IICA

NOTAS DEL CURSO–TALLER

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION PECUARIA: DISEÑOS EXPERIMENTALES

CODIGO - 00 - ESP - IE - 03 - 88

PUBLICACION 001 AL/HN 88 ISSN-0534-5391

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA
(IICA)

NOTAS DEL CURSO–TALLER

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION PECUARIA: DISEÑOS EXPERIMENTALES

1988

TEGUCIGALPA, D.C. HONDURAS, C.A.

ILGA
PM-A1/HN
88-001

BV ~~003523~~

00001567

PRESENTACION

Los resumenes y ejemplos que se presentan en esta publicación, constituyen parte del material cubierto en el Curso-Taller "Metodología de la Investigación Pecuaria: Diseños Experimentales", que se realizara en Comayagua del 3 al 14 de agosto de 1987, por el Departamento de Investigación Pecuaria de la Dirección General de Ganadería de la Secretaría de Recursos Naturales y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA-Honduras).

El Curso-Taller fue dictado por el Dr. Marcial Jara-Almonte y los Ingenieros F. Omar Osorio y Edgar Lionel Ibarra, para personal profesional del Departamento de Investigación Pecuaria y comprendió una cantidad mayor de materias que las que se presentan aquí.

Tegucigalpa, Noviembre de 1987.

NOTAS DEL CURSO-TALLER

"METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION PECUARIA:

DISEÑOS EXPERIMENTALES".

. MARCIAL JARA-ALMONTE

Ingeniero Agrónomo, Ph'D en Mejoramiento Genético.

Especialista en Producción Animal del IICA.

. EDGAR LIONEL IBARRA

Ingeniero Agrónomo, MS.

Especialista en Generación y Transferencia de Tecnología del IICA.

TABLA DE CONTENIDO
*****

MARCO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACION PECUARIA

Marcial Jara-Almonte

INTRODUCCION

La investigación puede ser definida de diferentes maneras, a saber: Es un quehacer permanente y una preocupación del hombre que lo conduce a hacer diligencias para descubrir una (s) cosa (s); es una actividad intelectual original y creativa llevada a cabo en el laboratorio, en la biblioteca o en el campo, que procura descubrir nuevos hechos, evaluándolos e interpretándolos a la luz de los conocimientos previos y; finalmente, la investigación, es definida como la fuente del saber universal.

No existe en el mundo un solo conocimiento que el hombre posea que no se haya generado, consolidado y aplicado a través de la investigación, ya sea en su forma más primitiva, como una simple observación o en base a un procedimiento altamente sofisticado.

Para que la investigación sea un fin debe ponerse al servicio de la comunidad de donde emerge, por lo tanto su proceso estará completo cuando sus logros sean debidamente transferidos a los productores y aplicados por los mismos.

1. FUNCION Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.

La misión de la investigación agropecuaria es aplicar todas las fuentes del descubrimiento científico a la solución de los problemas específicos de la agricultura y la ganadería.

Los objetivos de la investigación pecuaria pueden ser:

- Incrementar la productividad mediante el aumento de la producción por unidad de área (o animal).
- Incrementar la eficiencia mediante la reducción de la mano de obra y hacer el trabajo menos oneroso.

- Mejorar la calidad de los pastos y forrajes por medio de propagación de variedades de un valor nutritivo alto y del uso adecuado de suplementos alimenticios.
- Incrementar la estabilidad de la producción por medio del mejoramiento de las razas de animales que tengan más resistencia a las enfermedades, a través de adecuados métodos de protección, manejo, selección y cruzamientos.

El incremento de la productividad es lo primero que se busca cuando los rendimientos unitarios son bajos.

Como ejemplos saltantes de lo que es capaz la investigación, se pueden señalar los resultados obtenidos en Israel, país que desde su independencia se propuso trabajar por el autoabastecimiento mediante la producción de alimentos. Como resultado se obtuvieron: a) las razas primitivas de ganado vacuno y ovino fueron reemplazadas por razas desarrolladas o seleccionadas localmente; b) la producción de leche aumentó de 800-1500 Kg. a 5000-6000 Kg /vaca/año; c) los rendimientos de granos cultivados aumentaron de 3 a 10 veces; d) los rendimientos en tierras secas se elevaron de 600 a 5000 Kg /ha y en tierras con irrigación subieron de 3000 a más de 10,000 Kg /ha

Elemento esencial para la obtención de estos resultados fueron los trabajos investigativos que se realizaron y el cambio gradual de tierras secas a una agricultura con irrigación.

2. CLASES DE INVESTIGACION

Existen varias clasificaciones.

a. Investigación Básica.

- Es motivada principal o exclusivamente por la curiosidad intelectual e interés en el estudio de las leyes, sin preocuparse de la inmediata aplicación.

- La que es incitada por la curiosidad de los investigadores en busca de ampliar las fronteras del conocimiento.

- La que selecciona el individuo para satisfacer sus propios gustos.

b. Investigación Aplicada.

- Es dirigida al descubrimiento de nuevos conocimientos científicos de aplicación comercial.

- Es generalmente comprometida en la búsqueda de solución a un problema específico.

En el contexto de los tipos de investigación, es necesario explicitar los tipos de investigación y su relación con las principales formas organizacionales vinculadas con las mismas. En el Cuadro 1 se presentan los dos tipos de investigación: a) la básica o pura, típica de las universidades, institutos y medios académicos internacionales y, b) la investigación y desarrollo con sus dos subtipos: (i) Tipo 1 (industrial) e, (ii) Tipo 2 (investigación para el desarrollo). Esta última es la que interesa especialmente para los países no industrializados por cuanto permite que los resultados y logros obtenidos con la investigación puedan quedarse a nivel de las fincas de los productores, para que puedan aplicarse de inmediato.

3. MARCO CONCEPTUAL.

Desde el punto de vista teórico y práctico, el objetivo principal de la Investigación Pecuaria es el de establecer las bases tecnológicas que conlleven el mejoramiento de los niveles de producción y productividad en aquellos rubros considerados prioritarios para el país.

Considerando los sistemas tradicionales de crianza, manejo de pastos, de ganado y de insumos, la filosofía de la investigación aplicada debe orientarse a resolver prioritariamente los factores limitantes que estén frenando el mejoramiento tecnológico y el desarrollo en sí, a fin de permitir que la investigación oriente la absorción de ayuda que pueda y deba brindarse a los sistemas tradicionales; la cual debe canalizarse bajo la forma de créditos, asistencia técnica, facilidades de infraestructura, capacitación, comercialización, etc.

Para cumplir con estos propósitos y de acuerdo a la realidad de varias experiencias, la mejor alternativa existente es la de programación y divulgación de los Sistemas Integrales de Producción, los cuales permiten tener en consideración la serie de vivencias y ventajas que puedan derivarse de los sistemas tradicionales. Con la influencia de la investigación aplicada será posible acelerar este proceso en algunos casos e iniciarlo en otros.

Para que la investigación contribuya al desarrollo real del sector rural, su orientación debe ser enfocada a resolver los problemas del productor y a la obligada transferencia de sus logros a los interesados. Es por esto que los investigadores y el personal de apoyo de los diferentes niveles deben estar conscientes que es necesario tener presente dos aspectos:

- La investigación debe realizarse sobre bases reales de necesidades sentidas, de problemas que merecen resolverse. No tiene que ser visualizada como la concepción a priori de supuestas soluciones. Muy por el contrario, es necesario partir del concepto de reconocimiento de áreas, del diagnóstico de fincas, del conocimiento de la problemática del productor y de la producción, de la identificación y vivencia de la realidad del campo, a fin de mirar los problemas desde el mismo ángulo que los ve el productor. Es por eso que en las alternativas de solución no solo se debe considerar las ventajas técnicas sino también los aspectos económicos (ingreso neto) y sociales. Los resultados serán más fácilmente adoptados cuando resuelvan problemas sentidos en el medio sociocultural de un grupo de productores. En este sentido es aconsejable la aplicación de tecnologías que sin ser las mejores de las posibles, produzcan rendimientos económicos significativos y que sean fácilmente absorbidas por los usuarios.

- Por otro lado es preciso que todo el personal involucrado en el proceso investigativo esté convencido que la investigación no debe dirigirse ni orientarse exclusivamente desde la oficina, ni debe concebirse como la necesidad de un investigador que desee satisfacer sus inquietudes; al contrario, la investigación tiene que estar de frente a la realidad del país y debe emerger de una necesidad que, analizada y estudiada por un grupos multidisciplinario, dé lugar al planteamiento y desarrollo de programas, proyectos, ensayos, etc. cuyos resultados tengan una meta final: el bienestar del productor.

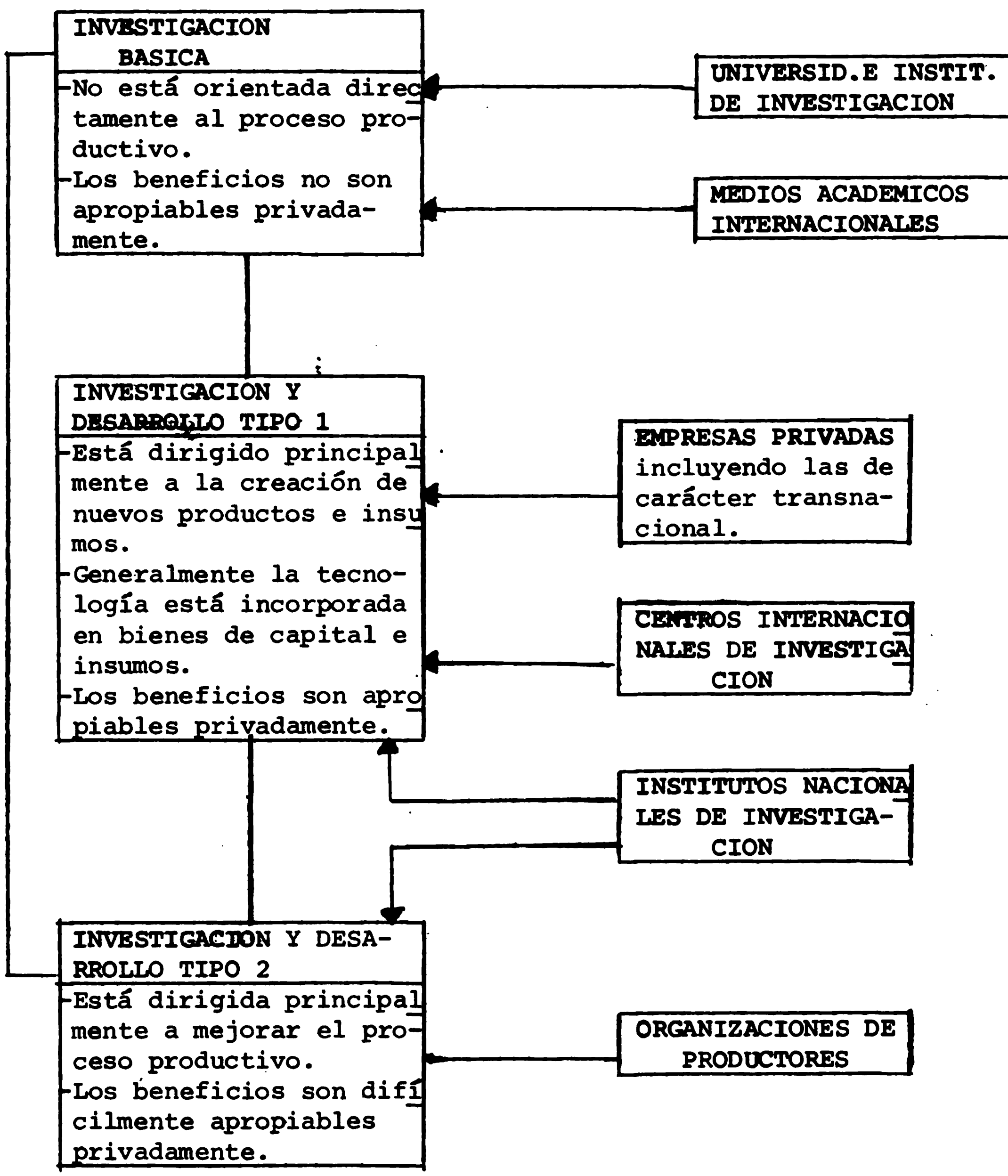
Desde el punto de vista práctico, es necesario maximizar la utilización de los recursos disponibles para la investigación, concentrando los esfuerzos en determinadas áreas geográficas donde hayan buenas posibilidades de éxito y de impacto y, allí desarrollar acciones de investigación, transferencia de tecnología y de capacitación. En este mismo sentido y de acuerdo a la metodología de trabajo en sistemas de producción, es aconsejable tomar en cuenta las "caracterizaciones de áreas" en las zonas de trabajo, donde actuen grupos multidisciplinarios con la inclusión de los agentes de extensión, que puedan participar, en una u otra forma del reconocimiento de áreas, de los diagnósticos de fincas y/o sondeos para detectar los problemas y proponer en forma conjunta los planes de trabajo que orienten la investigación en cada área geográfica.

Fijadas las áreas geográficas de concentración de esfuerzos investigativos, es conveniente pensar en la forma como se tendrá que actuar ante los mismos productores, máxime si éstos son pequeños y medianos, algunos de los cuales no han tenido la oportunidad de aplicar los conocimientos tecnológicos existentes. Es probable que con la aplicación de alguno de estos conocimientos generados en el país, en las universidades y escuelas superiores o en el extranjero, se pueda conseguir un impacto inicial. Esto es verdad, sin embargo, se debe asumir el hecho que, de limitarse a realizar solamente este tipo de transferencia tecnológica sin generar nuevas tecnologías o renovar conceptos, podría traer consigo el caerse en un estancamiento que pueda ser frustrante que detendrá el desarrollo y avance en el campo pecuario. Esto es obvio, es por eso que la investigación debe estar actuando permanentemente para ir resolviendo los problemas que se vayan presentando y pueda así aportar nuevas y mejores soluciones.

Querer avanzar en el campo pecuario sin el apoyo de la investigación, será como pretender dar de beber agua fresca y limpia proveniente de un depósito de agua estancada.

CUADRO 1

TIPOS DE ACTIVIDAD INVESTIGATIVA Y PRINCIPALES FORMAS ORGANIZACIONALES VINCULADAS A CADA TIPO DE ACTIVIDAD Y SUS INTERRELACIONES[1/]



1/ Fuente. Organización de la Investigación Agropecuaria en América Latina, Eduardo Trigo, Martín Piñeiro y Jorge Ardila. IICA-1982. (Pag. 29).

PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACION
ANTECEDENTES DE UN PROBLEMA DE INVESTIGACION

Edgar Lionel Ibarra

INTRODUCCION

La revisión de los antecedentes de un proyecto de investigación principia con el planteamiento de los objetivos y continúa hasta llegar a las especificaciones necesarias en cuanto al material experimental, la metodología del trabajo de investigación y la discusión de los resultados obtenidos.

Los productos de la investigación, sea ésta básica o aplicada, generalmente son conocimientos (en algunos casos ciertos materiales como por ejemplo el material genético) que son organizados en una secuencia contínua que se denomina conocimiento científico y tecnológico.

El investigador está en una posición de descorrer el velo de lo desconocido en cierto fenómeno natural (frontera de la ciencia) y al hacerlo descubre nuevos hechos sobre los cuales se edifica la teoría y se agregan conocimientos científicos, pero nunca se descubre todo de una sola vez, siempre queda algo desconocido, y de ahi que uno de los postulados de la investigación científica sea: "que ésta, nunca es concluyente".

Se empuja la frontera de la ciencia pero con ello nunca se llega a su límite final.

Las reflexiones anteriores sobre el desarrollo del conocimiento científico se presentan porque queremos ponernos en la situación de un investigador que está a punto de emprender un proyecto de investigación,para entender mejor si él está situado en la frontera de la ciencia o si acaso está distante y el camino ya fue recorrido por otros investigadores y así el conocimiento que él pretende agregar, posiblemente está disponible en alguna parte. Esa incertidumbre puede ser dilucidada mediante una revisión cuidadosa de toda la información existente que se pueda obtener en relación al problema que se está investigando, lo cual facilita la conceptualización del problema y la definición de objetivos, hipótesis, selección de materiales y la metodología de investigación en general.

COMO SE REALIZA LA REVISION DE ANTECEDENTES

Esto depende mucho de la naturaleza del problema que se está investigando. Los casos de mayor facilidad en la revisión de antecedentes, se dan en las investigaciones en serie o cadena; es decir, cuando el Proyecto que se trata de ejecutar es consecuencia de anteriores investigaciones en la misma línea o programa. Es posible que en tal situación se haya ido acumulando información que constituye la base para la revisión y análisis conceptual del nuevo proyecto, los antecedentes en este caso son los resultados acumulados de los eslabones anteriores de la cadena.

En términos generales, para la obtención de la información que constituye los antecedentes, puede recurrirse a dos fuentes principales de información:

- Información obtenida directamente de otros investigadores y de los productores.
- Información documental.

1. Información obtenida directamente de investigadores y de productores:

   Estas informaciones se producen muy frecuentemente en forma oral y escrita. Constituye una manera de cooperación recíproca entre técnicos y científicos que trabajan en áreas similares o afines de investigación, lo cual es una práctica que debemos alentar, especialmente cuando regionalmente se trabaja en programas con muchas similitudes en intereses y líneas de investigación y donde además los técnicos generalmente se conocen entre sí y existen frecuentes encuentros en Congresos, Simposios y Seminarios. ¿Hasta qué punto se da este tipo de intercambio informativo entre técnicos de investigación pecuaria en Centroamérica?. Ello es una característica de la comunidad científica de los países desarrollados cuando se trata de programas de instituciones no lucrativas, públicas y privadas.

Existe también otro tipo de información personal mucho menos común, por lo cual su omisión ha mostrado frecuentes casos de fallas en la conducción de la investigación agropecuaria. Sobre este particular nos referimos al intercambio de información, que debe darse con los productores agrícolas, ya sea directamente o a través de interlocutores (los extensionistas por ejemplo). Esta información debe ser obligatoria en el planeamiento de programas y proyectos de investigación pecuaria por cuanto los productores son la clientela a quién se dirige el desarrollo de soluciones tecnológicas para sus problemas de producción.

La falta de comunicación de la investigación formal, con la experiencia de los productores y la observación y aprendizaje que cotidianamente realizan éstos, que se ha dado en llamar "investigación informal", ha sido causa de sorprendentes fallas en todo un diseño tecnológico elaborado supuestamente para mejorar la productividad en ciertas regiones del mundo.

La revista Ceres de FAO (1) publicó recientemente un artículo del Sr. S.D. Biggs en el que comenta varios casos, entre ellos uno observado en Bangladesh donde existen ciertas variedades "tradicionales" de arroz de aguas profundas capaces de producir más de 4 toneladas por hectárea, sin aplicación de "insumos modernos". Estas variedades son producto del desarrollo tecnológico de los nativos.

Se encontró además que estas variedades, con nombre de campesinos, respondían a la especificidad de determinadas zonas hidrológicas de aguas profundas. De este contacto con la tecnología campesina, los investigadores pudieron orientar sus proyectos tomando en cuenta el hecho de ese arroz local y el efecto del régimen hidrológico; y más aún, conocer la posible interacción de ciertas algas verde-azules en el ciclo de captación-utilización del nitrógeno en el cultivo. Con ello el articulista destaca lo imprescindible de este tipo de comunicación, para el logro de innovaciones tecnológicas que ayuden eficazmente a los productores.

Otro medio de consulta y de comunicación que debe darse al planear una investigación, es de tipo horizontal en la misma institución, con los técnicos y agentes de extensión, lo cual es lógico porque investigadores y extensionistas forman el equipo de generación tecnológica y asistencia técnica a los productores nacionales, pero que frecuentemente no se produce la comunicación por la separación de áreas físicas de acción y otras causas. Esta comunicación es particularmente importante cuando se realiza el planeamiento de todo un programa y sus respectivos proyectos de investigación.

2. La información documental.

Este es el tipo de información más familiar a los investigadores al realizar una revisión de antecedentes sobre el problema o tema a investigar, que comunmente llamamos revisión bibliográfica, para definir aspectos conceptuales y metodológicos de un proyecto de investigación.

La cantidad de información sobre los resultados de la investigación agropecuaria en el mundo es abrumadora y desde luego la mayor parte de ella no es fácilmente accesible. I. Arnon en su obra sobre Investigación Agrícola (3) cita la cifra de 25,000 publicaciones, estimada en el año 1968, e indica las dificultades para localizar y utilizar dicha información, aún con el dominio de muchos idiomas y la tecnología moderna de manejo de la documentación. No por ello desalentamos el acopio de información bibliográfica porque ésta es fundamental para la validez y calidad de trabajo investigativo. Estamos concientes de que en nuestro medio no es fácil el acceso a la información bibliográfica sobre investigación pecuaria. Nos llegan a las sedes de trabajo algunas publicaciones y quizás contenidos de algunos libros. Sin embargo ello no es suficiente para una adecuada revisión bibliográfica sobre los trabajos que realizamos.

INSTRUMENTOS DE BUSQUEDA Y USO DE INFORMACION DOCUMENTAL.

Lo mejor para una institución dedicada a proveer asistencia técnica agrícola, es contar con un Centro de Documentación y Biblioteca, para ofrecer servicios de información tales como: informe de adquisiciones y de fotocopias de publicaciones. La SRN cuenta con un Centro de este tipo (el CEDIA) que es núcleo de la Red Nacional de Información Documental Agrícola, a la vez que el país es miembro de las bases continental (AGRINTER-IICA) y Mundial (AGRIS FAO), de información agrícola documental, a través del CEDIA.

Debido a la enorme cantidad de documentos existentes, así como a la dificultad de acceso a los mismos en su forma original, se han desarrollado en el mundo diversos sistemas para la búsqueda, acopio, intercambio y formas abreviadas para facilitar su utilización y manejo. Estas formas abreviadas se encuentran en publicaciones periódicas producidas por agencias gubernamentales, instituciones científicas, organismos internacionales, fundaciones y entidades privadas, que en el campo agropecuario, son las siguientes:

a) Indices, en serie mensual o anual, que a manera de un catálogo especializado, incluyen títulos, autores de trabajos publicados; y un número de referencia que identifica cada trabajo y hace posible su búsqueda, como ejemplo tenemos:

   - Indice Agrícola Latinoamericano (IICA) periodicidad cuatrimestral (irregular).
   - Agricultural Index (USA), con periodicidad mensual.
   - Tropical Agriculture Index (Europa), con la misma periodicidad que el anterior.

b) Bibliografías Agrícolas: Estas son publicaciones de frecuencia irregular y contienen información al mismo nivel de los índices. Pueden ser temáticas, por ejemplo la bibliografía sobre pastos tropicales, bibliografía sobre producción de cerdos, o por país. En las mismas se incluyen toda la información existente en los centros de documentación, de cada tema o la producción bibliográfica en el país, según el caso. Honduras ha elaborado dos bibliografías a través del CEDIA (1975-1976, 1979-85).

c) Compendios: Son revistas temáticas con resúmenes de los últimos trabajos técnicos y científicos publicados periódicamente. Se les conoce también como abstractos (por su expresión en idioma inglés). Proporcionan mayor cantidad de información, con lo cual el investigador puede revisar rapidamente la sustancia en cada trabajo y distinguir si ello es relevante al problema que está investigando.

d) Reseñas: También son publicaciones periódicas que presentan avances científicos y tecnológicos en campos determinados, presentan una revisión de los más importantes trabajos en forma crítica y sintetizada. Los índices y bibliografías facilitan la identificación de artículos de interés, a través del número de identificación con el cual se pueden solicitar copias del original a los servicios informativos. Los compendios y reseñas, cuando disponibles, facilitan la selección de la información más directamente relacionada al tema de investigación, porque con ellos se tiene idea del contenido de cada referencia. Otra forma de estar informando de los avances y logros sobre los aspectos técnicos y científicos es que nuestro Centro de Información y Biblioteca mantenga suscripciones a revistas selectas que traten el tema; y ofrecer un servicio de fotocopias a los técnicos de la SRN.

RELACION DE LA INFORMACION PREVIA, CON EL PROBLEMA DE INVESTIGACION.

Hasta aquí hemos reseñado algo sobre las fuentes de información (documental y personal). Una vez que ésta esté disponible en alguna forma, debe realizarse un escrutinio para seleccionar unicamente aquella que es relevante o tiene una relación bien definida con el problema que se trata de investigar. La información bibliográfica puede ser por ejemplo, sobre la teoría científica que se ha desarrollado en relación al tema de investigación; o sobre los factores climáticos que afectan un proceso biológico que se quiere investigar; o los resultados obtenidos de investigaciones similares pero en otros medios ecológicos distintos.

Estas relaciones, al conocerse pueden conducir al replanteamiento de los objetivos del proyecto y a sugerir hipótesis relevantes sobre posibles causas y efectos. Así también; la revisión de esta información puede sugerir mejores metodologías del trabajo investigativo, en comparación con las que preliminarmente se tenían planeadas. Un análisis crítico del problema a investigar, a la luz de los antecedentes, puede incluso llegar a cancelar un experimento para realizar otro en una etapa más avanzada. Por ello se ha creido conveniente presentar este tema con algo de detalle para reiterar la importancia de la revisión de antecedentes, técnicos y científicos; anotando para finalizar, conceptos de Mario Bunge (4), que al tratar el tema sobre la filosofía de la investigación científica, escribe que "la investigación responsable está limitada por lo lógico y por la ciencia; quién ignore los dos, nada podrá aportar", pero esta ciencia no es un concepto vacío, es el conocimiento vertido o escrito por los hombres y la lógica dialéctica es la que se realiza al relacionar los antecedentes, con un fenómeno que se está investigando para su mejor comprensión. La ley de interacción universal del método dialéctico establece que nada existe aisladamente y que aislar un fenómeno sin considerar sus relaciones con otros fenómenos es privarlo de significado (5).

LITERATURA CITADA

1. Biggs, S.D. Investigación Informal. Ceres, Julio-Agosto, 1980. FAO, Roma, 1980.
2. IHCAFE-IICA. Charlas: Primer Curso sobre Planificación de la Investigación en Caficultura. IHCAFE. Tegucigalpa, 1981.
3. Arnon, Isaac. Organización y Planificación de la Investigación Agrícola. IICA, 1ra. Edición Español. San José, Costa Rica 363-367, 1978.
4. Bunge, Mario. Filosofía de la Investigación Científica en los Países en Desarrollo. Reproducción mimeografo obtenida en ICTA-Guatemala, 1981.
5. Gastal,Edmundo. Enfoque de Sistemas na Programacao da Pesquisa Agropecuaria. IICA, Oficina en Brasil, Rio de Janeiro, 1980. 58-61.

ANALISIS CONCEPTUAL DE LOS PROBLEMAS DE INVESTIGACION AGROPECUARIA

Edgar Lionel Ibarra

Este análisis conduce a la definición clara y completa, de algún problema observado dentro de un sistema de producción agrícola. Al darle el calificativo de problema de investigación lo hacemos porque una de las primeras condiciones que busca el análisis, es la de establecer si dicho problema corresponde a una situación real y si presenta soluciones a través de la investigación, en cuyo caso adquiere el calificativo de "investigable". Del análisis conceptual se tendrá como resultado una adecuada definición del problema y el planteamiento de las hipótesis que este sugiere. Pero antes de proseguir, es conveniente distinguir diferencias entre una situación problemática y un problema investigable. Según Andrew y Hildebrand (1), una situación problemática es un fenómeno existente, general y no claramente definido; en tanto que un problema investigable si lo es más definido y abordable a través de la investigación. Por su carácter general, una situación problemática bien analizada puede ser la fuente para identificar varios problemas investigables y por lo tanto puede originar varios proyectos de investigación. Un ejemplo de lo anterior podría ser la siguiente expresión: "Los índices de producción lechera (por vaca al año), son muy bajos en el sector de pequeños hatos de doble propósito, en el valle de Catacamas".

Asumiendo que lo expuesto es un hecho comprobado, por lo generalizado de la expresión la misma indica una situación problemática. Analizada mas a fondo esta situación, se encontrarán y agregarán datos que pueden mejorar su definición; por ejemplo, la expresión: "El sistema de alimentación sin suplemento proteico, en uso predominante por el sector de pequeños productores de Catacamas, no contribuye a mejorar los rendimientos de leche".

Está claro que el segundo enunciado constituye una parte que aclara la situación problemática y es abordable a la investigación; constituye por lo tanto un problema investigable.

Al continuar el análisis conceptual de cada problema de investigación y para un planteamiento adecuado del mismo, se buscará si reune las siguientes características:

1) Debe expresar necesidades sentidas por los productores y personas vinculadas al proceso de producción. Además esa necesidad debe estar sujeta a cambio como resultado de la investigación.

2) Las relaciones de causas indicadas en el problema no deben de ser hipotéticas, por lo tanto deben estar basadas en evidencias reales. La propuesta del problema no constituye una hipótesis.

3) Sin embargo, la presentación del problema debe sugerir hipótesis relevantes que puedan ser puestas a prueba.

Las dos primeras condiciones se explican por sí solas, pero para llegar a satisfacer la tercera condición se requiere una mayor profundidad de análisis del problema, esto es, buscar más antecedentes y soluciones tentativas y plantearlas en forma de hipótesis, con lo cual se orienta el proceso de investigación; dichas hipótesis no deben resultar en soluciones triviales (obvias o no factibles).

Abordando de nuevo nuestro ejemplo, diremos para el caso "que es un hecho reconocido que la alimentación con pasto, no suplementada, tiene un rendimiento relativamente bajo, en las condiciones actuales de los hatos de doble propósito", esto cumple la condición 2. El planteamiento en sí, no es una hipótesis, sin embargo sugiere, como solución tentativa, que podrían haber mejores alternativas de alimentación, aún dentro de las condiciones tradicionales de manejo del hato. Esto se puede traducir a una hipótesis de que: <u>si se introducen un sistema con suplemento, entonces se puede lograr incrementar el rendimiento de leche, en el referido sector de productores</u>.

Aunque la solución tentativa parece trivial (obvia), faltaría ponerla a prueba a través de la evidencia proporcionada por un proyecto de investigación que ensayaría otras alternativas de alimentación suplementada, comparando con el sistema actual de la hacienda prototipo de doble propósito.

Para llegar a este nivel de análisis, se requiere haber reunido toda la información disponible que vaya aclarando la definición del problema. Esa información la conforma los resultados precedentes de otras investigaciones sobre el mismo tema y la consulta a personas e instituciones vinculadas al problema.

Cuando se llega a la identificación y definición precisa del problema, surge también la necesidad de considerar si la ejecución de un proyecto de investigación sobre el mismo, llena las especificaciones de política, objetivos y disponibilidad de recursos en la institución. La anterior referencia constituye una precaución a dos extremos indeseables en la investigación, uno es el de abordar proyectos menos importantes y oportunos que otros; y el otro extremo es el de abordar proyectos que aunque importantes son demasiado ambiciosos y se salen de las posibilidades de la institución. En ambos casos, el marco de política, objetivos, estrategias y recursos institucionales provee las directrices para la decisión de implementar un proyecto de investigación.

Al decidirse por la realización de tal proyecto, se procede a su presentación documentada, para lo cual puede adoptarse un formato donde se específican los siguientes aspectos de importancia.

1. Descripción del problema.
2. Hipótesis.
3. Objetivos.
4. Actividades contempladas.

En el último aspecto (Actividades) puede proseguir una descripción más detallada por cada una de las actividades, donde se presenta:

- Antecedentes y revisión bibliográfica.
- Hipótesis en prueba.
- Objetivos de la actividad.
- Materiales y métodos.
- Programa de ejecución; y
- Costos.

A continuación presentamos una guía que puede ser útil en la elaboración de proyectos, sin entrar a la descripción detallada de actividades. Esta puede utilizarse en el proceso de identificación y propuestas de proyectos de investigación, por parte de investigadores y extensionistas de la SRN, previo a la asignación de prioridades que se le da a un conjunto grande de proyectos, dentro de un programa de investigación.

Literatura Citada

1. Andrew Chris O. y Hildebrand, Peter "Planificación de la Investigación Agrícola" ICTA. Guatemala, 1977.

GUIA PARA LA PRESENTACION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION, A NIVEL DESCRIPTIVO GENERAL

CAPITULO I

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Debe basarse en el conocimiento que tenga el expositor sobre el problema y su correspondiente análisis conceptual, para lo cual ha de recurrirse a la revisión de antecedentes y consulta. El lenguaje y estilo debe ser sencillo, aunque preciso y breve. Se sugiere que la descripción contenga, en su orden, los siguientes aspectos:

1.1 Naturaleza del Problema.

Se explica concretamente en qué consiste el problema, en términos de limitaciones reales, hechos biológicos, etc. Aquí debe destacarse también, la importancia económica y social del problema.

1.2 Factores que inciden en el Problema.

Son factores de acción directa e importante sobre el problema y pueden ser de carácter tecnológico, cultural, ecológico, económico, ambiental y otros.

1.3 Otros Antecedentes.

Información histórica sobre el problema, soluciones planteadas o encontradas en otros medios distintos. Aspectos teóricos, de carácter científico y tecnológico.

CAPITULO II

HIPOTESIS DE TRABAJO

Estas constituyen planteamientos tentativos sobre posibles soluciones al problema. Se presentan en forma de relaciones con respecto a los factores que inciden en el problema u otros de carácter científico-tecnológico y pueden escribirse en el siguiente esquema (SI-ENTONCES): Ej. SI se introducen sistemas de alimentación con suplamentación proteíca, ENTONCES mejora la productividad lechera en tal región.

(en este ejemplo la hipótesis no es trivial porque aún no se sabe que sistema se adapta bien a tal región).

Hay que procurar que estas relaciones o hipótesis no incluyan un número grande de variables. Si ese fuera el caso, una hipótesis compleja (con muchas variables) puede subdividirse en varias sub-hipótesis.

Hay discrepancias en cuanto a la conveniencia de presentar estas hipótesis en este nivel general del proyecto y ello sugiere que podría hacerse esto a un nivel más específico, cuando ya se estén describiendo cada una de las actividades o experimentos del proyecto. Andrew & Hildebrand (1) citan que el hacerlo a este nivel general, se orienta el camino que debe seguir la investigación; y ese es el estilo generalmente empleado por los economistas agrícolas. En tanto que agrónomos y biólogos suelen hacerlo únicamente al nivel de actividades.

CAPITULO III

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Se expresan en términos de lo que se espera lograr del proyecto, en cuanto a:

a. Naturaleza de la información nueva o producto a obtener de la investigación.

b. Relaciones de esos productos con las soluciones al problema que se está investigando, y

c. Aclarar los medios en que se conducirá la investigación y la clientela a que se aplicarán los resultados.

Los objetivos usualmente se escriben en dos secciones:

3.1 Objetivo General.

Que resume el producto o información a buscarse, según los aspectos anteriores; se escribe en un solo párrafo.

3.2 Objetivos Específicos.

Es un desglose, por clase de información nueva o productos buscados. Cada uno de los objetivos específicos tiene relación con cada una de las hipótesis (si estas fueran planteadas) individuales y/o las posibles soluciones tecnológicas al problema.

CAPITULO IV

ACTIVIDADES CONTEMPLADAS

Para el alcance de cada uno de los objetivos específicos planteados, será necesario realizar una serie de acciones o trabajos de investigación, que se proponen y listan en este capítulo; indicándolos por su nombre, con algunos otros datos generales tales como: ubicación, tipo (experimento, encuesta, tra bajo de laboratorio, etc.) y duración probable. Hasta aquí llega la parte descriptiva general del proyecto.

Cada una de las actividades es presentada por separado, en forma detallada en un formato documental que incluye: definición, antecedentes (revisión bibliográfica), hipótesis bajo prueba, objetivos, materiales y métodos, programación y costo; todo lo cual constituye a su vez información básica para el programa operativo anual de la institución.

LA ESTADISTICA APLICADA A LA INVESTIGACION PECUARIA

Marcial Jara-Almonte.

CONSIDERACIONES GENERALES.

No todos los diseños conocidos en agricultura pueden aplicarse directamente a investigación pecuaria debido a una serie de factores y circunstancias.

1. Factores que Dificultan la Investigación Pecuaria.

   Son varios los factores que crean problemas al conceptualizar, ejecutar y analizar un ensayo de investigación en ganadería. Sin embargo, con ésto no se quiere afirmar que no se pueda realizar investigación. Entre los principales factores se pueden señalar:

   a. Unidades Experimentales Escasas.

      No es fácil conseguir en un hato, piara o laboratorio, un buen número de animales (vacunos, cerdos, etc.), para que puedan ser utilizados en un ensayo investigativo. Las fincas particulares no poseen suficiente número de unidades experimentales y al considerar otras fincas en el estudio se está introduciendo una fuente importante de variación que es la diferencia de condiciones de un rebaño con respecto a otros.

      El problema se agudiza cuando algún animal se muere, se enferma o el propietario desea deshacerse de él, como ha sucedido en ensayos iniciados para diferentes épocas de destete y el propietario decidió vender algunos animales antes de terminar el experimento.

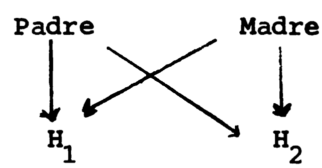
   b. Factores Raciales.

      i. Razas diferentes.
         Los animales que se encuentran en una finca, no siempre son de la misma raza o de la misma línea. La mayoría provienen de cruces con diferentes grados de encaste. Esto dificulta medir en

los animales las características fenotípicas para apreciar las diferencias entre los tratamientos en estudio. Será necesario "bloquear"* la variación entre razas o cruces, usando el diseño y la técnica experimental adecuada.

ii. En la misma raza.

La mayoría de las características de importancia económica mesurables dependen de varios pares de genes (herencia poligénica) y por lo tanto, salvo el caso de los mellizos verdaderos o gemelos, se puede tener animales geneticamente idénticos. Hay una gran variación genética.



Parentesco entre H_1 y H_2 = 50%. Tienen el 50% de genes en común.

- Hay que tener presente la diversidad de genotipos que se presentan en la vida práctica.

c. Estado de los Animales al Inicio del Experimento.

i. La edad.

La edad influye sobre la producción, por cuanto el animal está creciendo. Si se desea comparar raciones alimenticias, medidas por ganancias de peso, será necesario que al comenzar el ensayo se preste atención a este aspecto. Será conveniente uniformar la edad o ajustar los datos por edad. En el caso de ganado de leche la producción se incrementa gradualmente hasta la edad adulta para luego disminuir. Hay necesidad de hacer ajustes de la producción por la edad de las vacas al momento del parto. Con las producciones ajustadas se correrán los análisis y se realizarán las comparaciones del caso.

* Hacer que entre bloques aparezcan las diferencias de raza o cruces.

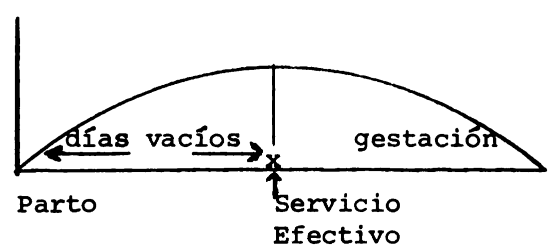
ii. El peso inicial.

Los animales experimentales no tienen el mismo peso al iniciar el ensayo. Será necesario tener presente las diferencias de peso inicial antes de aplicar los tratamientos y corregir la ganancia total de peso y/o las ganancias diarias por el peso inicial.

iii. Período de Lactancia.

Dentro de cada lactancia, la producción de leche varía. Aumenta hasta el segundo mes y luego disminuye. Será necesario tomar vacas que en lo posible estén en el mismo estado de lactancia. Como ésto no es posible, se aconseja iniciar el ensayo con vacas que estén entre el 2° hasta el 6° mes de lactancia. Esto reduce las posibilidades de conseguir buen número de unidades experimentales.

iv. Días Vacíos (gestación).



El tiempo que existe entre el parto y la siguiente concepción se llama días vacíos. Estos varían de vaca a vaca. Iniciada la preñez la madre tiene que alimentar a su cría (feto). Las exigencias son cada vez mayores. En vacas que no están preñadas, no existe este problema.

Será necesario uniformar la duración de días vacíos o ajustar las producciones por este factor antes de procesar la información.

d. Otras Consideraciones:

i) Porcentaje de grasa en la Leche.

Desde que la correlación genética entre grasa y leche es negativa: $r_g = -.4$ será necesario corregir la producción de leche al 4% para uniformar las cifras y con ellas realizar el análisis estadístico.

ii) Efectos Maternos.

Dependencia de las crías de sus madres especialmente durante las primeras semanas de vida (cerdos, animales de laboratorio, etc.). Esto no permite estimar el efecto genético, siendo necesario remover el efecto materno.

iii) Sexos diferentes.

Es sabido que los machos pesan más que las hembras. Si en un ensayo se trabaja con los dos sexos, será necesario hacer las correcciones del caso o el ajuste correspondiente en el modelo estadístico.

iv) Años, Generaciones y Fincas (hatos).

Cuando un experimento dura más de un año, incluye más de una generación y se hace en varias fincas, será necesario remover la variación debida a estos factores al analizar la información.

v) Número de Crías por Madre.

En ensayos de genética, es necesario medir algunas características en la progenie de cada madre. Sin embargo, el número de crías/madre no siempre es el mismo. Será necesario derivar coeficientes apropiados para completar el análisis estadístico y estimar los componentes de variancia (valores de k's).

vi) Manejo del Ganado.

Será necesario que de acuerdo a los objetivos del estudio, las prácticas generales de manejo sean las mismas a fin de evitar distorsiones en los resultados.

vii) Sanidad del Ganado.

Tener presente este aspecto a fin de reducir la posibilidad que algún trastorno pueda alterar los datos de productividad.

viii) Otros Misceláneos.

2. Necesidad de Registros y Controles.

Cuando se trabaja en el área de Mejoramiento Genético, es necesario utilizar una buena cantidad de datos, ya sea generados por el experimentador durante el tiempo, o utilizar los que existan. Estos deberán tener plena confiabilidad. De lo contrario las conclusiones que se obtengan carecerán de valor y el experimento no tendrá el rigor científico que se desea.

Asimismo, cuando se determinen los componentes de variancia se deberá controlar al máximo las variaciones ambientales para obtener buenos estimadores de factores genéticos.

3. Aspectos Prácticos.

En este acápite se listan algunas recomendaciones prácticas, sin pretender que éstas sean todas las que se deban tener presente:

a. Anotar con cuidado todos los datos tomados durante el experimento en las unidades experimentales. Al final de la toma de datos conviene revisarlos cuidadosamente para ver si se ha cometido algún error para corregirlo inmediatamente.

b. Antes de analizar la información, determinar: i) el valor mínimo y máximo o el rango; ii) el coeficiente de variación y ver la magnitud del mismo. Ojalá que asi fuese.

c. Chequear el listado de datos antes de analizarlos y ver si hay errores.

d. Ser veraz en la toma de datos.

e. No mostrar ninguna parcialidad por algún tratamiento.

f. No desanimarse sino se encuentra diferencias estadísticas (*; **; etc.) entre tratamientos, después de todo el diseño experimental y su análisis sirve para mostrar, con cierto grado de probabilidad, que los efectos promedio de los tratamientos son iguales o son diferentes.

DISEÑOS ESTADISTICOS EN INVESTIGACION PECUARIA

Marcial Jara-Almonte

Los diseños estadísticos en alimentación y nutrición pueden ser clasificados en dos categorías:

1. Experimentos contínuos.
2. Experimentos con cambio.

1. Experimentos contínuos.

Corresponden a aquellos en los que un animal una vez colocado con un tratamiento permanece hasta el final con el mismo tratamiento.

2. Experimentos con cambio.

Son aquellos en los cuales un animal recibe en secuencia dos o más tratamientos.

Al hacer uso de estos experimentos, el número de observaciones por tratamiento o el número de tratamientos estudiados pueden ser materialmente incrementados sin aumentar el número de animales utilizados. Los dos tipos de experimentos difieren en estos puntos:

a. La clase de efecto de tratamiento a estimarse.
b. La magnitud del error experimental.
c. La necesidad de controlar las fluctuaciones en la conducta de los animales debidas al tiempo.

a. Clase de efecto de tratamiento a estimarse.

Hay una limitación en la longitud de tiempo del experimento.

- Los animales en crecimiento o engorde producen resultados en este tipo de animal porque deben ser beneficiados.
- La producción de leche es afectada por el mes de lactancia.

Es obvio que el efecto medido en tiempo largo puede ser diferente en magnitud al medido en el corto tiempo. Asi los efectos medidos en una ración o tratamiento pueden ser diferentes si son considerados en un período largo o en un período corto.

En un experimento contínuo, el comportamiento de un animal mide el efecto de un tratamiento en forma exclusiva. En los experimentos con cambio el comportamiento del animal puede medir no solamente el tratamiento (efecto directo), sino también el efecto residual o "carry over effect" del tratamiento usado anteriormente.

b. Magnitud del error experimental.

En experimentos contínuos, el error experimental incluye la variación entre animales. En los diseños con cambio, esta fuente es excluída del error; por lo tanto, se espera que el cuadrado medio del error sea más pequeño.

De todos modos en los experimentos contínuos, la covariancia puede reducir el error experimental.

3. Necesidad de controlar las fluctuaciones en la conducta de los animales debidas al tiempo.

En los diseños contínuos, todos los animales son usualmente colocados al mismo tiempo. Existe efecto del tiempo pero puede afectar por igual a todos los animales.

Estos efectos del tiempo son importantes en los diseños con cambio.

En ganancias de peso, este carácter puede aumentar con la edad del animal, por lo menos hasta un punto.

En producción de leche, la proporción de síntesis y de producción decrece y muy marcadamente con los períodos avanzados de lactancia. Es obvio que cuando varias raciones se van a comparar en secuencia, el comportamiento de los animales será afectado por períodos particulares durante el experimento. Para contrastar la eficiencia de los tratamientos, el diseño debe proveer algún medio de remover el efecto del tiempo o esta do de los animales.

4. Diseños en Experimentos Contínuos.

   a. Completamente al azar.
   b. Block completo al azar o randomizado.
   c. Cuadrado Latino.
   d. Blocks incompletos.

5. Diseños en Experimentos con Cambio.

   a. Con cambio simple.
   b. Con cambio doble.
   c. Cuadrado Latino.

En los experimentos con cambio se consideran dos períodos diferentes: a) De acostumbramiento y, b) de comparación.

El período de acostumbramiento es el que antecede al de la aplicación de los tratamientos. Puede durar de 8 a 10 días a fin de que el animal se acostumbre a recibir el tratamiento que se quiere comparar.

El período de comparación es cuando se aplican los tratamientos que se van a comparar. En este lapso es cuando se registran las cifras que servirán para realizar el análisis estadístico.

DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR Y COMPARACIONES ENTRE MEDIAS DE TRATAMIENTOS.

Edgar Lionel Ibarra

También se denomina diseño irrestrictamente al azar y consiste en un arreglo en el cual no se divide previamente en bloques, el campo experimental o conjunto total de unidades experimentales. Los tratamientos se colocan repetidamente al azar y todo el experimento constituye un solo bloque de unidades, ya sean parcelas, animales, tubos de ensayo, etc. Por lo anterior, es el arreglo más sencillo para conducir un experimento con el propósito de poner a prueba una hipótesis sobre el efecto de determinados tratamientos.

Aspectos Teóricos

Si los tratamientos que se investigan, han sido escogidos por el experimentador de una manera prefijada, por un interés particular, se considera para fines de aplicación de la teoría de análisis estadístico, que estos efectos son de carácter "fijo", en tanto que si los tratamientos en estudio han sido escogidos al azar dentro de una población finita de posibles tratamientos, entonces se considera al efecto de tratamientos como aleatorio o al azar. En cada caso respectivo, las pruebas de hipótesis que se conducen son del siguiente tipo:

Efecto fijo. Hipótesis principal: $\tau_1 = \tau_2 = \ldots = \tau_t$

Hipótesis alternativa: $\tau_1 \neq \tau_2 \neq \ldots \neq \tau_t$

Efecto aleatorio: Hipótesis principal: $\sigma_t^2 = 0$

Hipótesis alternativa: $\sigma_t^2 \neq 0$

Donde los valores τ_i y σ_t^2 son los efectos de tratamiento y su varianza respectivamente, según el modelo lineal de este diseño, en el cual una observación experimental cualquiera X_{ij} es representada por: $X_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$ en donde μ es la media poblacional constante, generalmente desconocida y e_{ij} es la variación aleatoria considerada como error. Se asume que estos errores están normalmente distribuidos con media cero y varianza σ_e^2.

Instalación y Aplicaciones

El diseño al completo azar permite utilizar diferente número de repeticiones en cada tratamiento, sin embargo, por facilidad de cálculo en el análisis y también para lograr igual grado de precisión en las estimaciones de medias de tratamiento, es conveniente utilizar un igual número de repeticiones (r) en todos los tratamientos (t).

Si se tratara de un ensayo con animales, por ejemplo, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, donde cada animal representa una unidad experimental, se tendría:

un total de rt unidades, rt = 4 x 5 = 20

los tratamientos t_1, t_2, t_3, t_4 y t_5 se repartirían por sorteo, aplicando cada uno de estos a cuatro animales. En cada unidad experimental se llevaría un registro de observaciones cuantitativas y cualitativas durante el experimento. Algunos de los datos cuantitativos constituyen las variables o "criterios de medición" con los cuales se pone a prueba las hipótesis sobre efectos de tratamientos, mediante un instrumento que es el análisis de varianza.

En el modelo lineal de este diseño se podrá observar que las fuentes de variación que puede separar el modelo, son las que se refieren al efecto de tratamientos y otra fracción cuyas causas se desconocen pero que simplemente se denomina error experimental. No hay control de otra fuente exógena, como por ejemplo la variabilidad natural de los animales que constituyen las unidades experimentales, o la debida a factores ambientales y de manejo. Si estas fuentes exógenas fueran de gran magnitud, el componente de error será muy grande, lo cual repercute en una baja precisión experimental.

Hay otros diseños experimentales, que adelante seran discutidos, que si tienen un mayor grado de "control" de fuentes exógenas de variación y por lo tanto pueden ser mas precisos que este diseño. Es conveniente señalar estas limitaciones de nuestro diseño y a la vez sugerir algunas de las situaciones en que puede ser aplicado aprovechando la ventaja de su sencillez.

Por lo expuesto, se puede indicar que el diseño irrestrictamente al azar puede ser utilizado perfectamente donde las condiciones, tanto de ambiente y manejo como del material experimental, son apreciablemente homogéneas. Eso sucede especialmente en laboratorio, en trabajos con animales de estirpes homogéneas, por ejemplo: con ratas Wistar y con ciertas colonias de protozoarios.

En experimentos de campo el diseño es poco aconsejable, a menos que se tengan ciertas condiciones de homogeneidad, lo cual puede suceder con especies menores (aves por ejemplo).

Análisis de Varianza.

Según el modelo lineal del diseño, el análisis de varianza tiene la siguiente estructura si se coloca un igual número de repeticiones por tratamiento:

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Valor esperado del cuadrado medio	
		Modelo Fijo	Modelo Aleatorio
Total	rt - 1		
Tratamientos	t - 1	$\sigma_e^2 + \frac{r}{t-1}\sum \tau_i^2$	$\sigma_e^2 + r\sigma_t^2$
Error	(r-1) (t-1)	σ_e^2	σ_e^2

Para cualquiera de los dos modelos de efecto de tratamiento, la prueba de significancia "F" se realiza utilizando el cuadrado medio del error experimental como denominador:

$$\text{"F"} = \frac{\text{CM tratamientos}}{\text{CM error}}$$

Si se rechaza la hipótesis principal ha de interpretarse que existen diferencias significativas entre las medias de tratamientos, o que hay una variación significativa debida al efecto de tratamientos; según el modelo fijo y el modelo aleatorio, respectivamente.

Comparaciones entre medias de tratamientos

Al obtenerse un resultado significativo en la prueba "F", procede una comparación entre medias de tratamientos para obtener mayor información sobre la naturaleza de las diferencias observadas experimentalmente.

Existen dos criterios para la realización de estas comparaciones:

a) Comparaciones diseñadas, que son las que el experimentador ha planificado realizar apriori.

b) Comparaciones no diseñadas, que pueden ser todas las que se sugieren a la luz de los resultados obtenidos; no planeadas apriori.

En el caso de comparaciones diseñadas, el criterio comparador apropiado es la "mínima diferencia significativa" (MDS):

$$MDS = t_{\alpha}\, Sd$$

donde t_{α} es la estadística normal standarizada ("student"), leída en tablas con f_e grados de libertad del error experimental y al 5% (α) de probabilidad.

Por otra parte, S_d es el error típico (error standard) de la diferencia entre dos medias de tratamiento, dado por:

$$S_d = \sqrt{\frac{2\ CM\ error}{r}}$$

Se calculan las diferencias entre dos medias y si estas son iguales o mayores que la MDS se declara que los dos tratamientos cuyas medias se están comparando, difieren significativamente entre si:

En el caso de comparaciones no diseñadas se recurre al uso de pruebas de "amplitud múltiple" o a una continuación del análisis de varianza mediante el método de componentes ortogonales. Los procedimientos de MDS y de amplitudes múltiples se ilustran en el siguiente ejemplo:

En un experimento sobre nutrición se comparan cuatro dietas A, B, C, D en cerdos en crecimiento y durante un período de diez semanas; se definió que la unidad experimental es un animal y se incluyeron cuatro animales por cada tratamiento. El lote de 16 cerdos fue tratado en condiciones idénticas, excepto por la alimentación y fueron mantenidos en un mismo espacio confinado durante el experimento.

Un resumen de los datos tomados, que presenta la ganancia total de peso (Kg.) por animal, ordenados según cada tratamiento, es el siguiente:

Tratamiento	Peso por Animal				Total $\sum x_i$	Media $\bar{x}_i$
A	11.2	27.2	20.8	20.8	80.0	20.0
B	26.1	30.6	27.9	29.9	114.5	28.62
C	13.2	15.4	18.8	20.1	67.5	16.88
D	24.4	24.0	31.0	24.4	103.8	25.95
				Total	365.8	-

La dieta A es la alimentación normal con maíz entero, desperdicio de frutas y hortalizas, suero de leche. Las dietas B y D son dietas sobre la misma base normal pero con un suplemento de proteína de soya y aditivo de sales minerales y vitaminas, variando entre los dos únicamente en la dosis de suplemento. La dieta C es similar a A pero se ha suprimido el suero de leche. Al investigador le interesa principalmente la comparación entre las dos dietas B y D y entre éstas y la dieta A; y entre A y C.

Análisis de Varianza.

De acuerdo a la estructura de análisis presentada en la sección anterior, la variación total, en términos de lo que se denomina suma de cuadrados se descompone así:

SC total = SC tratamientos + SC del error.

SC total $= \sum x_{ij}^2$ - FC, donde: FC: factor de corrección

$$FC = \frac{\sum x_{ij}}{rt}$$

$$SC\ total = 11.2^2 + 26.1^2 + \ldots + 20.1^2 + 24.4^2 - \frac{365.8^2}{16}$$

SC total = 8,917.1,205 - 8,363.1,025 = 554.0180

$$SC\ tratamientos = \frac{\sum x_i^2}{r} - FC$$

$$\text{SC tratamientos} = \frac{80.00^2 + .. + 103.8^2}{4} - 8363.1025$$

SC tratamientos = 8710.2350 - 8363.1025 = 347.1325

Como se ha calculado el total y uno de los dos componentes de variación, la segunda que corresponde al error experimental, se obtiene por simple diferencia:

SC error = SC total - SC tratamientos.

SC error = 554.0180 - 347.1025 = 206.8855

Los anteriores resultados se incluyen en el siguiente cuadro de análisis, donde los cuadrados medios o varianzas resultan de dividir la suma de cuadrados por su correspondiente número de grados de libertad.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	"F"
Total	15	554.0180		
Tratamientos	3	347.1325	115.7108	6.71**
Error	12	206.8855	17.2405	

** La prueba de significancia "F" $= \frac{115.7108}{17.2405} = 6.71$, resulta ser superior al valor tabular de "F" = 5.95, para 3 y 12 grados de libertad al 0.01 de probabilidad. Con ello se rechaza la hipótesis lineal de igualdad de tratamientos y se detectan diferencias altamente significativas entre éstos. Como se indicó al inicio que el experimentador tenía un interés a priori en ciertas comparaciones, se procede a las mismas utilizando la MDS como comparador:

$$MDS = t_{\alpha, r} \; S_d \quad , \quad S_d = \sqrt{\frac{2(17.2405)}{4}} = \pm 2.94$$

Comparaciones de interés:

Dieta B vs. dieta D: B - D = 28.62 - 25.95 = 2.67 nd

Dieta B vs. dieta A: B - A = 28.62 - 20.00 = 8.62 *

Dieta D vs. dieta A: D - A = 25.95 - 20.00 = 5.95 nd

Dieta A vs. dieta C: A - C = 20.00 - 16.88 = 3.12 nd

$$MDS_{5\%} = 2.18\ (2.94) = \pm\ 6.41$$

$$MDS_{1\%} = 3.06\ (2.94) = \pm\ 9.00$$

Según las comparaciones anteriores, el investigador puede informar que: no hay diferencia entre las dos dietas B y D con suplemento protéico pero que de éstas, la dieta B es significativamente diferente de la dieta A (alimentación normal + suero de leche). También puede indicar que aunque es aparente una diferencia entre las dietas A y C, dicha diferencia no alcanzó el umbral de significancia estadística; se sugiere que el suero de leche, que es lo único diferente entre A y C, no manifestó un incremento significativo en este experimento.

Por las comparaciones anteriores también resulta que B y D son significativamente diferentes y superiores que C.

Con propósitos ilustrativos vamos a asumir que en este ejemplo no habían comparaciones de interés prefijadas; en cuyo caso se puede recurrir a comparaciones de amplitudes múltiples. Veamos las siguientes pruebas, las cuales son aplicables a experimentos con cualquier diseño experimental.

Prueba de Scheffé.

Esta prueba permite comparaciones entre todos los contrastes posibles y utiliza un criterio relativamente conservador o cauteloso, para compensar un riesgo mayor que el estipulado nivel de significancia $\alpha = 0.05$ de hacer inferencias erroneas a medida que aumenta el número de tratamientos.

El poder discriminatorio o potencia de esta prueba es bajo debido al criterio anterior, pero puede utilizarse para comparaciones aproximadas que sugieran los resultados después del análisis de varianza. El procedimiento requiere primero del cálculo del valor:

$$S^1 = \sqrt{f_t \cdot F_\alpha (f_t, f_e)}$$

donde f_t y f_e son los grados de libertad de tratamientos y del error respectivamente. $F_\alpha (f_t, f_e)$ es el valor tabular de la distribución de "F" con f_t, f_e grados de libertad, al nivel $\alpha = 0.05$ de probabilidad. Luego, el valor crítico de la prueba está dado por:

V Crítico = $S^1 \cdot S_d$ si se aplica a diferencias entre medias de tratamiento.

En el ejemplo, se tiene que:

$f_t = 3$, $f_e = 12$, $F_{0.05(3.12)} = 3.49$ según tabla de "F"

y Sd = $\pm$ 2.94. Entonces:

$S^1 = \sqrt{3(3.49)} = 3.24$

V Crítico Scheffé = 3.24 (2.94) = $\pm$ 9.51

Podrá observarse que por el criterio cauteloso de esta prueba, el valor crítico es mayor que la MDS para el mismo nivel de probabilidad 0.05.

Para aplicar la prueba a comparaciones entre medias de tratamiento, se pueden ordenar en forma ascendente los valores de todas las medias:

Tratamiento	C	A	D	B
Media	16.88	20.00	25.95	28.62

Los valores subrayados por una misma línea no difieren significativamente entre si, puesto que sus diferencias no sobrepasan el valor crítico 9.51. Puede decirse que con esta prueba la única diferencia significativa es la de la dieta C con respecto a la dieta B.

Procedimiento de Tukey.

Este procedimiento se aplica a comparaciones de pares de medias de tratamiento, utilizando como criterio comparador el valor crítico W:

$$W = q_{\alpha}\,(t,\ f_e)\ S_{\bar{x}}$$

donde $S_{\bar{x}}$ es el error típico (standard) de las medias de tratamiento dado por:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\text{CM error}}{r}} = \sqrt{\frac{17.2405}{4}} = \pm\ 2.08 \text{ Kg.}$$

El valor $q_{\alpha}\,(t,\ f_e)$ se denomina amplitud "standarizada", que se obtiene de tablas 1/, correspondiente a t número de tratamientos y f_e grados de libertad, al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ de probabilidad. Asi se tiene que: q 0.05 (4,12) = 4.20.

Entonces:

$$W = 4.20\ (2.08) = 8.74$$

Este valor crítico de Tukey es algo menos que el comparador de Scheffé. Es relativamente mas potente.

Con una forma similar a la prueba anterior, de presentación de las comparaciones por ordenamiento de medias, el resultado de las comparaciones con el procedimiento de Tukey es:

Tratamiento	C	A	D	B
Media	16.88	20.00	25.95	28.68

1/ Steel, R.G.D. and J.H. Torrie: "Principles and Procedures of Statistics, A Biometrical Approach". Mc Graw Hill 1980.

Son significativas las diferencias entre la dieta C con respecto a las dietas D y B. Estas dos últimas y la dieta A no difieren estadísticamente entre si. Es un resultado algo parecido al anterior pero podría permitir la selección de las dietas D y B como promisorias.

Nueva Prueba de Duncan, de Amplitudes Múltiples.

Esta prueba es aún menos cautelosa que las dos anteriores y es apropiada en experimentos con un número relativamente grande de tratamientos por utilizar un variable nivel de significancia estadística a medida que aumentan los tratamientos. Por lo tanto, no utiliza un valor crítico comparador único sino que varios, según las posiciones intermedias que haya entre dos medias que se están comparando, después de colocar todos las medias en orden (ascendente o descendente) de magnitud.

Para comparar dos medias contiguas se toma un valor $p = 2$ de posiciones intermedias. Para comparar las dos medias con valores extremos (la más alta vs. la mas baja) entonces $p = t$.

Entonces para cada amplitud p, desde 2 hasta t, se pueden leer valores críticos de $q \ (p, f_e)$ en las tablas (1) de Duncan, que para nuestro ejemplo serían los siguientes valores ($\alpha = 0.05$):

Posiciones p:	2	3	4		
$q0.05$ (4, 12)	3.08	3.23	3.33	←	Leídos en tabla de Duncan
Valor Crítico Rp	R_2	R_3	R_4	...	R_t

Los valores críticos R_p que sirven de comparadores se obtienen de:

$R_p = S_{\bar{x}} \, q$ donde $S_{\bar{x}}$ es el error típico (standard) de las medias de tratamiento.

$R_2 = 2.08\ (3.08) = 6.41$ observese que R_2 = MDS

$R_3 = 2.08\ (3.23) = 6.72$

$R_4 = 2.08\ (3.33) = 6.93$

Ordenando las medias en forma descendente se tendrá lo siguiente:

Dieta	Media	
B	28.62	a
D	25.95	ab
A	20.00	bc
C	16.88	bc
Error Típico $\pm$	2.08	

Cambiando un poco el estilo de presentación, se puede decir que con la prueba de Duncan, las medias acompañadas de una misma letra (a, b, c) en el cuadro anterior, no difieren estadísticamente entre si. En este resultado también se destaca la superioridad de las dietas B y D.

Para presentar el cuadro de resultado anterior fue necesario hacer las siguientes comparaciones, comenzando con los valores extremos:

Comparación.	Diferencia absoluta	P	Comparador R_p	Resultado
C vs. B	16.88 - 28.62 = 11.74	4	6.93	Significativa
C vs. D	16.88 - 25.95 = 9.07	3	6.72	Significativa
C vs. A	16.88 - 20.00 = 3.12	2	6.41	No significativa
A vs. B	20.00 - 28.62 = 8.62	3	6.72	Significativa
A vs. D	20.00 - 25.95 = 5.95	2	6.41	No significativa
D vs. B	25.95 - 28.62 = 2.67	2	6.41	No significativa

También pudieron presentarse los resultados así:

Tratamiento	C	A	D	B
Media	16.88	20.00	25.95	28.62
Comparación				

DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR
(DBCA)

Marcial Jara-Almonte

INTRODUCCION

Este diseño es posiblemente el de mayor uso en la experimentación agropecuaria.

El diseño completamente al azar es recomendado cuando no hay otras fuentes de variación que las debidas al efecto de los tratamientos en estudio. Sin embargo, en muchas situaciones es conocido de antemano que ciertas unidades experimentales tratadas en forma igual podrán parecerse más que el resto de las otras unidades. Por ejemplo en experimentos de campo, parcelas vecinas responderán en forma más o menos parecida en relación con las otras que estén separadas.

Asimismo, animales más pesados en un grupo de la misma edad pueden mostrar una diferente rata de ganancia de peso que los animales más livianos. También, observaciones efectuadas en un día en particular pueden parecerse más que las observaciones tomadas en días diferentes.

En estas circunstancias, cuando la respuesta de las unidades experimentales puede ser anticipada, ciertos diseños pueden permitir que la porción de la variabilidad atribuible a la fuente reconocida puede ser medida y excluída del error experimental. Al mismo tiempo, las diferencias entre tratamientos no contendrán la variabilidad atribuible a la fuente adicional de variación. El D.B.C.A. permite hacer realidad lo que se acaba de señalar.

1. El Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA).

   Se usa cuando las unidades experimentales pueden ser satisfactoriamente agrupadas en blocks. El número de unidades en un grupo puede ser igual al de los tratamientos o múltiple de éste. Cada grupo así formado se llama Block o Repetición.

Block I	A	C	D	B
Block II	B	C	A	B
Block III	D	A	B	C

a. Objeto de Agrupar o Formar Blocks.

Tener unidades en un block tan uniformes como sea posible de tal manera que las diferencias internas serán debidas mayormente a los tratamientos que se están estudiando.

La variabilidad entre las unidades en diferentes blocks será, en promedio, más grande que la variabilidad entre las unidades del mismo block si los tratamientos no fueran aplicados.

La variabilidad entre blocks no afectará las diferencias entre los promedios de tratamientos desde que cada uno aparece igual número de veces en cada block.

En experimentos con plantas, un block usualmente consiste de una franja de terreno o de plantas. En ganadería el criterio para formar blocks puede ser:

i. Peso inicial de los animales.

ii. Condiciones de los animales (bien alimentados, regularmente alimentados).

iii. Razas o tipos de encaste.

iv. Sexos.

v. Edad.

vi. Estado de lactancia (2°, 3er. mes, etc.)

vii. Camadas en porcinos, etc.

Durante el experimento todas las unidades del block deben ser tratadas uniformemente en todos los aspectos (cuidados culturales, manejo; etc.) salvo lo inherente a los tratamientos en sí.

Cualquier cambio en la técnica, debe ser realizado en todo el block.

El D.B.C.A. es un diseño con balance porque:

i. Cada tratamiento aparece igual número de veces, usualmente una vez en cada block.

ii. Cada block contiene todos los tratamientos.

Es un diseño que da bastante precisión y por lo tanto es uno de los más utilizados.

b. Randomización.

Cuando las unidades experimentales (animales) han sido asignados a cada block éstas son distribuídas al azar dentro de cada block.

c. Ventajas.

El D.B.C.A. tiene muchas ventajas sobre otros diseños.

i. Es posible agrupar las unidades experimentales dentro de blocks de tal manera que más precisión se obtiene en relación con el Diseño Completo al Azar.

ii. No hay restricción en cuanto al número de tratamientos o blocks.

iii. Si se desea incluir repeticiones extras de tratamientos, éstas pueden ser incluídas a razón de 2 o más unidades por block.

iv. El análisis estadístico es simple.

v. Si por alguna circunstancia se mueren animales de un block, éstos pueden ser suprimidos del diseño y del análisis.

vi. Si alguna unidad experimental es perdida, ésta puede ser estimada o puede hacerse el análisis con desigual número de observaciones.

d. Desventaja.

Cuando la variación entre unidades experimentales dentro de un block es grande, el error experimental se incrementa. Esto ocurre cuando el número de tratamientos es grande, ya que no será posible utilizar unidades experimentales uniformes dentro de un block.

e. Análisis de Varianza.

y = Variable.
t = Tratamientos. ($i = 1,2...t$)
r = Block. ($j = 1,2...r$)

- Modelo Aditivo Lineal.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + e_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = Una observación cualquiera.

μ = Media general.

β_i = Efecto de tratamientos ($i = 1,2...t$).

T_j = Efecto de blocks ($j = 1,2...r$).

e_{ij} = Error experimental.

f. Supuestos.

Y_{ij} = Variable al azar.

μ = Constante.

e_{ij} = Error al azar normal e independientemente distribuído con promedio cero y varianza común σ_e^2

g. Restricciones:

$$\sum_{i=1}^{r} T_i = 0$$

$$\sum_{j=1}^{t} \beta_j = 0$$

h. Modelos:

Modelo I. Los efectos son fijos.

Modelo II. Los efectos son al azar.

Modelo Mixto.

El Modelo Fijo es el más apropiado. Los tratamientos no son tomados al azar, son fijados con anticipación (raciones, niveles de proteína, de grasa, etc.). Se asume con este modelo que una repetición del experimento puede traer el mismo conjunto de T_j's en el nuevo experimento; en cambio en el modelo al azar puede originarse un nuevo set de T_j's.

Existe también el modelo mixto, en el cual algunos efectos son fijos y otros al azar. Si no hay interacción entre tratamientos y blocks, el cuadrado medio del error puede servir para determinar las diferencias entre blocks y tratamientos. Si hay interacción no es posible hacer una prueba válida de F cuando no haya más de una observación por célula. El error de la muestra puede servir para las pruebas de significación de blocks, tratamientos e interacción.

i. Análisis de Varianza (ANVA).

Sea Y_{ij} una observación cualquiera, donde:

i = tratamiento (t; A,B,C)

j = blocks (r)

Block 1	Y_{A1}	Y_{B1}	Y_{C1}
Block 2	Y_{B2}	Y_{C2}	Y_{A2}

Block 3

Y_{C3}	Y_{A3}	Y_{B3}

j. Cálculos:

Símbolos

i. Suma de Blocks:

$$\left.\begin{array}{l} Y_{A1} + Y_{B1} + Y_{C1} = Y_{.1} \\ Y_{B2} + Y_{C2} + Y_{A2} = Y_{.2} \\ Y_{C3} + Y_{A3} + Y_{B3} = Y_{.3} \end{array}\right\} \sum Y_{.j}$$

ii. Suma de Tratamientos:

$$\left.\begin{array}{l} Y_{A1} + Y_{A2} + Y_{A3} = Y_{A.} \\ Y_{B1} + Y_{B2} + Y_{B3} = Y_{B.} \\ Y_{C1} + Y_{C2} + Y_{C3} = Y_{C.} \end{array}\right\} \sum Y_{i.}$$

iii. Suma total: $Y.1 + Y.2 + Y.3 = Y.. =$ STotal $= \sum_{ij}^{t,r} Y_{ij}$

iv. Factor de corrección: FC

$$FC = (Y..)^2/r.t.$$

v. Suma de Cuadrados de Blocks.

$$\frac{(Y_{.1}^2 + Y_{.2}^2 + Y_{.3}^2)}{t} - FC = \frac{\sum_{j=1}^{r} Y_{.j}^2}{t} - FC = \text{S.C. Blocks.}$$

vi. Suma de Cuadrados de Tratamientos.

$$\frac{(Y_{A.}^2 + Y_{B.}^2 + Y_{C.}^2)}{r} - FC = \frac{\sum_{i=1}^{t} Y_{i.}^2}{r} - FC = \text{S.C. Tratamientos.}$$

vii. Suma de Cuadrados Total.

$$\sum_{ij} Y_{ij}^2 - FC = \text{S.C. Total}$$

viii. Suma de cuadrados del Error: SCE

SCE = SC Total-SCBlocks-SC Tratamientos.

Análisis de Varianza (ANVA)

Fuentes de Variación	Grados de Libertad: gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio
- Blocks	r-1	$\dfrac{\sum_{j=i}^{r} Y_{.j}^{2}}{t}$ - FC = SCB	$\dfrac{SCB}{r-1}$ = CMB
- Tratamientos	t-1	$\dfrac{\sum_{i=1}^{t} Y_{i.}^{2}}{r}$ - FC=SC. Trat.	$\dfrac{SCTrat.}{t-1}$ = CM Trat.
- Error	(r-1) (t-1)	SCTo. -SCB-SCTrat.=SCE	$\dfrac{SCE}{(r-1)\ (t-1)}$ =CME.
- Total	rt-1	$\sum_{ij} Y_{ij}^{2}$ - FC = SC.To.	

Valores de F.

Para Blocks = CMB/CME, con r-1/(r-1)(t-1) gl.

Para Tratamientos = CMTratamientos/CME con (t-1)/(r-1)(t-1) gl.

Cálculos adicionales.

Siendo s^2 = CME

- $s\bar{d} = \sqrt{\dfrac{2\ s^2}{r}}$

- $CV = \dfrac{s}{\bar{Y}} \times 100$

- $s_{\bar{Y}} = \sqrt{\dfrac{CME}{r}}$

2. Interpretaciones acerca de los Blocks.

La interpretación de los resultados requiere cierto cuidado. En la mayoría de los experimentos $\sum_{j=1} B_j = 0$, lo cual indica que no habría diferencia entre los blocks; sin embargo es sabido que hay diferencia entre los blocks. Cuando ésta existe, se suele decir que el experimento tiene poco valor. Esto no es verdad.

Si hay diferencia entre blocks, indica que la precisión del experimento ha sido incrementada por el uso de este diseño en relación con el Diseño Completo al Azar. Asimismo, el horizonte del experimento será incrementado cuando los blocks son diferentes estadísticamente, por cuanto los tratamientos han sido probados en un amplio rango de condiciones experimentales; salvo el caso que la variación haya sido excesivamente grande y el problema de heterogeneidad del error puede aflorar.

Si la diferencia entre blocks es pequeña, quiere decir que el experimento no ha sido capaz de reducir el error experimental y que agrupando las unidades no se ganó nada o que las unidades experimentales fueron esencialmente homogeneas al comenzar el experimento.

3. Comparaciones individuales.

Utilizando la información del ANVA, se pueden encontrar las diferencias entre los promedios de los tratamientos utilizando las comparaciones individuales.

i. Diferencia mínima significativa.

$$d.m.s. = t\alpha \, s_{\bar{d}}$$

ii. Duncan:

Amplitud límite de significación.

$$SSR \times s_{\bar{x}}$$

iii. Tukey's:

$$w = q\alpha(p,.n_2)\ s_{\bar{x}}$$

$q\alpha$ obtenido de tabla

α puede ser .05 ó .01

iv. Dunnett $t = \dfrac{|\bar{Y}c - \bar{Y}i|}{\sqrt{2\dfrac{s^2}{r}}}$

v. Contrastes ortogonales.

4. Pérdidas de unidades experimentales en ensayos planeados en DBCA.

En los experimentos suelen ocurrir accidentes que ocasionan la pérdida de una o varias unidades experimentales. Sin embargo es posible estimar un valor para la o las unidades experimentales perdidas.

Es importante destacar que la estimación del valor de una unidad experimental perdida solo da un promedio en función de los datos restantes del experimento con el único objeto de permitir el análisis.

a. Caso de una unidad perdida.

Yates logró la siguiente expresión para estimar el valor de la observación o unidad experimental perdida. Esta es:

$$Y = \frac{rB + t\ T - G}{(r-1)\ (t-1)}\ ;\ \text{Ecuación (1)}$$

donde:

t = número de tratamientos en estudio.

T = total de valores de las unidades que le quedan al tratamiento en el cual se perdió la unidad experimental.

r = número de bloques.

B = total de valores de las unidades que le quedan al bloque que perdió la unidad experimental.

G = total de las unidades que quedan en el experimento (gran total).

Calculado Y o valor estimado, se desarrolla el análisis de varianza en la forma usual, disminuyendo un grado de libertad del total y del cuadrado medio del error.

La suma de cuadrados de tratamientos resulta parcializada hacia arriba en una cantidad equivalente a:

$$\frac{[B - (t-1)\,Y]^2}{t(t-1)} \quad ; \text{ ecuación } (2)$$

Donde Y es encontrado con la ecuación (1).

El error standard de la diferencia entre el promedio del tratamiento con un valor perdido y cualquier otro tratamiento es:

$$s\bar{d} = \sqrt{s^2 \left[\frac{2}{r} + \frac{t}{r(r-1)(t-1)}\right]}$$

b. Caso de varias unidades perdidas.

Yates propone el método siguiente:

Cuando hay dos o más unidades perdidas debe hallarse primero un valor promedio para todas las unidades que faltan, excepto una, en función del promedio del tratamiento y del bloque a que pertenece cada una, usando la expresión: $\left[(\bar{Y}_{i.} + \bar{Y}_{.j})/2\right]$ donde:

$\bar{Y}_{i.}$ = promedio de valores conocidos en el tratamiento.

$\bar{Y}_{.j}$ = promedio de valores conocidos en el block donde se perdió la unidad.

Luego se aplica la fórmula:

$$Y = \frac{rB + t\,T - G}{(r-1)\,(t-1)} \quad ; \text{ ecuación } (1)$$

a la unidad exceptuada, comenzando así un ciclo de estimaciones.

Estimado el valor de la primera unidad perdida, dicho valor se asig na a la unidad y se procede a estimar el valor de la siguiente unidad perdida, continuando así con todas las demás hasta terminar el primer ciclo.

Se repite un nuevo ciclo de estimaciones procediendo de igual forma y en el mismo orden que la primera vez, con lo que se obtiene una segunda serie de estimaciones y así se continua con otro ciclo hasta que la nueva serie de estimaciones no difiera de la anterior. Esto puede suceder al terminar el segundo o tercer ciclo.

Terminada esta etapa, la última serie de valores estimados se incluye en el cuadro de resultados.

Por cada valor perdido, un grado de libertad es sustraído del total y del error, debido a que los valores estimados no contribuyen a la suma de cuadrados.

Ejemplo: Con dos unidades perdidas (*)

	Blocks				Total Tratamientos	
Tratamientos	1	2	3	4	Valores Observados	Todos los Valores
1	4.4	5.9	6.0	4.1	20.4	
2	a $\boxed{4.5}^*$	1.9	4.9	7.1	13.9	18.4
3	4.4	4.0	4.5	3.1	16.0	
4	6.8	6.6	b $\boxed{7.2}^*$	6.4	19.8	27.0
5	6.3	4.9	5.9	7.1	24.2	
6	6.4	6.3	7.7	6.7	28.1	
Total valores observados.	28.3	29.6	29.0	34.5	122.4	
Blocks. Todos los valores.	32.8		36.2			

Procedimiento.

1) <u>Estimación de "b"</u>

$$b = \frac{\bar{Y}_{i.} + \bar{Y}_{.j}}{2} = \frac{19.8/3 + 29/5}{2} = 6.2 \ ;$$

2) Estimación de "a" (1ª ciclo con la ecuación conocida).

$$a_1 = \frac{rB + T-G}{(r-1)(t-1)} = \frac{4\ (28.3) + 6\ (13.9) - 128.6}{(4-1)\ (6-1)} \overset{*/}{=} \underline{4.5}$$

*/ Note que G = 128.6 = 122.4 + 6.2 (valor estimado).

3) Estimación de "b", primer ciclo.

$$b_1 = \frac{rB + T-G}{(r-1)\ (t-1)} = \frac{4\ (29) + 6\ (19.8) - 126.9}{(4-1)(6-1)} \overset{**/}{=} \underline{7.2}$$

**/ Note que G = 126.9 = 122.4 + 4.5

4) Estimación de "a", segundo ciclo.

$$a_2 = \frac{rB + tT-G}{(r-1)(t-1)} = \frac{4\ (28.3) + 6\ (13.9) - 129.6}{(4-1)(6-1)} \overset{1/}{=} \underline{4.5}$$

1/ Note que G = 129.6 = 122.4 + 7.2 (valor recién encontrado).

5) Estimación de "b", segundo ciclo.

$$b_2 = \frac{rB + tT-G}{(r-1)(t-1)} = \frac{4\ (29) + 6\ (19.8) - 126.9}{(4-1)(6-1)} \overset{2/}{=} \underline{7.2}$$

2/ Note que G = 126.9 = 122.4 + 4.5, con el 1ª ciclo.

Note que $a_1 = a_2$

Los valores promedios en el block y tratamientos de las unidades perdidas se encuentran así:

a = 32.8/6 + 18.4/4 - 134.1/24 = 4.5

b = 36.2/6 + 27.0/4 - 134.1/24 = 7.2

El análisis de varianza se calcula de la manera usual incluyendo los valores estimados 4.5 y 7.2.

Para obtener el error standard para la comparación de dos promedios cada uno con un valor perdido requiere encontrar el "número efectivo de repeticiones" para los tratamientos respectivos.

Para comparar los tratamientos "2" y "4" se calçula así:

Una repetición del tratamiento 2 es contada como 1 cuando ambos tratamientos están en el mismo block, como en el caso de los blocks 2 y 4; como (t-2)/(t-1) cuando el tratamiento 2 está presente pero el 4 no está, como en el block 3 y; como 0 cuando ambos tratamientos están ausentes en el mismo block. La misma regla se aplica al tratamiento 4.

Tratamiento 2.

Blocks 2 y 4 = $1 + 1 = 2.0$

Block 3, solo está el 2 = $\frac{6-2}{6-1} = .8$

Suma 2.8

Tratamiento 4

Block 1 $\frac{t-2}{t-1} = \frac{6-2}{6-1} = .8$

Block 2 y 4 $1 + 1 = 2$

Suma 2.8

Entonces:

$$s\bar{d} = \sqrt{s^2 \left(\frac{1}{2.8} + \frac{1}{2.8} \right)}$$

Caso de tratamientos 2 y 3

Tratamiento 2

Block 1 .0

Block 2, 3 y 4: 1 + 1 + 1 = 3

3.0

Tratamiento 3

Block 1 .8

Block 2, 3 y 4 3

3.8

Entonces:

$$s\bar{d} = \sqrt{s^2 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3.8} \right)}$$

EJEMPLO DE DISEÑO EN BLOCK COMPLETO AL AZAR

Se han ensayado durante 4 meses 6 raciones de concentrado en vacas de 1ª, 2ª, 3ª y 4ª lactancia.[1/] El efecto de los tratamientos se midió en litros de leche/vaca/día durante todo el tiempo del experimento. Las producciones de leche fueron obtenidas a un ordeño diario con ayuda de ternero y normalizadas al 4% de grasa y expresadas en Kg.

Tratamientos	Vacas			
	1° Parto	2° Parto	3° Parto	4° Parto
1	4.4	5.9	6.0	4.1
2	3.3	1.9	4.9	7.1
3	4.4	4.0	4.5	3.1
4	6.8	6.6	7.0	6.4
5	6.3	4.9	5.9	7.1
6	6.4	7.3	7.7	6.7

Se pide:

1. Escribir el modelo lineal con la definición de cada término, asumiendo que no hay interacción entre lactancias y raciones.

2. Determinar el rango de la población muestreada y decir si el coeficiente de variación está dentro de los límites aceptables.

3. Analizar estadísticamente el experimento para determinar si hubo diferencia significativa entre las raciones utilizadas.

Respuestas

1. $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij}$

donde:

Y_{ij} = Una observación cualquiera.
μ = Promedio general.
T_i = Efecto de tratamientos.
B_j = Efecto de blocks.
e_{ij} = Error experimental.

1/ Lactancia = parto

2. Rango: 1.9 a 7.7

Coeficiente de Variabilidad = $\frac{s \times 100}{\bar{x}}$

donde:

$s = \sqrt{1.31} = 1.14$

$\bar{Y} = \frac{132.7}{24} = 5.53$ Kg.

$CV = \frac{1.14 \times 100}{5.53} = 20.6\%$

CV = 20.6%. Este valor está dentro de los límites aceptables.

3. Análisis de Varianza.

Fuentes de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
- Blocks	r-1=3	3.14	1.05	
- Tratamientos	t-1=5	31.65	6.33	4.83**
- Error	(1-1)(t-1)=15	19.72	1.31	
Total	rt-1 = 23	54.51		

✓

DISEÑO EN BLOCK COMPLETO AL AZAR CON SUBMUESTRAS

Marcial Jara-Almonte

En algunos experimentos, la unidad experimental completa no siempre está formada por una observación. Por lo tanto es necesario distinguir entre error experimental y error de muestreo o de muestra, ya que en este caso, hay dos fuentes de variación que contribuyen a la variación aplicable a las comparaciones entre promedios de tratamientos a saber:

- En el caso de que dentro de las parcelas se tomaran pedazos de parcela (o muestras), habrá una variación entre estos pedazos en una unidad o parcela experimental, aún cuando la parcela tenga un solo tratamiento. Esta variación estará presente en las comparaciones entre tratamientos.

- La variación entre parcelas que recibieron el mismo tratamiento. Si en el diseño hay muestreo, el conjunto de muestras de una parcela difiere del conjunto de muestras de otra parcela, aunque ambas parcelas hayan recibido el mismo tratamiento. Usualmente esta variación es mayor que la variación entre muestras de la misma parcela; es decir que ciertos factores como luz, humedad y otros varían más entre parcelas que dentro de parcelas tratadas por igual.

El cuadrado medio del error para los dos tipos de variación es referido como error de muestra y error experimental.

1. Notación.

   Y_{ijk} representa la observación de orden k hecha en el block j y en el tratamiento i.

   $i = 1,2...t$ tratamientos.
   $j = 1,2...r$ blocks.
   $k = 1,2...s$ observaciones.

Las letras "i" y "j" se refieren a criterios de clasificación mientras que "k" es un indicador que no sirve como criterio de clasificación. En otras palabras las k observaciones en el i, j, unidad experimental no es más parecida que el kth en cualquiera otra unidad. Por lo tanto las sumas totales que interesan son:

$Y_{...}$ = Gran total.

$Y_{ij.}$ = Las unidades experimentales (muestras/parcelas)

$Y_{.j.}$ = Total de Blocks.

$Y_{i..}$ = Total de Tratamientos.

ESQUEMA

	Tratamientos (i)				Total Blocks ($Y_{.j.}$)
Blocks (j)	1	2	...	5	
1	Y_{111} Y_{112}	Y_{211} Y_{212}		Y_{511} Y_{512}	$Y_{.j.}$
2	Y_{121} Y_{122}	Y_{221} Y_{222}		Y_{521} Y_{522}	$Y_{.2.}$
3	Y_{131} Y_{132}	Y_{231} Y_{232}		Y_{531} Y_{532}	$Y_{.3.}$
4	Y_{141} Y_{142}	Y_{241} Y_{242}		Y_{541} Y_{542}	$Y_{.4.}$
Total Trat. ($Y_{i..}$)	$Y_{i..}$	$Y_{2..}$	...	$Y_{3..}$	

- Una observación = Y_{ijk}.
- Total de muestras/unidad experimental = $Y_{111} + Y_{112} = Y_{ij.}$

2. Cálculos.

a. Gran total = $Y_{111} + Y_{112} + Y_{211} + \ldots + Y_{542} = \sum_{ijk} Y_{ijk} = Y_{...}$

b. Factor de Corrección.

$$FC = (Y_{...})^2/rts.$$

c. Suma de cuadrados de blocks.

$$SCB = \frac{\sum_{j=1}^{r} Y_{.j.}^2}{ts} - FC$$

d. Suma de cuadrados de tratamientos.

$$\text{SCTratamientos} = \frac{\sum_{i=1}^{t} Y^2_{i..}}{rs} - FC$$

e. Suma de cuadrados total (SCTo.)

$$\text{SCTo.} = \sum_{ijk}^{t.r.s.} Y^2_{ijk} - FC.$$

f. Suma de cuadrados del error experimental (SCE).

$$SCE = \frac{\sum Y^2_{ij.}}{s} - FC - \text{SCBlocks} - \text{SCTratamientos}.$$

g. Suma de cuadrados del error del muestreo (SCEM).

SCEM = SCTo. - SCBlocks-SCTratamientos-SCE.

3. Análisis de Varianza.

Modelo Aditivo Lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij} + \delta_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = K observación en el j block del tratamiento i.

μ = Media general.

T_i = Efecto de tratamientos.

β_j = Efecto de blocks.

δ_{ijk} = Efecto de las unidades de muestra.

e_{ij} = Error experimental.

Siendo e_{ij} normal e independientemente distribuídos con promedio cero y varianza σe^2.

Asumiendo que: $\sum T_i = 0$

$\sum B_j = 0$

ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes de Variación	gl	Suma de Cuadrados.	Cuadrado Medio
Blocks	r-1	SCB	SCB/r-1 = CMB
Tratamientos	t-1	SCTrat.	SCTrat./t-1 = CMTrat.
Error Experimental	(r-1)(t-1)	SCE	SCE/(r-1)(t-1)= CME
Error de Muestreo	rt(s-1)	SCEM	SCEM/rt (s-1) = CMEM
TOTAL	rts-1	SCTo.	

<u>Pruebas de F.</u>

- Para blocks CMB/CME, con r-1/(r-1)(t-1) gl.
- Para Tratamientos CMTratamientos/CME, con t-1/(r-1)(t-1) gl.

4. Valores Promedios de Cuadrados Medios.

i. Modelo Fijo sin Interacción.

Sin Muestra	Con Muestra
$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij}$	$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + e_{ij} + \delta_{ijk}$
Blocks $\sigma_e^2 + t\sum B_j^2/(r-1)$	$\sigma^2 + s\,\sigma_e^2 + st\sum B_j^2/(r-1)$
Trat. $\sigma_e^2 + r\sum T_i^2/(t-1)$	$\sigma^2 + s\sigma_e^2 + sr\sum T_i^2/(t-1)$
Error Experimental σ_e^2	$\sigma^2 + s\,\sigma_e^2$
Error de Muestra	σ^2

ii. Modelo Fijo con Interacción.

$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (TB)_{ij} + e_{ij}$	$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + (TB)_{ij} + \delta_{ij}$
Blocks $\sigma^2_e + t\sum B_j^2/(r-1)$	$\sigma^2 + st\sum B_j^2/(r-1)$
Trat. $\sigma^2_e + r\sum T_i^2/(t-1)$	$\sigma^2 + sr\sum T_i^2/(t-1)$
Error Experimental. $\sigma^2_e + \sum_{ij}(TB)_{ij}^2/(r-1)(t-1)$	$\sigma^2 + s\sum_{ij}(TB)_{ij}^2/(r-1)(t-1)$
Error de Muestra	σ^2

iii. Model al Azar.

Sin Muestra	Con Muestra
$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij}$	$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij} + \delta_{ijk}$
Blocks $\sigma^2 e + t\,\sigma^2 B$	$\sigma^2 + s\,\sigma^2 e + ts\,\sigma^2 B$
Tratam. $\sigma^2 e + r\,\sigma^2 T$	$\sigma^2 + s\,\sigma^2 e + rs\,\sigma^2 T$
Error Experimental. $\sigma^2 e$	$\sigma^2 + s\,\sigma^2 e$
Error de Muestra	σ^2

iv. Modelo Mixto.

$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij}$	$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij} + \delta_{ijk}$
Blocks $\sigma^2 e + t\,\sigma^2 B$	$\sigma^2 + s\sigma^2 e + ts\,\sigma^2 B$
Tratam. $\sigma^2 e + r\sum T_i^2/(t-1)$	$\sigma^2 + s\,\sigma^2 e + rs\sum T_i^2/(t-1)$
Error Experimental. $\sigma^2 e$	$\sigma^2 + s\,\sigma^2 e$
Error de Muestra	σ^2

EJEMPLO DE DISEÑO EN BLOCK COMPLETO AL AZAR CON SUBMUESTRAS

La información que figura en la tabla proviene de un ensayo de pastos. Las cifras se refieren a dos muestras de pasto, expresadas en Kg. de materia fresca cosechada sobre la misma variedad en partes iguales de parcelas. Con excepción del tratamiento 4 que fue el control, los otros estuvieron representados por diferentes abonos foliares.

Blocks	Tratamientos									
	1		2		3		4		5	
I	7.5	4.5	12.5	13.2	7.0	1.0	1.5	2.0	28.0	29.0
II	15.5	14.0	20.0	18.5	10.0	8.0	13.0	15.0	19.5	16.0
III	16.5	14.5	15.0	14.0	15.5	14.0	8.5	9.0	10.5	12.0
IV	19.0	18.6	23.8	24.4	17.8	18.5	14.8	16.6	22.0	24.8

Se pide:

1. Escriba el modelo aditivo lineal.

2. Corra el análisis de variancia para determinar si hubo diferencia significativa entre los efectos promedios de los tratamientos.

3. Compare el promedio de los tratamientos con el testigo utilizado en el ensayo.

Respuestas

1. - $Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + e_{ij} + \delta_{ijk}$

   - Información.

     Blocks = r = 4

     Tratamientos = t = 5

     Muestra = s = 2

2. Cálculos.

   i. Factor de Conección = $\dfrac{Y^2_{\dots}}{rts} = \dfrac{(585.5)^2}{4X5X2} = 8{,}570.26$

   ii. Suma de cuadrados de blocks.

$$S.C.Blocks = \frac{\sum Y^2_{.j.}}{t.s} - FC$$

$$= \left[\frac{(106.2)^2 + (149.5)^2 + (129.5)^2 + (200.3)^2}{5 \ X \ 2}\right] - 8570.26$$

S.C.Block = 9,051.903-8,570.26 = 481.64

   iii. Suma de cuadrados de tratamientos.

$$SC\ Tratamientos = \frac{\sum Y^2_{i..}}{rs} - FC$$

$$= \left[\frac{(110.1)^2 + (141.4)^2 + (91.8)^2 + (80.4)^2 + (161.8)^2}{4 \ X \ 2}\right] - FC$$

$$= 9{,}148.33 - 8{,}570.26 = \underline{578.07}$$

iv. Suma de cuadrados total.

$$SCTotal = \sum_{ijk} Y^2_{ijk} - FC.$$

$$= \left[(7.5)^2 + (15.5)^2 + (16.5)^2 + \ldots + (24.8)^2\right] - FC$$

$$= 10{,}329.73 - 8{,}570.26 = \underline{1{,}759.47}$$

v. Suma de cuadrados del Error Experimental.

$$SCE = \frac{\sum Y^2_{ij.}}{s} - FC - SCBlocks - S.C.Tratamientos.$$

$$= \frac{(7.5 + 4.5)^2 + (15.5 + 14.0)^2 + \ldots + (22.0 + 24.8)^2}{2} - FC$$

$$= 10{,}283.07 - 8{,}570.26 - 481.64 - 578.07$$

$$SCE = \underline{653.10}$$

vi. Suma de cuadrados error de muestra.

$$SCEM = SCTotal - S.C.Blocks - SCTratamientos - SCError\ Exp.$$

$$= 1{,}759.47 - 481.64 - 578.07 - 653.1$$

$$= \underline{46.66}$$

ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
-Blocks	r-1=3	481.64	160.55	2.95
-Tratamientos	t-1=4	578.07	144.52	2.66 ns.
-Error Exp.	(r-1) (t-1)=12	653.10	54.43	
-Error Muestra	rt(s-1)=20	46.66	2.33	
TOTAL	rts-1 = 39	1,759.47		

3. Comparaciones.

Se usa Dunnet.

$$d = (t \text{ Dunnet})\ s\bar{d}$$

$$s\bar{d} = \sqrt{\frac{2\ s^2}{rs}} = \sqrt{\frac{2(54.43)}{4 \times 2}} = 2.608$$

$$s\bar{d} = 2.608$$

Promedios de Tratamientos:

T_1 = 13.76 Kg.
T_2 = 17.68 Kg.
T_3 = 11.48 Kg.
T_4 = 10.05 Kg. (Control)
T_5 = 20.03 Kg.

Tabla p = N° de tratamientos - control = 5-1 = 4
grados de libertad = 12

$$t \begin{cases} .05 = 2.41 \\ .01 = 3.32 \end{cases}$$

		Nivel
$d = t\ s\bar{d} =$	2.41 X 2.608 = 6.285	(.05)
	3.32 X 2.608 = 8.659	(.01)

Comparación T5 vs. tratamiento 4(control)

Promedio T5 = 20.23
Promedio T4 = 10.05
10.18

Desde que 10.18 > 8.659 hay diferencia al nivel de .01 a favor del tratamiento 5.

Comparación.

T_1 vs. T.control = 13.76 - 10.05 = 3.71
3.71 < 6.285 no hay diferencia significativa.

<u>Comparación</u>.

T_2 vs. T.control = 17.68 - 10.05 = 7.63

7.63 $>$ 6.28. Hay diferencia (nivel .05)

<u>Comparación</u>.

T_3 vs. T.control = 11.48 - 10.05 = 1.43

1.43 $<$ 6.285. No hay diferencia significativa.

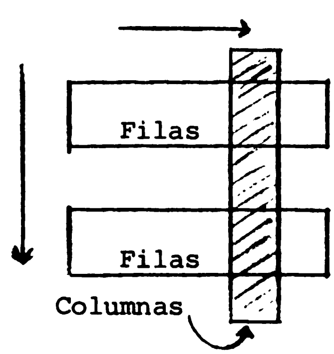
DISEÑO EN CUADRADO LATINO (CL)

Marcial Jara-Almonte

En este diseño los tratamientos se arreglan en blocks en dos diferentes maneras, mediante filas y columnas. Esto implica conocer que la variabilidad se presenta en dos sentidos, es decir éstos son perpendiculares; por lo que es importante reducir el efecto de dicha variabilidad para disminuir el valor del error experimental.

El diseño es rígido en el número de repeticiones y en agrupar los tratamientos en filas y columnas de manera tal que no se repita ningún tratamiento en fila ni en columna. Al ser dos las fuentes de variabilidad, se reducen los grados de libertad del error experimental.

Supongamos que la fertilidad del suelo va en dos direcciones (flechas):



Las filas controlan la variación que va así ↓ y

Las columnas la que va así ⟶

Para diseñar un experimento en CL, se debe proceder de la siguiente manera:

i. Dividir el terreno experimental en un número de unidades experimentales iguales al cuadrado del número de tratamientos.

ii. El número de repeticiones debe ser igual al de tratamientos.

iii. Formar filas y columnas de unidades experimentales iguales al número de repeticiones y de tratamientos.

iv. Distribuir los tratamientos en forma tal que ningún tratamiento se repita en fila ni columna.

Para lograr lo expuesto en (iv), los tratamientos se disponen haciendo permutaciones horizontales a verticales.

Ejemplo:

Permutaciones Horizontales.

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

Permutaciones Verticales.

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

Si la variación del suelo es en una sola dirección, los arreglos pueden ser:

A	D	C	B

B	C	A	D

D	A	B	C

C	B	D	A

Desde que las filas y las columnas son términos generales que se refieren a criterios de clasificación, ellos pueden ser dos clases de tratamientos.

Cuando hay interacción entre dos criterios de clasificación o entre todos ellos, la "F" calculada no es distribuída como la "F" tabulada y una prueba de F no es válida.

Cuando el experimentador no está preparado para asumir la ausencia de interacción, no es posible usar cuadrado latino.

2. Modelo Aditivo Lineal.

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + C_j + T_k, \; e_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Una observación del tratamiento k en la columna j y fila i.

μ = Promedio general.

B_i = Efecto de filas (líneas).

C_j = Efecto de columnas.

T_k = Efecto de tratamientos.

e_{ijk} = Error experimental.

Se asume que los e_{ijk} son independientes y normalmente distribuídos con promedio cero y varianza σ^2; asimismo que:

Y_{ijk} = es una variable al azar.

μ = constante.

No hay interacción entre filas y columnas.

3. Restricciones:

$\sum B_i = 0$

$\sum C_j = 0$

$\sum T_k = 0$

4. Desventajas.

- El número de filas, tratamientos y columnas debe ser igual, de tal manera que si hay muchos tratamientos, muchas unidades experimentales se necesitarán.

- Si el tamaño de los blocks aumenta, el error experimental tiende a aumentar.

5. Esquema.

Columnas C_j

Filas → B_i (i=1,2,3...r)

Y^A_{ijk}	D	C	B
B	C	A	D
D	A	B	C
C	B	D	A

Total filas = $Y_{i.}$

(i = 1,2,3..r)

Total columnas $Y_{.j}$

$(j = 1, 2, 3...r)$

Total tratamientos $Y_{(A)}$; $Y_{(B)}$; $Y_{(C)}$; $Y_{(D)}$.

Suma total: $Y_A + Y_B + Y_C + Y_D = Y_{..}$

6. Cálculos.

a. Factor de Corrección : $FC = \dfrac{Y^2_{..}}{r^2}$

b. Suma de cuadrados total (SCTo.)

$$SCTo. = \sum_{ij} Y_{ij}^2 - FC$$

c. Suma de cuadrados de filas.

$$SCF = \frac{\sum_{i}^{r} Y_{i.}^2}{r} - FC$$

d. Suma de cuadrados de columnas.

$$SCC = \frac{\sum_{j}^{r} Y_{.j}^2}{r} - FC$$

e. $SCTrmnts = \dfrac{\sum_{t}^{r} Y_t^2}{r} - FC$

f. Suma de cuadrados del error.

SCE = SCTo. -SCF-SCC-SCTrmnts.

7. **Análisis de Varianza.**

Fuentes de Variación	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Cuadrados Medios Esperados: Modelo fijo	Cuadrados Medios Esperados: Modelo al azar
- Filas	r-1	SCF	$SCF/(r-1)=V_1$	$\sigma^2+r(\Sigma B_i^2)/(r-1)$	$\sigma^2+r\,\sigma_B^2$
- Columnas	r-1	SCC	$SCC/(r-1)=V_2$	$\sigma^2+r(\Sigma C_j^2)/(r-1)$	$\sigma^2+r\,\sigma_C^2$
- Tratamientos	r-1	SCTrmnts.	$SCTratmnts/(r-1)=V_3$	$\sigma^2+r(\Sigma T_i^2)/(r-1)$	$\sigma^2+r\,\sigma_T^2$
- Error Experimental	(r-1)(r-2)	SCE	$SCE/(r-1)(r-2)=V_4$	σ^2	σ^2
Total	$r^2 - 1$	$\sum_{ij} Y_{ij}^2 - FC$			

- F para tratamientos. $\dfrac{\text{CM Tramnts.}}{\text{CM Error}} = \dfrac{V_3}{V_4}$

- Error standard de un tratamiento. $s_{\bar{x}} = \sqrt{\dfrac{s^2}{r}}$, donde $s^2 = CME = V_4$

- Error standard de la diferencia entre dos tratamientos. $S\bar{x}1-\bar{x}2 = \sqrt{\dfrac{2\,s^2}{r}}$

8. Valor Perdido en C.L.

La fórmula para un valor perdido en el Cuadrado Latino es:

$$Y = \frac{r(R + C + T) - 2G}{(r-1)\ (r-2)}, \text{ (Ecuación z)}$$

donde:

R = Total observado en fila donde se perdió el valor.

C = Total observado en columna donde se perdió el valor.

T = Total observado en tratamiento donde se perdió el valor.

G = Gran total de valores observados.

Si se pierde más de un valor que no comprenda a toda una fila, columna o tratamiento, el procedimiento consiste en realizar aplicaciones repetidas de la Ecuación Z, tal como se hizo en el diseño BCA. Cuando todas las unidades perdidas han sido estimadas, el análisis de varianza es desarrollado de manera usual disminuyendo un grado de libertad por cada valor perdido.

Para el caso de una sola obervación perdida, el error standard de la diferencia entre el promedio de un tratamiento que tiene un valor perdido en todos los demás es:

$$s\bar{d} = \sqrt{s^2 \left(\frac{2}{r} + \frac{1}{(r-1)\ (r-2)} \right)}$$

Si más de una unidad es perdida y estimada, es necesario estimar las "repeticiones efectivas para los promedios de los tratamientos a compararse".

La regla considera los siguientes valores:

i. 1 si el otro tratamiento está presente en la misma fila y columna.

ii. 2/3 si el otro tratamiento está perdido en la misma fila o columna pero no en ambos.

iii. 1/3 si el otro está perdido en la misma fila y columna al mismo tiempo.

iv. 0 cuando el tratamiento en cuestión está perdido.

Ejemplo: CL 5x5 donde se pierde parte de los tratamientos "A", "B" y "C", que están entre paréntesis.

B	(A)	C	E	D
D	B	E	A	(C)
E	D	A	C	B
C	E	B	D	A
A	C	D	(B)	E

El número efectivo de repeticiones para los tratamientos A y B en la comparación con los otros promedios es:

Para A

Comenzar en Columna 1: Encontrar A. El tratamiento B está en la misma columna pero no está en la misma fila con A, se le asigna r = 2/3.

Columna 2: A está perdido, le damos el valor de 0.

Columna 3: A está presente con B en la misma columna y fila, se le da el valor de 1.

Columna 4: B está ausente en la columna, pero presente en la fila con A, se le da el valor de 2/3.

Columna 5: B está presente en la columna y fila con A, se le da el valor de 1.

En consecuencia las repeticiones efectivas para A son: 2/3 + 0 + 1 + 2/3 + 1 = 24/3 = 10/3.

Para B

Columna 1: El tratamiento A está en la misma columna y no en la misma fila, valor 2/3.

Columna 2: El tratamiento B está presente más no el A en la misma columna, pero ambos están en la misma fila, valor 2/3.

Columna 3: A y B están en la misma columna y fila, valor 1.

Columna 4: El tratamiento B no está en la columna ni fila, valor 0.

Columna 5: B y A están presentes en columna y fila, valor 1.

Por tanto el número efectivo de repeticiones para B es 2/3 + 2/3 + 1 + 0 + 1 = 10/3.

Por lo tanto el error de la diferencia de los promedios de A y B, será:

$$s\bar{d} = \sqrt{s^2 \left(\frac{1}{rA} + \frac{1}{rB}\right)} = \sqrt{s^2\left(\frac{1}{10/3} + \frac{1}{10/3}\right)} = \sqrt{s^2 \left(\frac{3}{10} + \frac{3}{10}\right)}$$

Cuando todos los valores de una o más líneas, columnas o tratamientos están perdidos, el análisis es más complicado. (Ver Yates).

EJEMPLO DE CUADRADO LATINO 1/

Se ha comparado 4 suplementos alimenticios en cuatro razas de cerdos (Yorkshire, Landrace, Duroc y Poland) en el período comprendido entre la 6a. a la 10a. semana. Las raciones A, B, C y D con las ganancias de pesos en Kg. ajustadas por sexo figuran a continuación.

Camadas	Columnas				Total Camadas	
	1	2	3	4	$Y_{i\bullet}$	$\sum_j Y_{ij}^2$
Y	C = 10.5	D = 7.7	B = 12.0	A = 13.2	43.4	487.78
L	B = 11.1	A = 12.0	C = 10.3	D = 7.5	40.9	429.55
D	D = 5.8	C = 12.2	A = 11.2	B = 13.7	42.9	495.61
P	A = 11.6	B = 12.3	D = 5.9	C = 10.2	40.0	424.70
Columnas $Y_{\bullet j}$	39.0	44.2	39.4	44.6	$\sum_{ij} Y_{ij}$	$\sum_{ij} Y_{ij}^2$
$\sum_i Y_{ij}^2$	401.66	503.42	410.34	522.22	167.2	1,837.64

1/Ejemplo tomado de Principles and Procedures of Statistics - R.G. Steel and J.H. Torrie - 1960

Se pregunta:

1. Correr el correspondiente análisis de variancia para determinar si hay diferencia significativa entre tratamientos.

2. Encontrar s; $s_{\bar{x}}$; $s\bar{d}$ y el C.V.

Respuestas

1. $Y_{ij} = \mu + \beta_i + C_j + T_k + e_{ijk}$

2. Análisis de Varianza.

Total de Raciones y Promedios

	A	B	C	D
Totales = Y_t	48	49.1	43.2	26.9
Promedios = $\bar{Y}_t$	12.0	12.3	10.8	6.8

Cálculos:

i. Factor de Corrección.

$$FC = \frac{Y^2_{..}}{r^2} = \frac{(167.2)^2}{(4)^2} = 1747.24$$

ii. Suma de Cuadrados Total.

$$SCTotal = \sum_{ij} Y^2_{ij} - FC = 1837.64 - 1747.24 = 90.40$$

iii. Suma de Cuadrados de Filas.

$$SCF\ (Razas) = \frac{\sum Y^2_{i.}}{r} - FC = \left[\frac{(43.4)^2 + \ldots + (40.0)^2}{4}\right] - FC$$

$$= 1.95$$

iv. Suma de Columnas.

$$SCC = \frac{\sum Y^2_{.j}}{r} - FC = \frac{(39.0)^2 + \ldots + (44.6)^2}{4} - 1747.24 = 6.80$$

v. Suma de Cuadrados de Tratamientos.

$$SCTrmnts. = \frac{\sum Y^2_t}{r} - FC = \frac{(48.0)^2 + \ldots + (26.9)^2}{4} - 1747.24$$

$$= 78.93$$

vi. Suma de Cuadrados del Error.

SCE = SCTotal - SC Filas - SC Columnas - SCTratamientos.

= 90.40 - 1.95 - 6.80 - 78.93 = 2.72

<u>Análisis de Varianza</u>

Fuentes de Variación	Gl.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
Filas	r-1 = 3	1.95	.65	1.44
Columnas	r-1 = 3	6.80	2.27	5.04
Tratamientos	r-1 = 3	78.93	26.31	58.47**
Error	(r-1) (r-2) = 6	2.72	.45	
Total	r^2 - 1 = 15	90.40		

s = .67 Kg. $\quad s\bar{d}$ = .34 Kg. $\quad s\bar{d}$ = .47 Kg. $\quad$ CV = 6.4%

DISEÑO EN PARCELAS DIVIDIDAS

Marcial Jara-Almonte

En el diseño factorial se asume que todas las combinaciones de tratamientos se aplican a todas las unidades experimentales de acuerdo a la randomización. Sin embargo, otro tipo de randomización es posible mediante el Diseño de Parcelas Divididas, el cual es un tipo de Diseño en Block Incompleto.

Este diseño es usado frecuentemente para experimentos factoriales. Puede incorporar uno o más diseños tales como Completamente al Azar, Diseño Completo al Azar o Cuadrado Latino.

El principio del diseño es que la Parcela Total o unidad grande, a la cual los niveles de un factor o factores son aplicados, es dividida en subunidades o sub-parcelas a las cuales los niveles de uno o más factores adicionales son aplicados. De esta manera, la unidad grande viene a constituir un block.

Por ejemplo, considérese un experimento para probar el factor A a 4 diferentes niveles en 3 blocks en un diseño en block randomizado. Un segundo factor B, a dos niveles puede ser superpuesto dividiendo cada unidad de A en dos subunidades y asignando los dos niveles B a cada subunidad. De esta forma A será la gran unidad y B la subunidad.

Después de la randomización, la disposición podrá ser la siguiente:

Block I */			
a_4 b_2	a_1 b_2	a_2 b_1	a_3 b_2
a_4 b_1	a_1 b_1	a_2 b_2	a_3 b_1

Block II			
a_2 b_1	a_1 b_2	a_4 b_1	a_3 b_1
a_2 b_2	a_1 b_1	a_4 b_2	a_3 b_2

Block III			
a_1 b_1	a_2 b_2	a_4 b_2	a_3 b_1
a_1 b_2	a_2 b_1	a_4 b_1	a_3 b_2

*/ Note que la randomización es a dos niveles. Se randomizan los niveles del factor A sobre la unidad grande.

1. Cuando usar Parcelas Divididas.

   i) Cuando los tratamientos asociados con los niveles de un factor o más de un factor necesitan gran cantidad de material experimental en una unidad experimental. Por eso se usa en estudios de laboratorio, en el campo, en la industria y en experimentación social. Por ejemplo, en un experimento de campo, uno de los factores puede ser métodos de preparación de la tierra o aplicación de fertilizantes en el cultivo de pasto guinea. En ambos casos se necesitan unidades experimentales grandes.

   El otro factor podría ser variedades de pasto guinea, las cuales pueden ser utilizadas comparando éstas en unidades más pequeñas.

   ii) Se usa cuando un factor adicional va a ser incorporado en un experimento para aumentar el horizonte o amplitud del mismo.

   Supóngase que el mayor interés es comparar la bondad de insecticidas en el control de una plaga en Andropogon gayanus. Para aumentar la información, varias variedades de pasto Andropogon gayanus pueden ser incluídas, las cuales se sabe que difieren en cuanto a resistencia a la plaga en cuestión.

   Las variedades pueden ser arregladas en unidades grandes y los insecticidas en unidades pequeñas.

   iii) De acuerdo a la información obtenida puede ser conocido que grandes diferencias pueden ser esperadas entre los niveles de cierto factor comparado con otro factor. En este caso, la combinación de tratamientos para el factor donde se esperan diferencias grandes podría ser asignado al azar a las unidades grandes.

iv) Se usa el diseño en parcelas divididas donde gran precisión es deseada para comparaciones entre ciertos factores en relación con otros.

En resumen, desde que con parcelas divididas la variación entre las subunidades es esperada que sea menor que la de las unidades grandes, los factores que requieren pequeñas cantidades de material experimental, o las que son de mayor importancia, o las cuales se espera que exhiban pequeñas diferencias (o por las cuales gran precisión es deseada), deben ser asignadas a las subunidades.

La forma de un análisis de varianza para un 2^2 en parcelas divididas será presentada en un Diseño en Block Completo al Azar.

Sea r = nº de block

a = nº de niveles de A o unidad grande por block

b = nº de niveles de B o subunidades por unidad grande.

Supongamos

$r = 3$

$a = 4$

$b = 2$

La unidad grande comprenderá: $axr = 4x3 = 12$ unidades.

Los 11 grados de libertad de las unidades grandes serán distribuídos así:

- Para blocks = 2
- Efecto principal A = 3
- Error Experimental aplicable a las comparaciones de la unidad grande = 6

Dentro de cada unidad grande hay 1 grado de libertad asociado con la variación entre subunidades dentro de la unidad grande, dando un total de 12 grados. Estos 12 grados de libertad son distribuídos así: 1 para el efecto principal de B; 3 grados para la interacción AB y 8 grados de libertad para un error experimental aplicable a las comparaciones de las subunidades.

La partición de grados de libertad de un diseño en parcelas divididas en el cual la unidad grande es arreglada en un Diseño Completo al Azar, en un Diseño en Block Completo al Azar y en un Diseño en Cuadrado Latino es presentada en la Tabla 1.

El factor A es aplicado a las unidades grandes y tiene "a" niveles y el factor B es aplicado a las subunidades y tiene "b" niveles. El factor B puede aplicarse a las subunidades en otros arreglos diferentes a los presentados aquí.

Nótese que los grados de libertad del error (b) pueden obtenerse multiplicando (b-1) por la suma de grados de libertad de todas las fuentes que no sean A, en el análisis de la unidad grande.

Para el DBCA esto implica que los blocks no interaccionen con el factor B y para el Cuadrado Latino que ni las filas ni columnas interaccionan con el factor B.

El error de la unidad grande: "Ea", es usualmente más grande que el de las subunidades, designado por "Eb". Esto es debido a que las observaciones en una subunidad de la misma unidad grande tienden a estar positivamente correlacionadas y así reaccionan más parecido que las subunidades que están en diferentes unidades grandes. "Ea" no puede ser menor que "Eb" excepto por cuestiones del chance y si esto sucede, es propio considerar ambos "Ea" y "Eb" como estimadores de la misma varianza y consecuentemente las dos sumas de cuadrados pueden ser juntadas y divididas por la suma de los grados de libertad para obtener un estimado de σ^2: Varianza Pool (si Ea es significativamente menor que Eb,

Tabla 1

Partición de los Grados de Libertad de un Diseño de Parcelas Divididas con diferentes arreglos en la Unidad Grande.

- Completamente al Azar (r repeticiones)		Diseño en Block Completo al Azar (r=blocks)		Cuadrado Latino (r réplicas = lado del cuadrado)	
Fuentes	gl	Fuentes	gl	Fuentes	gl
		Análisis de la Unidad Grande			
		Blocks	r-1	Filas	a-1
A	a-1	A	a-1	Columnas	a-1
Error (a)	a(r-1)	Error (a)	(a-1)(r-1)	A	a-1
Total Unidad Grande	ar-1	Total Unidad Grande	ar-1	Error (a)	(a-1)(a-2)
				Total de Unidad Grande	a^2-1
		Análisis de las Subunidades			
B	b-1	B	b-1	B	b-1
AB	(a-1)(b-1)	AB	(a-1)(b-1)	AB	(a-1)(b-1)
Error (b)	a(r-1)(b-1)	Error (b)	a(r-1)(b-1)	Error (b)	a(a-1)(b-1)
Total Subunidades	ar(b-1)	Total Subunidad	ar(b-1)	Total Subunidad	a^2 (b-1)
TOTAL	abr-1	TOTAL	abr-1	TOTAL	a^2 b-1

uno debe considerar que existe alguna rara correlación de intraclase, negativa o positiva).

El diseño de Parcelas Divididas debe dar una buena precisión para comparaciones de las subunidades, pero a costo de bajar la precisión de las comparaciones de las unidades grandes.

Errores standard para las comparaciones entre diferentes promedios se dan en la Tabla 2.

Tabla 2

Errores standard para un Diseño en Parcelas Divididas

Diferencia entre	Medidas como*	Ejemplo	Errores Standard
- Dos promedios de A.	$a_i - a_j$	$a_1 - a_2$	$\sqrt{\frac{2\ Ea}{rb}}$
- Dos promedios de B.	$b_i - b_j$	$b_1 - b_2$	$\sqrt{\frac{2\ Eb}{ra}}$
- Dos promedios de B al mismo nivel que de A.	$a_i b_j - a_i b_k$	$a_1 b_1 - a_1 b_2$	$\sqrt{\frac{2\ Eb}{r}}$
- Dos promedios de A, a:			
i) El mismo nivel de B,o	$a_i b_j - a_k b_j$	$a_1 b_1 - a_2 b_1$	$\sqrt{\frac{2\ [(b-1)Eb+Ea]}{rb}}$
ii) Diferente nivel de B (cualquiera de dos promedios de tratamientos)	$a_i b_j - a_k b_1$	$a_1 b_2 - a_2 b_1$	

* Todos los promedios son medidos sobre las medidas de las subunidades.

En los tres primeros casos, los divisores son los números de las subunidades en un promedio; en el último caso "r" es el número de subunidades en un tratamiento promedio, pero "rb" es un divisor correcto. El factor b es la suma de los pesos usados en obtener la variancia conjunta del error (pool).

Las comparaciones de dos promedios A, al mismo o diferente nivel de B, incluye al efecto principal de A y la interacción AB, esto es, ellas son comparaciones de las unidades grandes y subunidades. Es apropiado usar un promedio ponderado de "Ea" y "Eb" como se da en la Tabla 2. Los pesos son b-1 y 1, su suma es b, así que b aparece en el divisor. Para tales comparaciones, la rata de diferencia de tratamiento a su error standard no sigue la distribución de "t". La siguiente expresión dá una aproximación y reemplaza en este caso al valor de t tabulado:

$$t' = \frac{(b-1)\, E_b\, t_b \; + \; E_a\, t_a}{(b-1)\, E_b + E_a}$$

donde:

"t_a" y "t_b" = valores de la Tabla de "t" al nivel escogido y para los grados de libertad de "E_a" y "E_b".

Así t' corresponde al valor tabulado de "t"; el cual estará ubicado entre t_a y t_b.

Hay muchas variantes de este diseño. Una de éstas incluye dividir cada subunidad en "c" subunidades por la inclusión de un tercer factor C a c niveles. Estos niveles de C son asignados al azar a las subunidades.

La partición de los grados de libertad es como en el caso anterior con la adición del análisis de las sub subunidades.

Fuentes	gl
C	c-1
AC	(a-1)(c-1)
BC	(b-1)(c-1)
ABC	(a-1)(b-1)(c-1)
Error (c)	ab(r-1)(c-1)
Total Sub Subunidades	abr (c-1)
Total	abcr-1

2. Ejemplo

Experimento para comparar los rendimientos de 4 variedades de semillas de avena tratadas con 3 productos químicos diferentes. Las variedades de semilla, consideradas como factor "A" fueron asignadas al azar a la unidad grande dentro de cada block. Los productos químicos de protección, factor "B" fueron distribuídos al azar a las subunidades dentro de cada unidad grande.

Todo el experimento fue conducido en un Diseño Completo al Azar con 4 blocks.

Por simplicidad los tres productos químicos utilizados son denominados como 1,2 y 3, en tanto que el control es denominado como 4. Las variedades de semillas se denominarán así:

$$V_1 = 1$$
$$V_2 = 2$$
$$V_3 = 3$$
$$V_4 = 4$$

En un block habrán 4 x 4 = subunidades en las cuales se colocan las combinaciones de tratamientos a saber:

$V_{(1)1}$; $V_{(1)2}$; $V_{(1)3}$; $V_{(1)4}$

$V_{(2)1}$; $V_{(2)2}$; $V_{(2)3}$; $V_{(2)4}$

$V_{(3)1}$; $V_{(3)2}$; $V_{(3)3}$; $V_{(3)4}$

$V_{(4)1}$; $V_{(4)2}$; $V_{(4)3}$; $V_{(4)4}$

Sea X_{ijk} = Una observación

i = block (1, 2...r).

j = niveles de A (1,2...a) = variedades.

k = niveles de B (1,2...b) = tratamientos.

En el ejemplo $r = 4$

$a = 4$

$b = 4$

Los tratamientos se distribuyen en cada uno de los blocks a saber:

Block 1

X_{111}	X_{112}	X_{114}	X_{113}
X_{122}	X_{123}	X_{121}	X_{124}
X_{133}	X_{134}	X_{132}	X_{131}
X_{144}	X_{141}	X_{143}	X_{142}

Suma $X_{1..}$

Block 2

$X_{2..}$

Block 3

$X_{3..}$

Block 4

$X_{4..}$

Modelo Aditivo Lineal.

$$X_{ijk} = \mu + p_i + \alpha_j + \delta_{ij} + B_k + (\alpha B)_{jk} + E_{ijk}$$

donde:

X_{ijk} = Una observación cualquiera.

μ = promedio general.

P_i = Efecto de blocks.

α_j = Efecto de A (variedades de semillas)

δ_{ij} = Error (a)

B_k = Efecto de B (productos químicos = tratamientos).

$(\alpha B)_{jk}$ = Interacción de variedades y productos químicos.

E_{ijk} = Error (b)

Ordenando los Datos

		Tratamientos-Productos Químicos (B)				
	Blocks	1	2	3	4	Suma
Variedades de Semilla (A) $V_1 = 1$	1	$X_{1\,1\,1}$	$X_{1\,1\,2}$	$X_{1\,1\,3}$	$X_{1\,1\,4}$	$X_{1\,1.} = X_{ij.}$
	2	$X_{2\,1\,1}$	$X_{2\,1\,2}$	$X_{2\,1\,3}$	$X_{2\,1\,4}$	$X_{2\,1.}$
	3	$X_{3\,1\,1}$	$X_{3\,1\,2}$	$X_{3\,1\,3}$	$X_{3\,1\,4}$	$X_{3\,1.}$
	4	$X_{4\,1\,1}$	$X_{4\,1\,2}$	$X_{4\,1\,3}$	$X_{4\,1\,4}$	$X_{4\,1.}$
	Suma	$X_{.jk}$				$X_{.1.} = X_{.j.}$
$V_2 = 2$	.	.	.	.	.	
$V_3 = 3$	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	
V_4	1	$X_{1\,4\,1}$	$X_{1\,4\,2}$	$X_{1\,4\,3}$	$X_{1\,4\,4}$	$X_{ij.}$
	2	$X_{2\,4\,1}$	$X_{2\,4\,2}$	$X_{2\,4\,3}$	$X_{2\,4\,4}$	$X_{ij.}$
	3	$X_{3\,4\,1}$	$X_{3\,4\,2}$	$X_{3\,4\,3}$	$X_{3\,4\,4}$	$X_{ij.}$
	4	$X_{4\,4\,1}$	$X_{4\,4\,2}$	$X_{4\,4\,3}$	$X_{4\,4\,4}$	$X_{ij.}$
	Suma	$X_{.jk}$				$X_{.4.} = X_{.j.}$
Total Tratamientos.		$X_{..1}$	$X_{..2}$	$X_{..3}$	$X_{..4}$	$=X_{..k}$

Cálculos

- Suma de cada block = $X_{i..}$
- Gran total = $X_{..1} + X_{..2} + X_{..3} + X_{..4} = X_{...}$

i. <u>Paso 1</u>. Encontrar Factor de Corrección y Suma Total de Cuadrados (Subunidades).

- Factor de Corrección: FC.

  $FC = X^2_{...}/rab.$

- Suma Total de Cuadrados (Subunidades).

  $$SCTotal\ Subunidades = \sum_{ijk} X^2_{ijk} - FC$$

ii. <u>Paso 2</u>. Completar el Análisis de la unidad grande.

- Suma de Cuadrados de la Unidad grande.

  $$SC\ Unidad\ Grande = \frac{\sum_{ij} X^2_{ij.}}{b} - FC$$

- Suma de Cuadrados de Blocks.

  $$SC\ Blocks = \frac{\sum_{i} X^2_{i..}}{ab} - FC$$

- Suma de Cuadrados de A (Variedades)

  $$SC(A) = \frac{\sum_{j} X^2_{.j.}}{rb} - FC$$

- Suma de Cuadrados de Error (a).

  SC Error (a) = S.C. Unidad Grande - SCBlock-SC(A).

iii. <u>Paso 3</u>. Completar el Análisis de las Subunidades.

- Suma de Cuadrados de B (Tratamientos)

  $$SC(B) = \frac{\sum_{k} X^2_{..k}}{ra} - FC$$

- Suma de Cuadrados de la Interacción AB

  $$SC(AB) = \sum_{jk} \frac{X^2_{.jk}}{r} - FC - SC(A) - SC(B)$$

- Suma de Cuadrados de Error (b)

E(b) = S. Cuadrados Total (subunidades) – SC Unidad Grande– -SC(B) - SC(AB).

ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes de Variación	gl.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
- Blocks	r-1	SCB	SCB/r-1	
- Factor A	a-1	SC(A)	SC(A)/a-1	$CM(A)/(E_a)$
- Error (a)	(a-1)(r-1)	SC E_a	SC $E_a/(a-1)(r-1)=E_a$	
- Factor B	b-1	SC(B)	SC(B)/b-1	$CM(B)/(E_b)$
- Interacción AB	(a-1)(b-1)	SC(AB)	SC(AB)/(a-1)(b-1)	$CM(AB)/E_b)$
- Error (b)	a(r-1)(b-1)	SC E_b	$SCE_b/a(r-1)(b-1)=E_b$	
Total	abr-1			

Nota: Se suelen encontrar los coeficientes de variabilidad para el A y B y si hay un tercer factor C, se encuentran 3 coeficientes de variabilidad.

$$CV(a) = \frac{\sqrt{CM(E_a)}}{\overline{X}} \times 100\,;\quad CV(b) = \frac{\sqrt{CM(E_b)}}{\overline{X}} \times 100,$$ éste último debe ser más pequeño.

Si la interacción resulta significativa, las diferencias en respuesta entre variedades de semilla varían con los productos químicos utilizados y la hipótesis no puede ser facilmente explicada. Por eso es importante examinar el efecto simple.

3. Comparaciones Individuales.

Para ello se utilizan los errores standar para comparar los promedios de tratamientos. Se pueden dar varios casos. Ver Tabla 2 mencionada anteriormente.

Para calcular "t" correspondiente al valor tabulado t.05 que permita com parar dos promedios de variedades de semillas con el mismo tratamiento, es necesario encontrar un valor promedio de t's, llamado t'.

Se usa la siguiente expresión ya mencionada:

$$t' = \frac{(b-1)\ E_b t_b + E_a t_a}{(b-1)\ E_b + E_a} \quad \text{(esto reemplaza al t tabulado).}$$

Conociendo "t" se puede utilizar para aplicar la prueba de Dunnett para comparar el control con cada uno de los promedios de los demás tratamientos.

Usando la prueba de Duncan.

$$t\alpha \text{ (gl de Eb) } S_{\bar{d}}$$

$$s\bar{d} = \sqrt{\frac{2\ E_a}{ab}}$$

Para .05 : $t_{.05}$(gl de E_b) $s\bar{d}$

Para .01 : $t_{.01}$(gl de E_b) $s\bar{d}$

Para las demás comparaciones se utilizan los errores standard que se men cionan en la Tabla 2.

Se aconseja preparar un cuadro de los promedios, tal como sigue:

Variedades (A)	Tratamientos (B)				Promedio de Variedades
	4 Control	1	2	3	
V_1 = 1	$\bar{X}_{14}$	$\bar{X}_{11}$	$\bar{X}_{12}$	$\bar{X}_{13}$	$\bar{X}_{V1}$
V_2 = 2	$\bar{X}_{24}$	$\bar{X}_{21}$	$\bar{X}_{22}$	$\bar{X}_{23}$	$\bar{X}_{V2}$
V_3 = 3	$\bar{X}_{34}$	$\bar{X}_{31}$	$\bar{X}_{32}$	$\bar{X}_{33}$	$\bar{X}_{V3}$
V_4 = 4	$\bar{X}_{44}$	$\bar{X}_{41}$	$\bar{X}_{42}$	$\bar{X}_{43}$	$\bar{X}_{V4}$
Promedio de Tratamientos	$\bar{X}_{T4}$	$\bar{X}_{T1}$	$\bar{X}_{T2}$	$\bar{X}_{T3}$	$\bar{\bar{X}}$

Las comparaciones se establecen en base a los errores standard de la Tabla 2.

4. Valor Perdido en Parcelas Divididas.

Hay fórmulas para estimar valores perdidos en un diseño en parcela perdida.

Consideremos que se ha perdido el valor de una subunidad.

Sea Y la unidad u observación perdida $(a_j b_k)$.

W = el total de la subunidad donde se perdió la observación.

$a_j\ b_k$ = total de las subunidades que recibieron el mismo tratamiento.

a_j = total observado de las subunidades que recibieron el mismo nivel de A (variedades).

La fórmula es: $Y' = \frac{r\ W + b\ (a_j\ b_k) - (a_j)}{(r-1)(b-1)}$

En el ejemplo que nos ocupa se tienen las cifras de la variedad donde se perdió la observación, a saber:

Variedades (A)	Blocks	Tratamientos (B)				Total
		4	1	2	3	
V_1	1	$\boxed{42.9}$	53.8	49.5	44.4	190.6
	2	41.6	58.5	53.8	41.8	195.7
	3	28.9	43.9	40.7	28.3	141.8
	4	30.8	46.3	39.4	34.7	151.2
		144.2	202.5	183.4	149.2	679.3

Supongamos que se perdió en Variedad 1, Tratamiento 4 la observación que está en el rectángulo (42.9).

$$W = 190.6 - 42.9 = 147.7$$

$$a_j b_k = 144.2 - 42.9 = 101.3$$

$$a_j = 679.3 - 42.9 = 636.4$$

$$Y' = \frac{r\ W + b\ (a_j\ b_k) - a_j}{(r-1)\ (b-1)} = \frac{4(147.7)\ +\ 4(101.3)-636.4}{(4-1)\ (4-1)} = 40.0$$

$$Y' = 40$$

Si varios valores son perdidos, cada uno en diferentes unidades grandes, se estiman los valores dentro de cada unidad grande como se describió arriba. Si más de una subunidad es perdida, en una unidad grande, se debe hacer uso repetido de la fórmula anterior.

El análisis de varianza es desarrollado después que los valores perdidos hayan sido insertados. Un grado de libertad es substraído de E_b por cada observación perdida. El estimado de E_b es imparcial; sin embargo, el cuadrado medio de tratamientos y E_a son estimados parcializados (aumentados). Si pocos valores son perdidos estas parcialidades pueden ser ignoradas.

Fórmulas especiales se dan más adelante (Tabla 3) para el error standard.

Si solo se pierde un valor, el factor "f" en la Tabla 3 es (r-1)(b-1)/2 para comparaciones incluyendo el promedio donde se perdió una observación, con los otros. Si más de una unidad es perdida, "f" depende de la ubicación de las subunidades. La siguiente aproximación es correcta para ciertos casos, aunque tiende a ser más grande para otros.

$$f = \frac{k}{2\ (r-d)\ (b-k\ +\ c-1)}$$

donde k, c y d se refieren solamente a las observaciones perdidas para los dos promedios que se comparan.

k = número de observaciones perdidas.

c = número de blocks conteniendo valores perdidos.

d = número de observaciones en la subunidad $a_j b_k$ que es el más afectado.

Tabla 3

Errores Standard para comparaciones con Valores Perdidos

Comparación	Medidos como:	Error Standard
- Diferencia entre dos promedios de A	$a_i - a_j$	$\sqrt{\frac{2(E_a + f E_b)}{rb}}$
- Diferencia entre dos promedios de B	$b_i - b_j$	$\sqrt{\frac{2 E_b (1+ f\ b/a)}{ra}}$
-Diferencia entre dos promedios de B para el mismo nivel de A.	$a_ib_j - a_ib_k$	$\sqrt{\frac{2 E_b (1+ f\ b/a)}{r}}$
-Diferencia entre dos promedios de A		
i) Al mismo nivel de B	$a_ib_j - a_kb_j$	$\sqrt{\frac{2E_a + 2E_b(b-1)+fb^2}{rb}}$
ii) A diferente nivel de B	$a_ib_j - a_kb_1$	

Ejemplo:

Para ilustrar numericamente el procedimiento y los cálculos, se presentan los rendimientos del experimento que presenta Steel RGD y J.H. Torrie en Principles and Procedures of Statistics (1960), los cuales se refieren a avena en bushels por acre.

Variedades (A)	Blocks (r)	Tratamientos (B) 4	1	2	3	Totales
1	1	42.9	53.8	49.5	44.4	190.6
	2	41.6	58.5	53.8	41.8	195.7
	3	28.9	43.9	40.7	28.3	141.8
	4	30.8	46.3	39.4	34.7	151.2
		144.2	202.5	183.4	149.2	679.3
2	1	53.3	57.6	59.8	64.1	234.8
	2	69.6	69.6	65.8	57.4	262.4
	3	45.4	42.4	41.4	44.1	173.3
	4	35.1	51.9	45.4	51.6	184.0
		203.4	221.5	212.4	217.2	854.5
3	1	62.3	63.4	64.5	63.6	253.8
	2	58.5	50.4	46.1	56.1	211.1
	3	44.6	45.0	62.6	52.7	204.9
	4	50.3	46.7	50.3	51.8	199.1
		215.7	205.5	223.5	224.2	868.9
4	1	75.4	70.3	68.8	71.6	286.1
	2	65.6	67.3	65.3	69.4	267.6
	3	54.0	57.6	45.6	56.6	213.8
	4	52.7	58.5	51.0	47.4	209.6
	Totales	247.7	253.7	230.7	245.0	977.1
Total Tratamientos		811.0	883.2	850.0	835.6	3,379.8

Blocks	Total
1	965.3
2	936.8
3	733.8
4	743.9

En el experimento:

$a = 4$

$b = 4$

$c = 4$

<u>Cálculos.</u>

<u>Primer Paso:</u> Encontrar el factor de corrección y la suma total de cuadrados.

i) Factor de Corrección $= \dfrac{X^2_{\cdot\cdot\cdot}}{rab} = \dfrac{(3,379.8)^2}{64} = 178,485.13$

ii) Suma Total de Cuadrados.

$$\sum_{i,j,k} X^2_{ijk} - FC = (42.9)^2 + (41.6)^2 + \ldots + (47.4)^2 - 178,485.13$$
$$= 7,797.39$$

<u>Segundo Paso:</u> Completar el Análisis de la Unidad Grande.

i) Suma de Cuadrados de la Unidad Grande. $= \dfrac{\sum_{ij} X^2_{ij.}}{b} - FC$

$$= \frac{(190.6)^2+(195.7)^2+\ldots+(209.6)^2}{4} - 178,485.13$$

$$= 6,309.19$$

ii) Suma de Cuadrados de Blocks.

$$SCBlocks = \frac{\sum_{i} X^2_{i..}}{ab} - FC$$

$$= \frac{(965.3)^2+\ldots+(743.9)^2}{4 \times 4} - 178,485.13$$

$$= 2,842.87$$

iii) Suma de Cuadrados de Variedades.

$$SC(A) = \frac{\sum_j X^2_{.j.}}{rb} - FC$$

$$= \frac{(679.3)^2 + \ldots + (977.1)^2}{4 \times 4} - 178{,}485.13$$

$$= \underline{2{,}848.02}$$

Error (a) = SCUnidad Grande − SCBlocks − SC (A)

= 6309.19 − (2,842.87 + 2,848.02) = 618.30

Tercer Paso: Completar el análisis de las subparcelas o subunidades.

Suma de Cuadrados de Tratamientos.

$$SC(B) = \frac{\sum_k X^2_{..k}}{ra} - FC$$

$$= \frac{(811.0)^2 + \ldots + (835.6)^2}{4 \times 4} - 178{,}485.13$$

$$= 170.53$$

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTES DE VARIACION	gl	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F
Blocks	3	2,842.87	947.62	
Variedades, Factor A	3	2,848.02	949.34	13.82**
Error (a)	9	618.30	68.70	
Tratamientos, Factor B	3	170.53	56.84	2.80
Interacción AB	9	586.47	65.16	3.21**
Error (b)	36	731.20	20.31	
Total	63	7,797.39		

C. de Variabilidad:

$$CV\ (a) = \frac{\sqrt{68.70}}{52.8} \times 100 = 15.7\%$$

$$CV\ (b) = \frac{\sqrt{20.31}}{52.8} \times 100 = 8.5\%$$

REFERENCIAS

SNEDECOR, G.W. and W.G. COCHRAN 1961. Statistical Methods. The Iowa State University, Ames, Iowa, USA.

STEEL RGD and J.H. Torrie 1960. Principles and Procedures of Statistics. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, London.

DISEÑO JERARQUICO O ANIDADO

Marcial Jara-Almonte

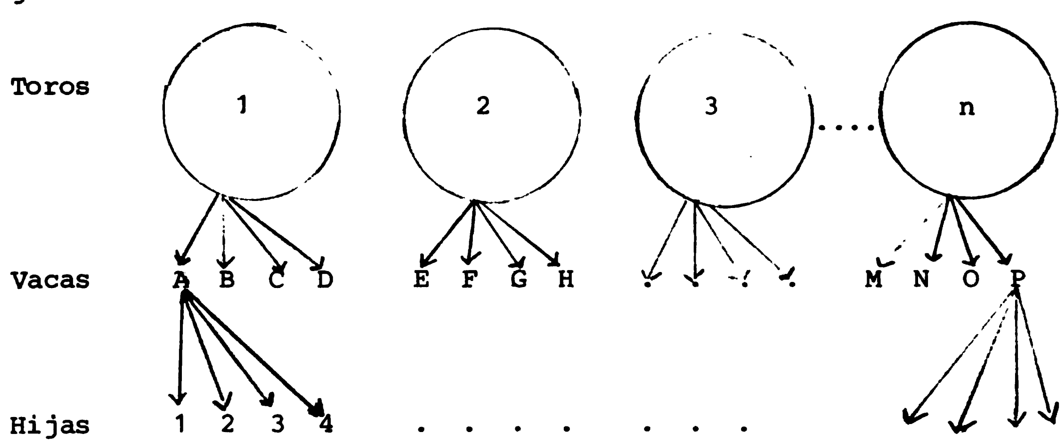
1. Generalidades.

Diseño muy utilizado en ganadería cuando se desea estimar parámetros genéticos (heredabilidad y repetibilidad) y comparar reproductores, a través del rendimiento de su progenie.

Este diseño puede trabajar con dos variables a la vez y en este caso permite estimar los componentes de varianza y covarianza que hacen posible la estimación de las correlaciones genéticas entre las variables en estudio.

El diseño trabaja sobre las expresiones fenotípicas de la progenie.

Ejemplo: Varios toros de la misma raza se han apareado con vacas diferentes y en cada una de ellas han tenido progenie. En ésta se toman las medidas fenotipicas de las cuales se desea estimar los parámetros genéticos mencionados.



Se tienen: Toros : t

Vacas/Toro: r

Crías/Toro: s

En cada una de las hijas del toro se toman las medidas fenotípicas deseadas: Peso, producción de leche, grasa, peso al nacimiento, destete, edad al 1er. parto, etc.

2. Símbolos.

Y_{ijk}

donde:

i = nº del padre.

j = nº de la madre.

k = nº de cada cría.

3. Modelo Aditivo Líneal.

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + M_{ij} + e_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = La observación "k" en la hija del padre "i" y de la madre "j"

μ = Promedio general.

P_i = Efecto del padre.

M_{ij} = Efecto de la madre "j" servida por el padre "i"

e_{ijk} = Residual (error).

onentes de Varianza

$+ s\sigma^2_m + rs\sigma^2_p$

$w + s\sigma^2_m$

w

hermanos completos.

hermanas sea igual
a constituir el

promedio ponderado del número de crías por padre (Referencia King, S.C. y C.R. Henderson 1954. Variance Components Analysis in Heritability Studies Poultry Science 33: 147-154).

5. Análisis de Varianza

Fuentes de Variación	g.1	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Componentes de Varianza
Entre Toros	t-1	$\frac{\sum_{i}^{t} Y_{i..}^2}{rs} - \frac{(Y_{...})^2}{rst} = L_1$	$\frac{L_1}{t-1} = V_1$	$\sigma^2_w + s\sigma^2_m + rs\sigma^2_p$
Dentro de Toros				
Vacas dentro de toros	t(r-1)	$\frac{\sum_{i}^{t}\sum_{j}^{r} Y_{ij.}^2}{s} - \frac{\sum_{i}^{t} Y_{i..}^2}{rs} = L_2$	$\frac{L_2}{t(r-1)} = V_2$	$\sigma^2 W + s\sigma^2 m$
Entre hermanos completos	rt(s-1)	$\sum_{i,j,k}^{t.r.s} Y_{ijk}^2 - \frac{\sum_{i}^{t}\sum_{j}^{r} Y_{ij.}^2}{s} = L_3$	$\frac{L_3}{rt(s-1)} = V_3$	$\sigma^2 w$
TOTAL	rst-1			

σ^2_w = Componente ambiental de la variancia + la mitad del componente genético = variación de hermanos completos.

σ^2_m = Variación entre hermanos de madre (componente de variancia materna).

σ^2_p = Variación entre hermanos de padre (componente de variancia paterna).

NOTA: En condiciones prácticas es difícil que el número de hermanas (os) enteras o de medias hermanas sea igual para cada padre. Por lo tanto, es conveniente hacer uso del coeficiente "k" que viene a constituir el promedio ponderado del número de crías por padre (Referencia King, S.C. y C.R. Henderson 1954. Variance Components Analysis in Heritability Studies Poultry Science 33: 147-154).

Para estimar el valor de la heredabilidad h^2 se debe hacer uso del concepto de "correlación de intraclase t", la cual se refiere a la correlación fenotípica entre los miembros de una familia, o a la medida del parecido que hay entre hermanos de padre, hermanos de madre o hermanos enteros.

$$t = \frac{\sigma^2 p}{\sigma^2 p + \sigma^2 m + \sigma^2 w}$$

Desde que se trabaja con hermanos de padre y considerando que el parentesco entre ellos es .25 ó 1/4.

$$t = \frac{h^2}{4} \quad y, \; h^2 = 4\,t$$

La heredabilidad será igual a:

$$h^2 = \frac{4\sigma^2 p}{\sigma^2 p + \sigma^2 m + \sigma^2 w}$$, usando el componente paterno de variancia.

<u>Las pruebas de F</u>:

Para comparar padres

$$F = \frac{\text{C.M. de Padres}}{\text{C.M. del Error Experimental}} = \frac{\sigma^2 w + s\sigma^2 m + rs\sigma^2 p}{\sigma^2 w + s\sigma^2 m}$$

Muchas veces el número de madres por padre no es igual y el número de progenie por padre tampoco. En este caso se debe hacer uso de los coeficientes "k's".

ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes	gl	CM.Esperados
Padres	t-1	$\sigma^2 + k_1\sigma^2_m + k_2\sigma^2_P$
Madres/Padres	nª de madres-t	$\sigma^2 + k_1\sigma^2_m$
Hermanos enteros	total de observaciones - nª de madres.	σ^2
Total	Total de observaciones -1	

En estos casos se puede cuestionar la validez de la prueba de F por cuanto el número de los coeficientes no es igual:

$$K_1 \neq K_2 \neq K_3$$

Si el estudio se hace durante varias generaciones y si los cuadrados medios del error son homogeneos se pueden juntar las generaciones en un solo análisis de acuerdo al siguiente modelo.

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + P_{ij} + M_{ijk} + e_{ijkl}$$

donde:

R_i = repetición o generación.

P_{ij} = efecto del padre j en la generación i.

M_{ijk} = efecto de la madre k apareada con el macho j en la generación i.

e_{ijkl} = residual.

Símbolos:

g = nª de generaciones.

p = nª de padres.

m = nª de madres.

t = total de observaciones.

ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes	gl	Cuadrados Medios Esperados
Generaciones	g-1	$\sigma^2 + K_4\sigma^2_m + K_5\sigma^2_p + K_6\sigma^2_g$
Padres/generaciones	p-g	$\sigma^2 + K_2\sigma^2_m + K_3\sigma^2_p$
Madres/padres/generaciones	m-p	$\sigma^2 + K_1\sigma^2_m$
Hermanos enteros	t-m	σ^2

EJEMPLO DE DISEÑO NESTED O JERARQUICO

Se tomó las ganancias diarias de peso en lbs. de dos cerdos por camada. Las camadas provinieron de los apareamientos de 5 machos con dos diferentes hembras, de tal manera que 10 madres fueron involucradas.

Ganancias diarias

Machos	Madres	Cría 1	Cría 2	$Y_{ij.}$	$Y_{i..}$
	1	2.77	2.38	5.15	
1	2	2.58	2.94	5.52	10.67
2	1	2.28	2.22	.	.
	2	3.01	2.61	.	.
	1	2.36	2.71	.	.
3	2	2.72	2.74	.	.
	1	2.87	2.46	.	.
4	2	2.31	2.24	.	.
	1	2.74	2.56	.	.
5	2	2.50	2.48	.	10.28
				$Y_{...}$	51.48

Se pide:

1. Analizar los resultados del experimento.
2. Determinar si hubo diferencias entre los efectos de los machos.
3. Estime el componente de variancia entre madres.

1. <u>Análisis de Varianza.</u>

- Factor de corrección $= \dfrac{Y^2_{...}}{rst} = \dfrac{(51.48)^2}{2x2x5} = 132.51$

- Suma Cuadrados de Padres

$$SCToros = \frac{\sum_{i=1}^{t} Y^2_{i..}}{rs} - \frac{Y^2_{...}}{rst}$$

$$= \frac{(10.67)^2 + (10.12)^2 +...+ (10.28)^2}{2x2} - FC$$

$$= 132.61-132.51 =.10$$

- Suma de Cuadrados: Madres/Padres.

$$\frac{\sum_{i}^{t}\sum_{j}^{r} Y^2_{ij.}}{s} - \frac{\sum_{i=1}^{t} Y^2_{i..}}{rs}$$

$$= \frac{(5.15)^2+(5.52)^2+...+(4.98)^2}{2} - 132.61$$

$$= 133.175-132.61 = .565$$

- Suma de Cuadrados Cerdos/Madres/Padres.

$$SC = \sum_{ijk} Y^2_{ijk} - \frac{\sum_{i}^{t}\sum_{j}^{r} Y^2_{ij.}}{s}$$

$$\sum_{ijk} Y^2_{ijk} = (2.77)^2+(2.50)^2+...+(2.48)^2 = 133.56$$

$$SC = 133.56 - 133.175 = .385$$

- Suma Total de Cuadrados.

$$SCTotal = \sum_{ijk} Y^2_{ijk}-FC = 133.56-132.51 = 1.05$$

ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes de Variación	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Cuadrado Medio Esperado
Entre Padres	4	.10	.025	$\sigma^2 w + s\sigma^2 m + sr\sigma^2 p$
Madres/Padres	5	.565	.113	$\sigma^2 w + s\sigma^2 m$
Cerdos/Madres/Padres.	10	.385	.0385	$\sigma^2 w$
Total	19	1.05		

2. Diferencia entre Padres.

$$F = \frac{\text{CM Padres}}{\text{CM Error Experimental}} = \frac{.025}{.113} = .22 \text{ ns.}$$

3. Componente Materno de Varianza ($\sigma^2 m$)

$$.113 = \sigma^2 w + s\sigma^2 m$$

$$.113 = .0385 + 2\sigma^2 m$$

$$\frac{.113-.0385}{2} = \sigma^2_m = .0372$$

DISEÑOS CON CAMBIO

Marcial Jara-Almonte

1. Diseño con Cambio Simple.

a. Generalidades.

Estos diseños se utilizan exclusivamente para vacunos lecheros; permiten comparar 2 tratamientos empleando los mismos animales, de tal manera que la variabilidad genética queda bloqueada o eliminada en el análisis.

Los animales experimentales se dividen en dos grupos con igual número de animales ($n_1 = n_2$); sin embargo el diseño puede trabajar cuando el número de animales es diferente ($n_1 \neq n_2$).

A un grupo de animales se aplica el tratamiento A y al otro grupo se le aplica simultáneamente el tratamiento B. Después de un tiempo (período), a los animales que recibían el tratamiento A se les suministra el tratamiento B y a los que recibían el tratamiento B se les suministra el tratamiento A, por igual número de días.

Antes de iniciar el experimento se suele dar un período de acostumbramiento (2 a 3 semanas) para luego iniciar el experimento y tomar las medidas que sean necesarias.

Este diseño al igual que el de cambio doble se utiliza especialmente en ganado lechero para detectar diferencias entre dos tratamientos.

b. Notación.

Y_{ijk}

Y = Una observación cualquiera

i = grupo de animales (1ª o 2do.)

j = unidad o animal (1,2,3,etc).

k = período 1ª o 2do.

c. Esquema:

		Tratamientos		
Grupo 1 (i)		A	B	Diferencia: D_{ij}
		Y_{111}	Y_{112}	D_{11}
		Y_{121}	Y_{122}	D_{12}
		.	.	.
		.	.	.
		.	.	.
		Y_{1n11}	Y_{1n12}	D_{1n1}
	Suma	P1.1	P1.2	$\sum D_{ij} = G_1$
		B	A	
Grupo 2		Y_{211}	Y_{212}	D_{21}
		Y_{221}	Y_{222}	D_{22}
		.	.	.
		.	.	.
		.	.	.
		Y_{2n1}	Y_{2n22}	D_{2n2}
	Suma	P2.1	P2.2	$\sum D_{ij} = G_2$

En general:

$D_{ij} = Y_{ij1} - Y_{ij2}$

1 y 2 = k diferentes períodos

$G_i = P_{i1} - P_{i2} = \sum_i D_{ij}$

d. Hipótesis

Ho: A-B = 0

HA: A-B $\neq$ 0

e. Cálculos.

- Suma de cuadrados de tratamientos (SCTratmnts).

Se indicarán las fórmulas para el caso en que $n_1 = n_2$ y $n_1 \neq n_2$.

Para $n_1 = n_2$

$$\text{SCTrmnts} = \frac{(G_1 - G_2)^2}{4n}$$

Para $n_1 \neq n_2$

$$\text{SCTrmnts} = \frac{(n_2 G_1 - n_1 G_2)^2}{2n1\ n2(n1 + n2)}$$

- Suma de Cuadrados del Error.

Para $n_1 = n_2$

$$\text{SCE} = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - \frac{(G_1^2 + G_2^2)}{2n}$$

Para $n_1 \neq n_2$

$$\text{SCE} = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - \frac{G_1^2}{2n1} = \frac{G_2^2}{2n2}$$

- Suma Total de Cuadrados.

Para $n_1 = n_2$

$$\text{SCTotal} = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - \frac{(G_1 + G_2)^2}{4n}$$

Para $n_1 \neq n_2$

$$\text{SCTotal} = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - \frac{(G_1 + G_2)^2}{2(n_1 + n_2)}$$

ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes de Variación	g.l	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio
Tratamientos.	t-1=1	SCTratmnts	SCT/(t-1)
Error	n_1+n_2-2	SCE.	SCE/(n_1+n_2-2)
Total	n_1+n_2-1	SCTotal	

$$F = \frac{CMTrtmnts}{CME} = \text{con } 1y(n_1 + n-2) \text{ grados de libertad.}$$

- Estimación del Promedio de Tratamientos: $\bar{Y}_p = \bar{\bar{Y}} + t_p$

$$\bar{\bar{Y}} = \frac{1}{2(n_1 + n_2)} \sum_i \sum_j P_{ik} = \frac{\text{Gran Total}}{\text{N° Total de observaciones}}$$

Si $n_1 = n_2$

$$\bar{Y}A = \frac{1}{2n}(P_{11} + P_{22})$$

$$\bar{Y}B = \frac{1}{2n}(P_{12} + P_{21})$$

$n_1 \neq n_2$

$$\bar{Y}A = \frac{P_{11} + P_{22}}{n_1 + n_2}$$

$$\bar{Y}B = \frac{P_{12} + P_{21}}{n_1 + n_2}$$

- Efecto del tratamiento tp.

$$tp = \pm \frac{n_2 G_1 - n_1 G_2}{4n1\ n2}$$, por convención: Para el tratamiento A se usa + y para el tratamiento B se usa -

- Varianza de $\bar{Y}_p$

Si $n_1 = n_2$

$$V(\bar{Y}p) = \frac{s^2}{2n}$$

Si $n_1 \neq n_2$

$$V(\bar{Y}p) = \frac{(n_1 + n_2)s^2}{4n1\ n2}$$

- Diferencia entre promedios.

$$\bar{D} = \bar{Y}A - \bar{Y}B = \frac{(n_2\ G_1 - n_1\ G_2)}{2n1\ n2}$$

- Varianza de D.

$$V\ (\bar{D}) = 2\ V\ (\bar{Y}p)$$

$$S\bar{D} = \sqrt{V\ (\bar{D})}$$

$$t = \frac{D}{\sqrt{S_{\bar{D}}}}$$

- Diferencia Límite de Significación.

$$DLS = t\alpha \sqrt{V\ (\bar{D})}$$

$t\alpha$ = t tabulado para .05 ó .01

con $n_1 + n_{2-2}$ grados de libertad.

- Límites de Confianza.

$$LC = \bar{D} \pm D.L.S.$$

- Coeficiente de Variabilidad.

$$CV = \frac{100\ s_e}{\bar{\bar{Y}}}$$

2. Diseño con sobre Cambio Doble:

En este caso una unidad experimental recibe los dos tratamientos, pero en secuencia: A B A y, B A B.

A un grupo de animales se les aplica el tratamiento A en tanto que al otro grupo se les aplica simultáneamente el tratamiento B. Después de un tiempo (período), los tratamientos se alternan, es decir el primer grupo recibirá el tratamiento B y el segundo el A. Nuevamente y después de otro período experimental los tratamientos se alternan.

En cada período se toman las medidas fenotípicas que servirán para comparar los tratamientos en estudio.

También es usual utilizar el período de acostumbramiento de 2 a 3 semanas y el período experimental de 8 a 10 semanas.

Este diseño al igual que el de cambio simple se utilizan en:

- Experimentos exploratorios donde los extremos de un rango de tratamientos son utilizados.

  Ejemplo: niveles de 10, 12, 14 y 18

  Se comparan 10 con 18.

- Estados finales de experimentación donde se desea medir pequeñas diferencias entre tratamientos.

  La limitación que tiene este diseño es que solo permite comparar dos tratamientos y que ha sido diseñado para estudios con ganado lechero.

i. Notación.

Y_{ijk}

i = grupo.

j = unidad o animal.

k = período.

Grupo	Vacas	Períodos A	B	A	Diferencia : D_{ij}	
	1	Y_{111}	Y_{112}	Y_{113}	$(Y_{111} + Y_{113})-2(Y_{112})$ =	D_{11}
	2	Y_{121}	Y_{122}	Y_{123}	$(Y_{121} + Y_{123})-2(Y_{122})$ =	D_{12}
1		...	...	...		...
	n_1	Y_{1n1}	Y_{1n2}	Y_{1n3}		D_{1n}
	Suma	P_{11}	P_{12}	P_{13}		$\sum = G_1$

		B	A	B	D
	1	Y_{211}	Y_{212}	Y_{213}	D_{21}
	2	Y_{221}	Y_{222}	Y_{223}	D_{22}
2	3	Y_{231}	Y_{232}	Y_{233}	D_{23}
	. .	...	...	...	...
	n_2	Y_{2n1}	Y_{2n2}	Y_{2n3}	D_{2n}
	Suma	P_{21}	P_{22}	P_{23}	$\Sigma = G_2$

En general: Diferencia D_{ij}

$D_{ij} = A_1 + A_3 - 2_{B2}$ Grupo 1

$D_{ij} = B_1 + B_3 - 2_{A2}$ Grupo 2

ii. Cálculos.

- Suma de Cuadrados de Tratamientos.

Si: $n_1 = n_2$

$$SCT = \frac{(G_1 - G_2)^2}{12n}$$

Si: $n_1 \neq n_2$

$$SCT = \frac{(n_2 G_1 - n_1 G_2)^2}{6 n_1 n_2 (n_1 + n_2)}$$

- Suma de Cuadrados del Error.

$$SCE = 1/6 \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - \frac{(G_1 + G_2)^2}{6n}; \quad SCE = 1/6 \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - \frac{G_1^2}{6n_1} - \frac{G_2^2}{6n_2}$$

- Suma Total de Cuadrados.

$$SCTotal = 1/6 \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - \frac{(G_1 + G_2)^2}{12n}; \quad SCTotal = 1/6 \sum_i \sum_j D_{ij} - \frac{(G_1 + G_2)^2}{6(n_1 + n_2)}$$

ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes	gl	SC	CM
Tratmnts.	1	SCTr.	SCTr./1
Error	n_1+n_2-2	SCE.	SCE/n_1+n_2-2
Total	n_1+n_2-1		

- Promedio General.

Si $n_1 = n_2$

$$\bar{\bar{Y}} = \frac{\text{Gran Total}}{6n}$$

Si $n_1 \neq n_2$

$$\bar{\bar{Y}} = \frac{\text{Gran Total} - \dfrac{[(n_1 - n_2)(n_2G_1 - n_1G_2)]}{8n_1n_2}}{3\ (n_1+n_2)}$$

- Efecto Promedio

$$\bar{Y}A \text{ o } B = \bar{\bar{Y}} + th$$

Si $n_1 = n_2$

$$th = \pm \frac{G_1 - G_2}{8n}$$

Si $n_1 \neq n_2$

$$th = \pm \frac{n_2\ G_1 - n_1\ G_2}{8n_1n_2}$$

- Varianza del Promedio de Tratamientos.

$$V_{\bar{Y}} = \frac{3}{8n}\ s^2$$

$$V_{\bar{Y}} = \frac{3(n_1 + n_2)\ s^2}{16n_1n_2}$$

- Varianza de la Diferencia de Tratamientos.

$$V(\bar{Y}A-\bar{Y}B) = 2\ V_{\bar{Y}\ (A\acute{o}B)}$$

$$S\bar{D} = \sqrt{V\ (\bar{D})}$$

$$t = \frac{\bar{D}}{S\bar{D}}$$

$$V(\bar{D}) = 2\ V_{\bar{Y}}$$

$$S\bar{D} = \sqrt{V\ (\bar{D})}$$

$$t = \frac{\bar{D}}{S\bar{D}}$$

iii. Ventajas.

- Diseño usado en ensayos exploratorios donde los extremos de un rango de tratamientos son utilizados.

  Ej. Niveles de Urea: 10 12 14 16

  Comparar 10 vs. 16

- En estados finales de experimentación donde se desea medir pequeñas diferencias entre tratamientos.

EJEMPLO DE DISEÑO CON CAMBIO SIMPLE

Se han comparado dos raciones en alimentación de vacas lecheras: "A" con un alto contenido de grasa y "B" con bajo contenido de grasa en el concentrado. Se utilizaron 8 vacas separadas en dos grupos en un diseño con cambio simple. Cada período duró un mes.

Los promedios de producciones diarias por vaca fueron expresadas en libras.

	Vacas	(A)	(B)	Diferencia
	1	29.9	27.8	2.1
Grupo I	2	54.0	49.7	4.3
	3	41.6	38.4	3.2
	4	28.5	26.5	2.0
		P_{11} 154.0	P_{12}=142.4	G_1 =11.6
	5	22.2	21.4	.8
Grupo II	6	55.5	49.1	6.4
	7	43.5	41.3	2.2
	8	33.2	34.3	1.1
		P_{21} 154.4	P_{22}=146.1	G_2= 10.5

Se pide:

1. Analizar la información y mostrar si hubo o no diferencia entre los efectos promedios de las dos raciones.

Cálculos.

- Suma de cuadrados de tratamientos.

$$S.C.Tratmnts. = \frac{(G_1 - G_2)^2}{4n} = \frac{(11.6 - 10.5)^2}{4 \times 4} = .0756$$

Suma de cuadrados del error.

$$= 1/2 \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - \left(\frac{G_1^2 + G_2^2}{2n} \right)$$

$$= 1/2 \left[(2.1)^2 + (4.3)^2 + \ldots + (1.1)^2 \right] - \left[\frac{(11.6)^2 + (10.5)^2}{2 \times 4} \right]$$

$$= 42.395 - 30.60 = 11.794$$

- Suma total de cuadrados.

$$S.C.Total = 1/2 \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - \frac{(G_1 + G_2)^2}{4n}$$

$$= 42.395 - \frac{(11.6 + 10.5)^2}{4 \times 4}$$

$$= 42.395 - 30.525625$$

S.C.Total = 11.86937

ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes de Variación	gl.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
- Tratamientos.	1	.0756	.0756	.03847ns
- Error.	6	11.794	1.965	
Total	7	11.869		

EJEMPLO DE SOBRE CAMBIO DOBLE

Se ha realizado un ensayo con vacas lecheras para comparar 2 raciones A y B en períodos secuenciales de 30 días cada uno. Los promedios de leche en Kg./vaca en cada período fueron:

	Vacas		A	B	A		D_{ij}
	1		12.6	10.3	11.9		3.9
	2		14.7	11.5	13.5		5.2
$n_1 = 5$	3		16.2	14.8	15.3		1.9
	4		16.0	15.1	15.0		.8
	5		14.4	14.0	14.8		1.2
		Totales	73.9	65.7	70.5	G_1	13
			B	A	B		
	6		14.1	16.4	13.6		5.1
	7		13.2	17.1	14.7		6.3
$n_2 = 4$	8		15.0	16.5	14.1		3.9
	9		16.0	18.0	15.0		5.0
		Totales	58.3	68.0	57.4	G_2	20.3

Se pide:

1. Corra el análisis de varianza y determine si hay diferencia entre los efectos promedios de las dos raciones.

Cálculos.

- Suma total de cuadrados.

$$\text{S.C.Total} = \frac{\sum_i \sum_j D_{ij}^2}{6} - \frac{(G_1 + G_2)^2}{6(n_1 + n_2)}$$

$$= \frac{(3.9)^2 + (5.2)^2 + \ldots + (5)^2}{6} - \frac{(13 + 20.3)^2}{6(5+4)}$$

$$= 25.64 - 20.535 = \underline{5.105}$$

- Suma de cuadrados de tratamientos.

$$\text{S.C. Tratmnts.} = \frac{n_2\ G_1 - n_1\ G_2}{6\ n_1\ n_2\ (n_1 + n_2)}$$

$$= \frac{(4 \text{ X } 13 - 5 \text{ X } 20.3)^2}{6 \text{ X } 5 \text{ X } 4 \ (5 + 4)} = \underline{2.27}$$

- Suma de cuadrados del error.

$$\text{SCE} = \frac{\sum_i \sum_j D_{ij}^2}{6} - \frac{G_1^2}{6x5} - \frac{G_2^2}{6x4}$$

$$= 25.64 - 5.63 - 17.17 = \underline{2.84}$$

ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes de Varianza	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F
- Tratamientos	1	2.27	2.27	5.595*
- Error	7	2.84	.4057	
Total	8	5.11		

DISEÑO CON CAMBIO CON MAS DE DOS TRATAMIENTOS 1/

Marcial Jara-Almonte

1. Generalidades.

A menudo es deseable tomar ventaja de la sensibilidad de los diseños con cambio (Switch-back o doble cambio) para comparar raciones en ganado lechero. La limitación que tienen en general los diseños con cambio es que permiten comparar dos tratamientos.

El presente reporte trata de presentar una modificación que permite comparar más de dos tratamientos.

El diseño básico con cambio, tal como ha sido descrito en otro capítulo, es el siguiente:

Período Experimental	Secuencia de Tratamientos 1	Secuencia de Tratamientos 2
1	1*	2
2	2	1
3	1	2

*/ los números se refieren a los tratamientos que se van a comparar.

Estos diseños son sensibles porque permiten eliminar del error experimental lo siguiente: i) las diferencias en el nivel de producción de las vacas en estudio; ii) los efectos producidos por el medio, durante el período en estudio; iii) la mayor parte de la variación entre las vacas debida a las distintas pendientes de sus curvas de lactancia.

1/ El presente reporte es tomado en parte del Artículo "Switchback Trials For More Than Two Treatments" por H. Lucas; Journal of Dairy Science Vol. XXXIX Nª 2, 146-154.

Estos diseños trabajan con doble secuencia de intercambio, a saber:

$$\text{Diferencia} = Y_1 - 2\,Y_2 + Y_3$$

donde Y_1, Y_2 y Y_3 representan las producciones durante los períodos 1, 2 y 3 respectivamente.

Los diseños que permiten comparar más de 2 tratamientos combinan los diseños con sobre cambio doble y los bloques incompletos balanceados.

En general, la comparación de "t" tratamientos requiere t (t-1) secuencias de tratamientos (diseño completo). Sin embargo si "t" es impar y mayor que 5, se pueden usar diseños que requieren solo t(t-1)/2 secuencias (diseños reducidos).

A continuación se dan modelos de algunos diseños. Al efecto se presentan:

a) Diseños completos para 3, 4 y 6 tratamientos.

i) <u>3 tratamientos</u> (diseño completo).

Bloque I

1	2	3
2	3	1
1	2	3

Bloque II

1	2	3
3	1	2
1	2	3

Nº de secuencias t(t-1) = 3(3-1)= 6

ii) <u>4 tratamientos</u> (diseño completo)

Bloque I

1	2	3	4
2	3	4	1
1	2	3	4

Bloque II

1	2	3	4
3	4	1	2
1	2	3	4

Bloque III

1	2	3	4
4	1	2	3
1	2	3	4

Nº de secuencias t(t-1)= 4(4-1) = 12

b) Diseños reducidos para 5, 7 y 9 tratamientos ya que los modelos con mayor número de tratamientos no son prácticos porque requieren mayor número de vacas.

Lo anterior constituye una seria limitación, dado que en un rebaño no es fácil conseguir suficiente número de vacas en ordeño, que de acuerdo con las restricciones impuestas, puedan ser incluídas en el experimento.

El diseño estará formado por la unión del diseño reducido y su complemento.

i) 5 tratamientos (diseño reducido)

Bloque I

1	2	3	4	5
2	3	4	5	1
1	2	3	4	5

Bloque II

1	2	3	4	5
3	4	5	1	2
1	2	3	4	5

Total secuencias t (t-1) = 5(5-1)/2 = 10

ii) 6 tratamientos (diseño completo).

Bloque I

1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	1
1	2	3	4	5	6

Bloque II

1	2	3	4	5	6
3	4	5	6	1	2
1	2	3	4	5	6

Bloque III

1	2	3	4	5	6
4	5	6	1	2	3
1	2	3	4	5	6

Bloque IV

1	2	3	4	5	6
5	6	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6

Bloque V

1	2	3	4	5	6
6	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6

Total secuencias t (t-1) = 6 (6-1) = 30

iii) 7 tratamientos (diseño reducido)

Bloque I

1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	1
1	2	3	4	5	6	7

Bloque II

1	2	3	4	5	6	7
3	4	5	6	7	1	2
1	2	3	4	5	6	7

Bloque III

1	2	3	4	5	6	7
4	5	6	7	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7

N° de secuencias $t\ (t-1)/2 = 7\ (7-1)/2 = 21$.

2. Uso de los Diseños.

Es conveniente seguir los siguientes pasos:

- Asignar al azar los tratamientos a los números usados en el modelo.
- Las vacas se adjudican a las secuencias.
- Si hay vacas suficientes como para comenzar todas las secuencias al mismo tiempo, las asignación de las secuencias deberá ser completamente al azar.

- Ningún ensayo deberá hacerse agrupando vacas por características similares, previo a la adjudicación ni compensar las diferencias entre vacas a través de los tratamientos.

- Para lograr errores experimentales mínimos, todas las vacas deben pasar el pico de la curva de lactancia antes de que tenga lugar el ensayo, y no debe haber vacas que hayan pasado la mitad de la gestación al finalizar la prueba.

- A veces el número de vacas disponibles que satisfacen estas condiciones no es suficiente como para permitir comenzar todas las secuencias del diseño al mismo tiempo. En este caso se usan los diseños en bloques.

- El procedimiento, tanto para diseños completos como para reducidos, consiste en comenzar los bloques indicados en el modelo, uno por vez. El orden de inicio, tanto para diseños completos y reducidos, consiste en comenzar los bloques indicados en el modelo uno por vez. El orden de inicio de los bloques y la adjudicación de las vacas a las secuencias de tratamientos dentro de cada bloque debe hacerse al azar.

Una alternativa de los bloques, usada solo para diseños completos, es la siguiente: Se descomponen los bloques indicados en el modelo en pares de secuencia de tratamientos. Por ejemplo, la secuencia de pares para el diseño de 4 tratamientos es:

Par 1	Par 2	Par 3	Par 4	Par 5	Par 6
1 2	2 3	3 4	4 1	1 3	2 4
2 1	3 2	4 3	1 4	3 1	4 2
1 2	2 3	3 4	4 1	1 3	2 4

Esto no es aconsejable para experiencias con pocos animales, porque habrá pocos grados de libertad para el error.

3. Análisis Estadístico.

- El primer paso es calcular para cada vaca la diferencia:

$$D = Y_1 - 2\ Y_2 + Y_3$$

donde: Y_1, Y_2 y Y_3 representan las producciones en los períodos 1, 2 y 3 respectivamente.

- Luego se calcula M (suma de los D para todas las vacas en todas las secuencias) y, si el diseño es en bloques, se calcula para cada bloque B (suma de los D en cada bloque).

- El tercer paso, es el cálculo para cada tratamiento de Q (suma de los D para las vacas que recibieron el tratamiento en el primer y tercer período, menos la suma de los D para las vacas que recibieron el mismo tratamiento en el segundo período).

4. Análisis de Varianza.

Símbolos.

t = número de tratamientos.

$$n = \begin{cases} r \text{ en un diseño reducido} \\ 2r \text{ en un diseño completo} \end{cases}$$

donde r = número de vacas por secuencia de tratamientos.

b = número de bloques en el diseño.

m_u = número de vacas en el u-ésimo bloque.

D_{ij} = el valor de D para la j-ésima vaca en la i-ésima secuencia de tratamientos.

B_u = el valor de B para el u-ésimo bloque.

Q_k = el valor de Q para el K-ésimo tratamiento.

Los cuadrados medios y la prueba de F para tratamientos se calcula de la manera usual.

5. Medias de tratamientos.

i) La media para el K-ésimo tratamiento se obtiene así:

$$\bar{Y}_k = \bar{\bar{Y}} + Q_k/2nt.$$

en la cual $\bar{\bar{Y}}$ es la media general de población en el experimento que se calcula con las producciones obtenidas en cada vaca y no con las D's.

ii) Error standard de la diferencia de tratamientos es:

$$S\bar{D} = \sqrt{\frac{3\ s^2}{nt}}$$

6. Ejemplo Numérico.

La información que se presenta simula un experimento con doce vacas. Para ilustrar las características del efecto de blocks se asume que 6 vacas comienzan a un tiempo en un diseño completo en la secuencia conocida de los tratamientos: 1,2 y 3. Las 6 vacas restantes comienzan después en dos bloques de 3 cada uno.

En el siguiente cuadro aparecen las producciones de leche corregida al 4% de grasa y en libras/vaca. El número entre paréntesis indica el tratamiento respectivo.

EL CUADRO DE ANALISIS DE VARIANZA ES:

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	
		Abreviatura	Fórmula del Cálculo
- Factor de corrección	1	F.C.	$\frac{M^2}{3\,nt(t-1)}$
- Total (corregido)	$\frac{nt(t-1)}{2} - 1$	S.C.To.	* $\frac{1}{6} \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - FC.$
- Bloques (si están presentes)	b-1	S.C.B.	* $\frac{1}{6} \sum_u \frac{Bu^2}{m_u} - FC$
- Tratamientos.	t-1	S.C.Tratmnts.	* $\frac{1}{6nt} \sum_k Q_k^2$
- Error Experimental (con bloques)	$\frac{nt(t-1)-2(t+b)+2}{2}$	S.C.E.	S.C.To. - S.C.B.-S.C.Tratmnts.
- Error Experimental (Sin bloques)	$\frac{nt^2 - (n+2)\,t}{2}$	S.C.E.	S.C.To. - S.C.Tratmnts.

*/ El divisor 6 se introduce para indicar la suma de cuadrados por vaca y por período base.

TRATAMIENTOS Y PRODUCCIONES POR DIA: lb.

Block I	Período 1	Período 2	Período 3	Valor de D_{ij}
Vacas	(Y_1)	(Y_2)	(Y_3)	$Y_1-2Y_2 + Y_3$
1	(1) 34.6	(2) 32.3	(1) 28.5	-1.5 */
2	(2) 22.8	(3) 21.0	(2) 18.6	- .6
3	(3) 32.9	(1) 33.1	(3) 27.5	-5.8
4	(1) 48.9	(3) 46.9	(1) 42.0	-2.9
5	(2) 21.8	(1) 23.9	(2) 21.7	-4.3
6	(3) 25.4	(2) 26.0	(3) 23.9	-2.7
Suma	186.4	183.2	162.2	Q_1=-17.8
Block II				
7	(1) 30.4	(3) 29.5	(1) 26.7	-1.9
8	(2) 35.2	(1) 33.5	(2) 28.4	-3.4
9	(3) 30.8	(2) 29.3	(3) 26.4	-1.4
Suma	96.4	92.3	81.5	Q_2= -6.7
Block III				
10	(1) 38.7	(2) 37.4	(1) 34.4	-1.7
11	(2) 25.7	(3) 26.1	(2) 23.4	-3.1
12	(3) 21.4	(1) 22.0	(3) 19.4	-3.2
Suma	85.8	85.5	77.2	Q_3= -8.0
Suma Total	368.6	361.0	320.9	M =-32.5

*/ -1.5 = Y1- 2Y2 + Y3 = 34.6 - (2) (32.3) + 28.5

-3.2 = 21.4-(2)(22.0)+ 19.4

i) Valores de Q_k Tratamientos.

Sumar los D_{ij} donde comience el tratamiento y restarle las D_{ij} donde éste aparece en el segundo período.

Tratamiento 1 = (-1.5-2.9-1.9-1.7)-(-5.8-4.3-3.4-3.2) = 8.7
Tratamiento 2 = (-.6-4.3-3.4-3.1) -(-1.5-2.7-1.4-1.7)= -4.1
Tratamiento 3 = (-5.8-2.7-1.4-3.2)-(-.6-2.9-1.9-3.1) = -4.6

-<u>NOTA</u>: Note que $t = 3$

$n = 2r = 2\ (2)$ ya que en el bloque completo 2 vacas intervienen
$b = 3$ con cada tratamiento.
$m_1 = 6$ vacas bloque 1
$m_2 = 3$ vacas bloque 2
$m_2 = 3$ vacas bloque 3

ii) Factor de Corrección.

$$FC = \frac{M^2}{3nt(t-1)} = \frac{(-32.5)^2}{(3)(2)(2)(3)(3-1)}$$

$$FC = \frac{1056.25}{72} = \underline{14.67}$$

iii) Suma de cuadrados total.

$$SCTo. = 1/6 \sum_i \sum_j D_{ij}^2 - FC$$

$$SCTo. = 1/6 \left[(-1.5)^2 + (-.6)^2 + \ldots + (-3.2)^2\right] - 14.67 = \underline{3.72}$$

iv) Suma de Cuadrados de Blocks.

$$SCB = 1/6 \sum_u B_u^2 - FC$$

$$= 1/6 \left[\frac{(-17.8)^2}{6} + \frac{(-6.7)^2}{3} + \frac{(-8.0)^2}{3}\right] - 14.67 = .18$$

$SCBlocks = \underline{.18}$

v) Suma de Cuadrados de Tratamientos.

$$SCTratmnts. = \frac{1}{6nt} \sum_k Q_k^2$$

$$= \frac{1}{6(2)(2)(3)} \left[(8.7)^2 + (-4.1)^2 + (-4.6)^2\right]$$

$SCTratmnts. = \underline{1.58}$

vi) Suma de Cuadrados de Error

SCError = SCTo-SCBlock-SCTratmnts= 3.72-.18-1.58 = 1.96

vii) Análisis de Varianza.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
- Blocks	3-1 = 2	0.18	.09	2.82
- Tratamientos	3-1 = 2	1.58	.79	
- Error Experimental.	$\frac{(2)(2)(3)(3-1)-2(3+3)-2}{2} = 7$	1.96	.28	
Total	$\frac{(2)(2)(3)(3-1)}{2} - 1 = 11$	3.72	.34 1/	

1/ El cuadrado medio del total no se computa. En este caso se hizo por la uniformidad de los datos.

viii) El Promedio General.

$$\bar{\bar{Y}} = \frac{368.6 + 361.0 + 320.9}{36} = 29.18 \text{ Lb.}$$

ix) Promedio de Tratamientos.

$$\bar{Y}_1 = \bar{\bar{Y}} + Q_k / 2nt$$

$$\bar{Y}_1 = 29.18 + \frac{8.7}{(2)(2)(2)(3)} = 29.18 + \frac{8.7}{24} = 29.54 \text{ Lb.}$$

$$\bar{Y}_2 = 29.18 + \left(\frac{-4.1}{(2)(2)(2)(3)}\right) = 29.18 - .17 = 29.01 \text{ Lb.}$$

$$\bar{Y}_3 = 29.18 + \left(\frac{-4.6}{(2)(2)(2)(3)}\right) = 29.18 - .19 = 28.99 \text{ Lb.}$$

x) Error Standard de la diferencia de tratamientos.

$$s\bar{d} = \sqrt{\frac{3\ s^2}{nt}} = \sqrt{\frac{3(.28)}{(2)(2)(3)}} = .27$$

xi) Coeficiente de Variación.

$$CV = \frac{100 \times \sqrt{s^2}}{\bar{\bar{Y}}} = \frac{100 \times \sqrt{.28}}{29.18} = 1.89$$

Esto demuestra la alta sensibilidad de este diseño.

ANALISIS DE COVARIANZA

Marcial Jara-Almonte

La covarianza no es un diseño, es una técnica que se utiliza cuando en un experimento hay dos o más variables concomitantes que se han medido y no se ejerce control sobre ellas; sin embargo éstas actúan como variables independientes con respecto a la variable dependiente que se ha registrado para medir el fecto de tratamientos. Esta técnica utiliza en forma combinada análisis de variancia y regresión.

1. Usos de la Covarianza.

Se usa covarianza para:

- Asistir en la interpretación de la información, especialmente con respecto a la naturaleza del efecto de los tratamientos.
- Para controlar el error experimental y aumentar así la precisión del experimento.
- Para ajustar el promedio de los tratamientos de la variable dependiente por las diferencias en los valores de las correspondientes variables independientes.

a) Para asistir en la interpretación de la información.

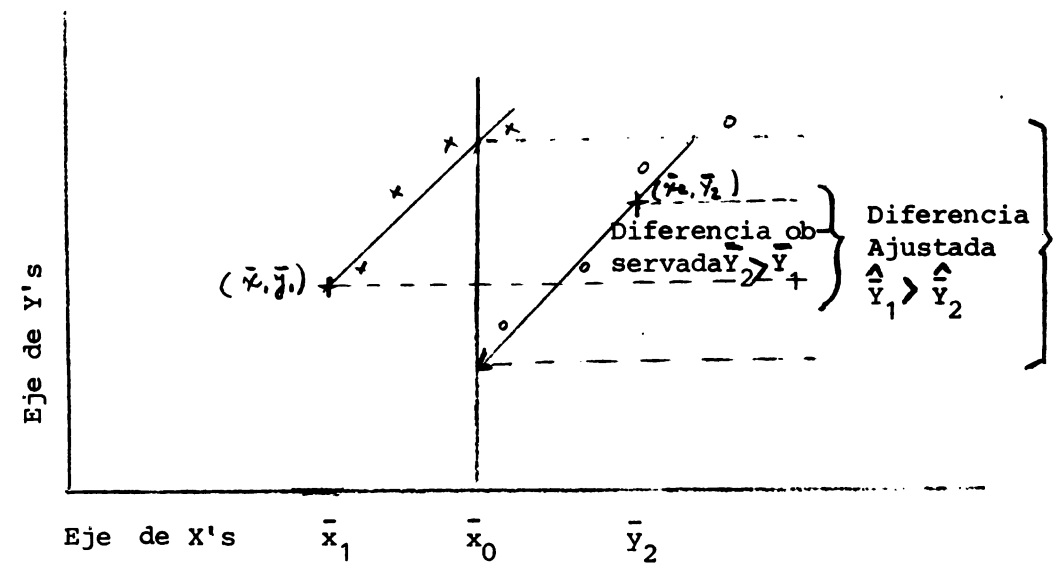
La covarianza ayuda al experimentador a entender los principales resultados de la investigación. Por ejemplo, ciertos tratamientos producen efectos a la vez en las variables dependientes y en las variables independientes. El análisis de covarianza ayudará a determinar la manera por la cual se produce este efecto.

b y c) Control del Error y Ajuste de Promedios.

Estos dos usos aparecen juntos. La varianza de un promedio de tratamiento es σ^2/n; sin embargo cuando este valor debe ser reducido, caben dos caminos.

- Si la covarianza se usa como método de control de error, esto es σ^2, significa que la variación observada en "Y" es parcialmente debida a la variación en la variable independiente X. Todo esto quiere decir que la variación entre los tratamientos Y's es afectada por la variación entre tratamientos X's, y para ser comparable los tratamientos (Y's), éstos deben ser ajustado para que sean los mejores estimadores de lo que ellos podrían ser si todas las X's hubieran sido iguales.

- Si el objetivo de la covarianza es ajustar los tratamientos Y's, se reconoce que existe una regresión de Y sobre X, que llama a un ajuste de error.



- Para cada tratamiento, la variación en X parece que contribuye a la variación en Y. Por lo tanto hay necesidad de controlar el error o cuadrado medio mediante la covarianza.

- La separación de $\bar{X}_1$ y $\bar{X}_2$ puede contribuir grandemente a la diferencia entre $\bar{Y}_1$ y $\bar{Y}_2$.

- Si los Y's hubiesen sido observados desde un valor común de $\bar{X}$, dígase Xo entonces podrían ser libremente comparados. Por lo tanto, es necesario ajustar los promedios de los tratamientos.

- Si se controla el error, la covarianza permite incrementar la precisión. Esto se consigue removiendo por regresión ciertos efectos ambientales reconocidos que no pueden ser controlados efectivamente por el diseño experimental.

- En ganadería.

  . Los experimentos de alimentación para comparar los efectos de varias raciones en ganancias de peso utilizan animales que varían en pesos iniciales y si éstos no se uniforman podrían alterar los resultados.

  . Asimismo, la comparación entre tratamientos no ajustados pueden originar diferencias debidas al valor nutritivo de las raciones, a las diferencias de alimento consumido o a ambas causas. Si la diferencia entre promedios de ganancia es ajustada a la misma cantidad de alimento consumido, las comparaciones indicarán las verdaderas diferencias en el valor nutritivo de las raciones.

- Es necesario conocer cuando la variable independiente es influenciada por los tratamientos. Si esto es verdad, la interpretación debe ser cambiada, dado que los promedios ajustados estiman los valores ajustados cuando los valores de X's son los mismos. En este caso no debe ser usada la covarianza.

2. Modelo y Suposiciones de la Covarianza.

- La variable X es independiente del efecto de los tratamientos. Ideal es que X sea medida antes que los tratamientos sean aplicados.

- Los valores de X's deben ser medidos sin error desde que son parámetros asociados con Y's.

- La relación entre Y con X debe ser de la forma Y = a+bx (relación lineal).

  Si la regresión no es lineal, lo cual puede ser comprobado al graficar los valores, caben dos soluciones.

  . Transformar los datos.
  . Usar covarianza múltiple.

- Los residuales o errores deben ser independientes y normalmente distribuidos con promedio cero y varianza común, I.N.D,$(0, \sigma^2)$.

- La regresión de Y sobre X después de remover el efecto de blocks y de tratamientos, además de ser lineal debe ser independiente de los tratamientos y blocks.

El modelo aditivo para el Diseño en Block Randomizado es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + P_j + \beta\ (X_{ij}-\bar{X}_{oo}) + E_{ij} \qquad (1)$$

donde:

μ = promedio.
T_i= Efecto de tratamientos.
P_j= Efecto de blocks.
β = Regresión de Y sobre X por $(X_{ij}-\bar{X}_{oo})$
E_{ij}= Residual. Esta varianza residual es estimada sobre la base de los valores de μ, $T_i{}'_s$, Pj's yβ, asumiendo que:

$$\sum_{ij}\left[(Y_{ij}- \hat{u}-\hat{T}_i-p_j \ -\beta(X_{ij}-\bar{X}_{oo})\right]^2 = \text{mínimo.}$$

$\mu = \hat{y}$
$\hat{T}_i= t_i = \bar{y}_{io}- \bar{y}_{oo}-b\ (x_{io}-\bar{x}_{oo})$
$\hat{p}_j= r_j = \bar{Y}_{oj}- \bar{Y}_{oo}-b\ (\bar{x}_{oj}-\bar{x}_{oo})$

$$\hat{\beta} = b = \frac{\Sigma xy}{\Sigma xx}$$

$$\sigma^2_{yx} = \rho^2_{yx} = \frac{E_{yy} - (E_{xy})^2/E_{xx}}{\text{grados de libertad del error}}$$

E_{xx} = Suma de cuadrados del error para X

E_{xy} = Suma de producto cruzado (XY)

E_{yy} = Suma de Cuadrados del error para Y.

ESQUEMA DEL DISEÑO BLOCK RANDOMIZADO

Block = r

Tratamientos = t

Fuentes de Variación	gl.	Suma de Productos X,X	Suma de Productos X,Y	Suma de Productos Y,Y	gl.	Ajuste $\sum y^2$	Varianza
- Total	rt-1	$\sum x^2$	$\sum xy$	$\sum y^2$			
- Blocks	r-1	R_{xx}	R_{xy}	R_{yy}			
- Tratamientos	t-1	T_{xx}	T_{xy}	T_{yy}			
- Error	(r-1) (t-1)	E_{xx}	E_{xy}	E_{yy}	(r-1) (t-1)-1	$E_{yy} - \frac{(E_{xy})^2}{E_{xx}}$	$s^2_{y,x}$
- Tratamientos + Error	r(t-1)	S_{xx}	S_{xy}	S_{yy}	r(t-1)-1	$S_{yy} - \frac{(S_{xy})^2}{S_{xx}}$	
- Tratamientos Ajustados					t-1	$\left[S_{yy} - \frac{(S_{xy})^2}{S_{xx}}\right] - \left[E_{yy} - \frac{(E_{xy})^2}{E_{xx}}\right]$	

Pruebas de F.

1. Para tratamientos no ajustados: $F_1 = \frac{T_{yy}/(t-1)}{E_{yy}/(r-1)(t-1)}$; con t-1/(r-1)(t-1), gl.

2. Para valores de X's. : $F_2 = \frac{T_{xx}/(t-1)}{E_{xx}/(r-1)(t-1)}$; con t-1/(r-1)(t-1), gl.

3. Tratamientos ajustados. Este es el test válido.

$$F_3 = \frac{\left[S_{yy} - \frac{(S_{xy})^2}{S_{xx}}\right] - \left[E_{yy} - \frac{(E_{xy})^2}{E_{xx}}\right] \Big/ t-1}{S^2_{yx}}$$

; con t-1/(r-1)(t-1)-1, gl.

Ejemplo: Covarianza en Block Randomizado.

Y_{ij} i = Tratamientos (1...t)

j = Blocks (I...V)

Blocks

Tratamientos	I		II		... V		Total de Tratamientos	
	X	Y	X	Y	X	Y	$X_{i.}$	$Y_{i.}$
1	X_{11}	Y_{11}	X_{12}	Y_{12}	...X_{15}	Y_{15}	$X_{1.}$	$Y_{1.}$
2	X_{21}	Y_{21}	X_{22}	Y_{22}	...X_{25}	Y_{25}	$X_{2.}$	$Y_{2.}$
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	. .	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
t	X_{t1}	Y_{t1}	X_{t2}	Y_{t2}	X_{t5}	Y_{t5}	$X_{t.}$	$Y_{t.}$
Total Blocks $X_{.i}$; $Y_{.j}$	$X_{.1}$	$Y_{.1}$	$X_{.2}$	$Y_{.2}$	$X_{.5}$	$Y_{.5}$	$X_{..}$	$Y_{..}$

Cálculos.

a. Suma de Productos Total.

$$\sum x_{ij}^2 = \sum X_{ij}^2 - \frac{X^2_{..}}{rt}$$

$$\sum x_{ij}\, y_{ij} = \sum X_{ij}\, Y_{ij} - \frac{X_{..}\, Y_{..}}{rt}$$

$$\sum y_{ij}^2 = \sum Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{rt}$$

b. Suma de Productos de Blocks.

$$R_{xx} = \frac{\sum_j X^2_{.j}}{t} - \frac{X^2_{..}}{rt}$$

$$R_{xy} = \frac{\sum_j X_{.j}\, Y_{.j}}{t} - \frac{X_{..}\, Y_{..}}{rt}$$

$$R_{yy} = \frac{\sum_j Y^2_{.j}}{t} - \frac{Y_{..}^2}{rt}$$

c. Suma de Productos de Tratamientos.

$$T_{xx} = \frac{\sum_i X^2_{i.}}{r} - \frac{X^2_{..}}{rt}$$

$$T_{xy} = \frac{\sum_i X_{i.}\ Y_{i.}}{r} - \frac{X_{..}\ Y_{..}}{rt}$$

$$T_{yy} = \frac{\sum_i Y_{i.}^2}{r} - \frac{Y^2_{..}}{rt}$$

d. Suma de Productos del Error (por diferencia).

$$E_{xx} = \sum x^2_{ij} - R_{xx} - T_{xx}$$

$$E_{xy} = \sum x_{ij}\ Y_{ij} - R_{xy} - T_{xy}$$

$$E_{yy} = \sum Y_{ij}^2 - R_{yy} - T_{yy}.$$

e. Ajustes de Y's

Sabiendo que $b_{yx} = E_{xy}/E_{xx}$ (Coeficiente de regresión).

Se utiliza la ecuación de ajuste.

$$\hat{Y}_i = Y_i - b_{yx}\ (\bar{x}_{i.} - \bar{x}_{..})$$

donde:

$\hat{Y}_i$ = Valor de Y ajustado por X's.

Y_i = Valor observado de Y.

b_{yx} = Coeficiente de regresión de Y sobre x.

$\bar{x}_i$ = Valor observado de X.

$\bar{x}_{..}$ = Promedio de X's.

f. Comparaciones Individuales.

Se puede utilizar:

$$t = \frac{\bar{Y}_i - \bar{Y}}{s\bar{d}}$$

donde:

$$s\bar{d} = \sqrt{\frac{2\, s^2 yx}{r}\left[1 + \frac{T_{xx}}{(t-1)\, E_{xx}}\right]}$$

Los valores de $\bar{Y}_i$ son los ajustados y no los reales. Se debe leer el valor de "t" con grados de libertad del error.

Ejemplo:

En un cultivo de sorgo forrajero se evaluó el rendimiento de grano y la producción del forraje. Al efecto se compararon 7 tratamientos: 30; 35; 40; 45; 50; 55 y 60 días después de ocurrida la floración. El número de plantas por parcela útil fue de 52. A la cosecha el número de plantas por tratamiento y por repetición fue diferente. Los datos obtenidos al finalizar el experimento figuran en el Cuadro 1, en el cual la "X", representa el número de plantas por parcela y la "Y" la producción de grano en Kg./parcela.

El diseño utilizado fue el de Block Completo al Azar con 6 repeticiones o blocks.

Cuadro 1. Rendimiento de grano seco (kg./parcela) y número de plantas de sorgo cosechadas en diferentes fechas después de la floración.1/

Días de tratamiento	Bloques												$X_{i.}$	$Y_{i.}$
	I		II		III		IV		V		VI			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
30	41	4,08	24	2,78	31	2,79	46	4,24	32	4,17	38	2,62	212	20,68
35	40	4,26	36	4,23	44	5,60	48	6,36	47	4,33	47	4,03	262	28,84
40	37	4,72	32	4,92	38	4,50	41	5,62	42	5,15	40	4,32	230	29,23
45	32	4,25	38	4,53	40	4,83	40	4,30	51	5,43	46	4,52	247	27,91
50	37	4,00	34	5,05	47	5,54	41	6,46	50	6,65	39	5,70	248	33,40
55	42	6,16	38	5,00	34	4,61	40	5,41	42	5,13	49	5,86	245	32,17
60	35	4,59	22	3,63	44	6,20	35	5,47	40	5,16	40	6,07	216	31,12
$X_{.j}$; $Y_{.j}$	264	32,06	224	30,14	278	34,07	291	37,89	304	36,02	299	33,17	1,660	203,35

X = Nº de plantas

Y = Producción de grano (Kg./parcela).

1/ Ejemplo tomado de Norma M. Cantatore de Frank.

Símbolos

$$Y_{ij} \begin{cases} i = \text{tratamientos } (1\ldots.t) \\ j = \text{blocks } (1\ldots.r) \end{cases}$$

1. Cálculos.

a. Factores de Corrección.

i) $$\text{FC para X} = \frac{X^2..}{rt} = \frac{(1660)}{7 \times 6} = \underline{65,609.52}$$

ii) $$\text{FC para Y} = \frac{(Y..)^2}{rt} = \frac{(203.35)^2}{42} = \underline{984.55}$$

iii) $$\text{FC para XY} = \frac{(X..)(Y..)}{rt} = \frac{(1660)(203.35)}{42} = \underline{8,037.16}$$

b. Suma de Productos Total.

i) $$\sum xij^2 = \sum X^2_{ij} - \frac{X^2..}{rt}$$

$$= (41)^2+(40)^2+\ldots+(40)^2-65,609.52 = \underline{1648.48}$$

ii) $$\sum x_{ij}y_{ij} = \sum X_{ij}\ Y_{ij} - \frac{X..Y..}{rt}$$

$$= (41)(4.08)+\ldots+(40)(6.07)-8037.16 = \underline{141.33}$$

iii) $$\sum y^2_{ij} = \sum Y^2_{ij} - \frac{Y^2..}{rt}$$

$$= (4.08)^2+(4.26)^2+\ldots+(6.07)^2-984.55 = \underline{38.18}$$

c. <u>Suma de Productos de Blocks</u>

i) $$R_{xx} = \frac{\sum X^2.j}{t} - \frac{X^2..}{rt}$$

$$= \frac{(264)^2+(224)^2+\ldots+(299)^2}{7} - 65,609.52$$

$$R_{xx} = 66,236.29-65,609.52 = \underline{626.76}$$

ii) $$R_{xy} = \frac{\sum X_{.j}\ Y_{.j}}{t} - \frac{X_{..}\ Y_{..}}{rt}$$

$$= (264x32.06) +\ldots+(299x33.17) - 8037.17$$

$$= 8082.93 - 8037.17 = \underline{45.77}$$

iii) $$R_{yy} = \frac{\sum_j X^2_{.j}}{t} - \frac{Y^2_{..}}{rt}$$

$$R_{yy} = \frac{(32.06)^2 + (30.14)^2+\ldots+(36.02)^2}{7} - 984.55$$

$$= 990.05 - 984.55 = 5.5$$

d. Suma de Productos de Tratamientos.

i) $$Txx = \frac{\sum X^2_{i.}}{r} - \frac{X^2_{..}}{rt}$$

$$= \frac{(212)^2+(262)^2+\ldots+(216)^2}{6} - 65{,}609.52$$

$$= 65{,}947 - 65{,}609.52 = \underline{337.48}$$

ii) $$T_{xy} = \frac{\sum X_{i.}\ Y_{i.}}{r} - \frac{X_{..}Y_{..}}{rt}$$

$$= \frac{(212x20.68)+\ldots+(216x31.12)}{6} - 8037.16 =$$

$$= 8073.9437-8037.16 = \underline{36.78}$$

iii) $$T_{yy} = \frac{\sum Y_{i.}^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{rt}$$

$$= \frac{(20.68)^2+\ldots+(31.12)^2}{6} - 984.55$$

$$= 1001.94 - 984.55 = \underline{17.40}$$

d. Suma de Productos del Error.

i) $E_{xx} = \sum x_{ij}^2 - R_{xx} - T_{xx}$

$= 1648.48 - 626.76 - 337.48 = 684.24$

ii) $E_{xy} = \sum x_{ij}.y_{ij} - R_{xy} - T_{xy}$

$= 141.33 - 45.77 - 36.78 = \underline{58.78}$

iii) $E_{yy} = \sum y_{ij}^2 - R_{yy} - T_{yy}$

$= 38.18 - 5.5 - 17.40 = 15.28$

e. Coeficiente de Regresión Y sobre X

$b_{yx} = E_{xy}/E_{xx}$

$= 58.78/684.24 = .0859$ kg.

f. Análisis de Covarianza

Fuentes de Variación	gl	Suma de Productos			Y ajustado por X			
		xx	xy	yy	gl	$\sum y^2$	Cuadrado Medio	F
Total	41	1648.48	141.33	38.18				
Blocks	5	626.76	45.77	5.5				
Tratamientos	6	337.48	36.78	17.4				
Error	30	684.24	58.78	15.28	29	10.23	.3527	
Tratamientos + Error	36	1021.72	95.56	32.68	35	23.74		
Tratamientos Ajustados					6	13.51	2.2516	6.3838

Cálculos Adicionales

g. Suma de Cuadrados Ajustados.

i) Para el Error.

$$\sum y^2 = E_{yy} - \frac{(E_{xy})^2}{E_{xx}} = 15.28 - \frac{(58.78)^2}{684.24} = \underline{10.23}$$

ii) Tratamientos + Error.

$$S_{yy} - \frac{(S_{xy})^2}{S_{xx}} = 32.68 - \frac{(95.56)^2}{1021.72} = \underline{23.74}$$

iii) Tratamientos Ajustados.

$$S_{yy} - \frac{(S_{xy})^2}{S_{xx}} - E_{yy} - \frac{(E_{xy})^2}{E_{xx}}$$

$$= \left[32.68 - \frac{(95.56)^2}{1021.72} \right] - \left[15.28 - \frac{(58.78)^2}{684.24} \right]$$

$$= 23.74 - 10.23 = \underline{13.51}$$

h. Pruebas de F.

i) Para tratamientos (Y) no ajustados por número de plantas X.

$$F = \frac{17.40/6}{15.28/30} = \frac{2.9}{.50} = \underline{5.8}^{**} \quad \text{(con 6/30 g.l.)}$$

ii) Para diferencias en el número de plantas (X)

$$F = \frac{337.48/6}{684.24/30} = \frac{56.246}{22.808} = 2.466^{*} \quad \text{(con 6 y 30 g.l.)}$$

iii) Para Tratamientos (Y cantidad de grano) ajustados por número de plantas (X).

$$F = \frac{C.M.Error}{s^2_{yx}} = \frac{2.2516}{.3527} = 6.3838^{**} \quad \text{(con 6 y 29 g.l.)}$$

Esta última prueba es la que debe tomarse en consideración para comparar el rendimiento en grano ajustado por el número de plantas.

i. Ecuación de Ajuste.

$$\hat{Y}_{i.} = Y_{i.} - b_{yx} (\bar{X}_{i.} - \bar{X}..$$

j. Promedio de Tratamientos Ajustados.

Días después de la floración: Tratamientos.	Promedio de N° de Plantas	Desviación $\bar{X}_{i.} - \bar{X}_{..}$	Ajuste b_{yx} $(\bar{X}_{i.} - \bar{X}..)$	Valor observado de producción de grano: $\bar{Y}_{i.}$ (Kg./parcela)	Valor ajustado de producción de grano: $\hat{Y}_i$ (Kg./parcela)
30	35.33	-4.19	-.3599	3.4466	3.0867
35	43.66	4.14	.3556	4.8066	5.1622
40	38.33	-1.19	-.1022	4.8716	4.7694
45	41.16	1.64	.1408	4.6516	4.7924
50	41.33	1.81	.1554	5.5666	5.7220
55	40.83	1.31	.1125	5.3616	5.4741
60	36.00	-3.52	-.3024	5.1866	4.8842
	$\bar{X}$ 39.52	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\bar{Y}_{..}$ 4.8416	$\bar{\bar{Y}}$ 4.8416

k. Coeficiente de Variabilidad.

$$CV\ (X) = \frac{\sqrt{22.80}}{39.52} \times 100 \quad ; \quad CV_{(Y)} = \frac{\sqrt{.51}}{4.84416}$$

$$= 12.08\% \qquad\qquad = 14.74\%$$

... para la Agricultura (IICA) es el organismo ... teramericano. Sus orígenes se remontan al ... Directivo de la Unión Panamericana aprobó ... encias Agrícolas.

... ión agronómica y de enseñanza de posgrado ... los cambios y las nuevas necesidades del ... en un organismo de cooperación técnica y ... agropecuario. Estas transformaciones fueron ... , el 8 de diciembre de 1980, de una nueva ... nes del IICA los de estimular, promover y ... Estados Miembros para lograr el desarrollo

... una estructura que permite la participación ... nteramericana de Agricultura y en su Comité ... da presencia geográfica ...

El Plan de Mediano Plazo 1987-1991, documen... del Instituto, enfatiza acciones dirigidas a la re... elemento central del crecimiento económico. ... especial importancia al apoyo y promoción de ... tecnológica del agro y al fortalecimiento de ... subregional.

Para lograr esos objetivos el IICA concentra sus a... que son: **Análisis y Planificación de la Polític... de Tecnología; Organización y Administración par... y Agroindustria;** y **Sanidad Vegetal y Salud Animal.**

Estas áreas de acción expresan, de manera sim... fijadas por los mismos países miembros y los á... concentra sus esfuerzos y su capacidad técnica, ... recursos humanos y financieros como de su relación ...

0-0...

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA
Apartado Postal 1410-Edificio Palmira, 2do. piso
Tegucigalpa, Honduras, C.A.