7. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de Tukey.	94
Cuadro 6.2.8. Cálculo de los valores críticos de S.N.K. para diferentes rangos de comparación.	95
Cuadro 6.2.9. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de S.N.K.	96
Cuadro 6.3.1. Tabla del ANDEVA para un D.C.L.	104
Cuadro 6.3.2. Rendimiento de grano de 7 variedades de Maíz. Reyes C., (1982).	105
Cuadro 6.3.3 Análisis de varianza del rendimiento de grano para los datos presentados en el cuadro 6.3.2.	107
Cuadro 6.3.4. Cálculo de los valores críticos de S.N.K. para diferentes rangos de comparación.	108
Cuadro 6.3.5. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de S.N.K.	109
Cuadro 7.1. Medias de tratamientos del peso de jugo (g) de cinco variedades de tomate industrial.	113
Cuadro 7.2. Significancia estadística detectada de acuerdo a la prueba de la D.M.S.	114
Cuadro 7.3. Significancia estadística detectada de acuerdo a la prueba de Dunnet.	115
Cuadro 7.4. Cálculo de los valores críticos de Duncan para diferentes rangos de comparación.	120
Cuadro 7.5. Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de Duncan.	121

Cuadro 7.6.	Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos, para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de Tukey.	122
Cuadro 7.7.	Cálculo de los valores críticos de S.N.K. para diferentes rangos de comparación.	124
Cuadro 7.8.	Comparación de cada media de tratamiento con cada una de las medias de los demás tratamientos para determinar las diferencias significativas de acuerdo al criterio de S.N.K.	124
Cuadro 7.9.	Ánalisis comparativo de la significancia estadística obtenida para una misma comparación de medias realizada por el método de Duncan, Tukey y S.N.K.	125
Cuadro 7.10.	Totales de tratamientos y coeficientes ortogonales para cada compración planeada.	129
Cuadro 7.11.	Partición ortogonal de los tratamientos comparados del experimento sobre variedades de tomate industrial.	130
Cuadro 8.1.	Efectos Simples, Principales y de Interacción entre factores.	134
Cuadro 8.2.	Rendimiento de grano (en Kg), promedio por parcela útil.	135
Cuadro 8.3.	Rendimiento de grano (en Kg), promedio por parcela útil.	136
Cuadro 8.4.	Rendimiento de grano (en Kg), promedio por parcela útil.	137
Cuadro 8.5.	Organización de los datos para un Bifactorial establecido en D.C.A.	142
Cuadro 8.6.	Totales e Interacciones para Bifactoriales.	142
Cuadro 8.7.	Fórmulas operacionales para el ANDEVA de un Bifactorial en D.C.A.	143
Cuadro 8.8.	Fórmulas operacionales para el ANDEVA de un Bifactorial en B.C.A.	143
Cuadro 8.9.	Datos del Nitrógeno Total (en mg) de la parte aérea de la planta.	144
Cuadro 8.10.	Totales e Interacciones.	146

Cuadro 8.11. Análisis de Varianza para la variable Nitrógeno Total (mg).	147
Cuadro 8.12. Diferentes errores estandares para las pruebas de Rangos Múltiples en Experimentos Bifactoriales propiamente dichos.	148
Cuadro 8.13. Organización de las medias de tratamientos factoriales para obtener las medias para cada factor.	149
Cuadro 8.14. Ordenamiento de medias del factor A.	150
Cuadro 8.15. Ordenamiento de medias del factor B.	151
Cuadro 8.16. Ordenamiento de medias de los tratamientos factoriales.	152
Cuadro 8.17. Datos del rendimiento total de Chilotes (Kg/p.u.) obtenidos.	153
Cuadro 8.18. Totales e Interacciones.	155
Cuadro 8.19. Análisis de Varianza para la variable rendimiento total de Chilote (Kg/P.U.).	156
Cuadro 8.20. Organización de las medias de tratamientos factoriales para obtener las medias para cada factor.	157
Cuadro 8.21. Ordenamiento de medias de los niveles del factor A.	158
Cuadro 8.22. Ordenamiento de medias de los niveles del factor B.	159
Cuadro 8.23. Organización de los datos para un Diseño de Parcelas Divididas en B.C.A.	166
Cuadro 8.24. Totales e Interacciones.	166
Cuadro 8.25. Partición de los grados de libertad para el Diseño de Parcelas Divididas con diferente arreglo de las parcelas grandes.	167
Cuadro 8.26. Fórmulas para el ANDEVA de un Diseño de Parcelas Divididas en B.C.A.	168
Cuadro 8.27. Datos del Rendimiento de campo en kg/ha.	169
Cuadro 8.28. Totales e Interacciones.	171

Cuadro 8.29.	Cuadro del análisis de varianza para un Diseño de Parcelas Divididas en B.C.A.	172
Cuadro 8.30.	Errores estandares para un Diseño de Parcelas Divididas.	174
Cuadro 8.31.	Organización de las medias de tratamientos factoriales para obtener las medias de cada factor.	175
Cuadro 8.32.	Ordenamiento de medias para el factor A.	176
Cuadro 8.33.	Ordenamiento de medias para el factor B.	177
Cuadro 8.34.	Ordenamiento de medias para diferentes niveles del factor B dentro de a_1.	177
Cuadro 8.35.	Ordenamiento de medias para diferentes niveles de factor B dentro de a_2.	178
Cuadro 9.1.	Arreglo de los tratamientos en un trifactorial propiamente dicho, $3 \times 2 \times 2$, establecido en B.C.A. con tres repeticiones.	181
Cuadro 9.2.	TOTALES e Interacciones para el arreglo de los datos presentados en el cuadro 9.1.	182
Cuadro 9.3.	Fórmulas operacionales para el ANDEVA de un trifactorial en B.C.A.	182
Cuadro 9.4.	Rendimiento obtenido del peso de planta entera (ton/ha) del cultivo de Cebolla (<u>Allium cepa</u> L.) cv. Toro White, en la Cooperativa Leonel Valdivia, localidad de Chaguitillo, Sérabaco. 1986.	183
Cuadro 9.5.	TOTALES e Interacciones del peso de planta entera (ton/ha).	185
Cuadro 9.6.	Tabla del Análisis de Varianza para los datos presentados en el cuadro 9.4.	186
Cuadro 9.7.	Diferentes errores estandares para las pruebas de rangos múltiples en Experimentos Trifactoriales propiamente dichos.	187
Cuadro 9.8.	Medias para los factores principales e Interacciones.	188
Cuadro 9.9.	Ordenamiento de medias del factor Nitrógeno.	189
Cuadro 9.10.	Ordenamiento de medias del factor Fósforo.	190

Cuadro 9.11. Ordenamiento de medias del factor Potasio.	190
Cuadro 9.12. Ordenamiento de medias de la interacción Fósforo*Potasio.	191
Cuadro 10.1. Descripción de los tratamientos objeto de estudio como resultado del arreglo factorial de 3 densidades y 3 dosis de Nitrógeno a aplicarse en ensayo de maíz (<i>Zea mays</i> L). Área experimental de la E.P.V., 1993.	209

INDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Relación entre Tamaño de Parcela, Número de Repeticiones y Diferencias a detectar como significativas, en el cultivo del Sorgo. Pedroza H., (1991).	59
Figura 8.1. Ilustración de los efectos aditivos de dos factores o los factores son independientes.	136
Figura 8.2. Ilustración de los efectos interactivos de dos factores o los factores no son independientes.	137
Figura 8.3. Ilustración de los efectos interactivos sugerido por los datos.	138

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. Arias C. L., 1980. **Curso de Redacción Técnica.** FCCA-UNAN. Managua, Nicaragua. s.p.
2. Alemán M., 1991. **Determinación del potencial agronómico e industrial de genotipos promisorios de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) de origen búlgaro en las condiciones del Valle de Sélvaco.** Tesis profesional. UNA. 42 p.
3. Bergstrom T., 1988. **Size and shape of field plots - some aspects to consider.** Swedish University of Agricultural Science. 6 p.
4. Binns M. R., 1982. **The choice of plot size in randomized block experiments.** Journal Amer. Soc. Hort. Sci. 107 (1): 17-19.
5. Caballero D. M., 1980. **Métodos en la investigación forestal.** SARH. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. 2^{da} Ed. México, 118 p.
6. Caballero W., 1975. **Introducción a la estadística.** IICA. San José, Costa Rica. 286 p.
7. Cochran W. G. y Cox G. M., 1981. **Diseños Experimentales.** Editorial Trillas, México. 661 p.
8. Cuadra R. M., 1990. **Response of maize to fertilizer application in Nicaraguan soils.** M Sc. Thesis. Departament of croop production, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweeden. s.p.
9. Cáceres M., (1993). **El sector agropecuario y su impacto ambiental.** Documento de trabajo para la elaboración del Plan de Acción Ambiental de Nicaragua. s.p.
10. De La loma J. L., 1966. **Experimentación Agrícola.** UTEHA, México. 597 p.
11. Dufumier M., 1990. **Las políticas agrarias.** Departamento de desarrollo agrario. UCA. Managua, Nicargüa. pp: 18 - 25.
12. Escobar S. C., 1981. **Estimación del tamaño óptimo de parcela experimental para ensayos con maíz.** Revista Facultad de Agronomía. Medellin, Colombia. Vol. 34 (1): 31-36.
13. Exposito I., 1988. **Tamaño de parcela y de muestra para evaluar el rendimiento y sus componentes en el cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill).** Disertación para optar al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Bayamo, Cuba.

14. Federer W. T., 1967. Plot or pen technique. Experimental design: Theory and application. Indian edn, oxford & IBH Publishing Company. Calcuta.
15. Fuentes F., 1976. Sobre el significado del tamaño de parcela y la influencia de las defensas en los experimentos de campo. Disertación para optar al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Plovdiv, Bulgaria.
16. Gómez K. A. and Gómez A. A., 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd edition. John Wiley & Sons. N.Y. 680p.
17. Gardón D., 1987. Determinación del tamaño óptimo de la parcela experimental y el efecto de bordes en experimentos de comparación de variedades en arroz. Disertación para optar al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Plovdiv, Bulgaria.
18. Hatheway W. H. and Williams E. J., 1958. Efficient estimation of the relationship between plot size and the variability of crop yields. Biometric 14 (2): 207-222.
19. Hatheway W. H., 1961. Convenient plot size. Agronomy Journal 53 (4) : 279-280.
20. Henao J., 1983. Muestreo In "Curso de investigación y desarrollo de tecnología para sistemas de producción de cultivos". Turrialba, Costa Rica. 67 p.
21. Hildebrand P. y Poey F., 1989. Ensayos agronómicos en fincas según el enfoque de sistemas agropecuarios. Editorial Agropecuaria Latinoamericana, Inc. Florida, U.S.A. 134 P.
22. Ivonov Z., 1977. La Experimentación Agrícola. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 332 p.
23. ISCA, 1989. Instructivo interno para la realización del trabajo de diploma. DIP. Managua, Nicaragua. 16 p.
24. Koch E. U. and Rigney J. A., 1951. A method of estimating optimum plot size from experimental data. Agronomy Journal 43 (1) : 17-21.
25. Le Clerg E, Leonard W. H, Clark A. G., 1966. Field Plot technique. 2^{da} Edición. Publishing Company. Minnesota. 112-122 p.
26. Li Ch. Ch., 1969. Introducción a la estadística experimental. Editorial Omega, S. A. España.
27. Lerch G., 1977. La experimentación en las ciencias biológicas y agrícolas. Editorial científico-técnica. La Habana, Cuba.

28. Lugo CH., 1977. Tamaño de parcela experimental y su forma. Rev. Fac. Agron. Maracay. Vol. 9. No. 3 : 55-71.
29. Little T. M. y Hills J. F., 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas. México, D.F. 268 p.
30. Lin C. S. and Binns M. R., 1986. Relative efficiency of two randomized block designs having different plot sizes and numbers of replications and of plots per block. Agron. J. 78 (3): 531-534 .
31. Monzón D., 1972. Diseños experimentales. 1^{ra} ed. Editorial Venezuela. 240 p.
32. Mendez R. I. et al., 1984. El protocolo de investigación. Editorial Trillas. México, D.F. 209 p.
33. MIDINRA, 1985. Guía tecnológica para la producción de maíz en secano. D.G.A. Managua, Nicaragua. 35 p.
34. MIDINRA, 1985. Guía tecnológica para la producción de sorgo granífero en secano D.G.A. Managua, Nicaragua. 39 p.
35. Mead R., 1988. The design of experiments-statistical principles for practical applications. Cambridge University Press. U.K. 107-129.
36. Matus O.G. y Pedroza P.H., 1989. Relación entre el tamaño de la parcela experimental y el número de repeticiones en el cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). JUDC - DIP. ISCA. Managua, Nicaragua. 16 p.
37. Matus O.G., 1990. Influencia del tamaño-forma de la parcela experimental y el número de repeticiones sobre la precisión de los datos experimentales en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Tesis Profesional. ISCA. Managua.
38. Miranda D.A., 1990. Comportamiento agronómico e industrial de cinco variedades de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en el valle de sebaco. Tesis profesional ISCA. Managua, Nicaragua. 41p.
39. Ostle B., 1981. Estadística aplicada. 7^{ma}. reimpresión. Editorial LIMUSA. México. D.F. 629 p.
40. Panse V. G. y Sukhatme P. V., 1963. Métodos estadísticos para investigadores agrícolas. 2^{da} edición en español. Fondo de cultura económica. México D. F. 349 p.
41. Pimentel G. F., 1978. Curso de estadística experimental. Primera edición en español. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 15-33 pp.

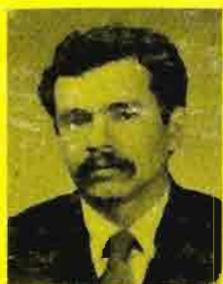
42. Piskulich R., 1983. Principios de Diseños experimentales. Departamento de Producción Vegetal. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 14 p.
43. Pedroza P.H., 1985. Influencia de la fertilización nitrogenada y la densidad de siembra sobre el crecimiento desarrollo y rendimiento del tomate industrial (*Lycopersicum esculentum* Mill) cv. UC-82, en el Valle de Sebaco. Tesis profesional. FCCA-UNA. Managua, Nicaragua. 1-12 p.
44. Pedroza P.H., 1985. Guía metodológica para elaborar el anteproyecto de un experimento de campo. Departamento de Agronomía, FCCA-UNAN. Managua, Nicaragua. 6 p. s.p.
45. Pedroza P.H., 1989. Fundamentos para determinar la relación entre el tamaño de parcela experimental y el número de repeticiones. 1^{ra} edición. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. Managua, Nicaragua. P.C.P ISCA-SLU. 8 p.
46. Pedroza P.H., 1989. Relación entre el tamaño de la parcela experimental y el número de repeticiones en el cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Aspectos Metodológicos I. 1^{ra} edición. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. Managua, Nicaragua. P.C.P. ISCA-SLU. 19 P.
47. Pedroza P. H., 1989. Relación entre el tamaño de la parcela experimental y el número de repeticiones en el cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Aspectos Metodológicos II. 1ra edición. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. Managua, Nicaragua. P.C.P. ISCA-SLU. 18 p.
48. Pedroza P.H., 1989. Planificación del experimento de campo. 1^{ra} edición. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. Managua, Nicaragua. P.C.P. ISCA-SLU 15 p.
49. Pedroza P. H., 1990. Influencia del tamaño de la parcela experimental y el número de repeticiones sobre la precisión de los datos experimentales en el cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). 1^{ra} edición. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. P.C.P. UNA-SLU. 27 p.
50. Pedroza P. H., 1991. Influencia del tamaño y forma de la parcela experimental y el número de repeticiones sobre la precisión de los datos experimentales en las condiciones de Nicaragua. Disertación para optar al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Academia de Ciencias de Bulgaria. Cofía. 192 p.
51. Reyes C. P., 1982. Diseño de experimentos aplicados. Edit. Trillas. México 2^{da} reimpresión. 343 p.
52. Smith H. F., 1938. An empirical law describing, heterogeneity in the yield of agricultural crops. J. Agr.Sci. 28 (1): 1-23.

53. Samper A., 1964. Estructura lógica del artículo científico. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 24 p.
54. Shanin I., 1970. Sobre el tamaño de parcela en los experimentos de campos. Disertación para optar al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Academia de Ciencias de Bulgaria. Cofía.
55. Swallow W. H., 1984. Sobre el abuso y mal uso de procedimientos estadísticos de separación de promedios. Prueba de Duncan, Diferencia Mínima Significativa, etc. Plant Diseases 68 : 919-921.
56. Steel y Torrie., 1985. Bioestadística, principios y procedimientos. Segunda Ed. (Primera en español). Mc. Graw Hill. Bogota, Colombia. 622.
57. Tapia J. B., 1987. Influencia de la fertilización edáfica N-P-K sobre el comportamiento agronómico del cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) cv. Toro White, en el Valle de Sébaco. Tesis profesional. ISCA. Managua, Nicaragua. 48 p.
58. Tripp R. y Wooley J., 1989. La etapa de planificación de la investigación en campos de agricultores: Identificación de factores para la experimentación. México, D.F., y Cali, Colombia: CIMMYT y CIAT. 85 p.
59. Valle G., N.A., 1992. Effect of tillage system and presence of weeds on the abundance of *Dalbulus maidis* De Long & Wolcott (Homoptera : Cicadellidae) and the incidence of stunt disease in maize. M Sc. Thesis. Departament of plant and forest proteccion, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweeden. 32 p.
60. Valverde R. G., 1993. Dinitrogen fixation by nicaraguan and ecuadorian common bean (*Phaseolus vulgaris* L), cultivars inoculated with *Rhizobium* strainf in pot and field experiments. M Sc. Thesis. Departament of plant and forest proteccion, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweeden. 41 p.

© CECOTROPIC, Centro de Estudios de Ecodesarrollo para el Trópico.

© Henry Pedroza

SOBRE EL AUTOR



Henry Pedroza Pacheco nació en Nandaimo, Granada, el 4 de octubre de 1958. Realizó sus estudios preparatorios en Granada, obteniendo su Diploma de Bachiller en Ciencias y Letras y Perito Agrónomo en el Liceo Agrícola de Granada. En 1982 se graduó de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNAN y en 1991 obtuvo el grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas en la Universidad Agraria de Plovdiv, Bulgaria.

Se ha desarrollado profesionalmente durante once años como docente investigador de la Universidad Nacional Agraria (UNA), inicialmente en la cátedra de Economía Agrícola y luego en Diseños Experimentales, para la formación base de los investigadores agropecuarios del país.

Se ha desempeñado en consultorías para establecer y manejar organizadamente sistemas de información que requieren el manejo de bases de datos y diferentes softwares; asimismo, sobre formulación de proyectos.

A. Castillo Gómez