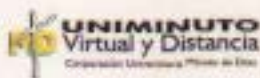


609915

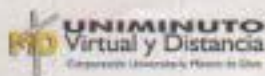
# APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS Y TÉCNICAS DE EXPERIMENTACIÓN

## Módulo Genérico



# Aplicación de metodologías y técnicas de experimentación

Argemiro Domínguez Villafañe



# Aplicación de metodologías y técnicas de experimentación

i

Con el deseo de contribuir a su desarrollo profesional se ha estructurado el texto "Aplicación de metodologías y técnicas de experimentación", con el que usted podrá participar desde la estadística experimental en los procesos de investigación en palma de aceite que se desarrollen en campo, vivero o laboratorio en la empresa palmera para dar respuesta a problemas asociados con la producción.

El módulo es diseñado para que la participación del componente estadístico en el proceso de investigación se realice desde la planeación de los experimentos, indicando cuáles son los diseños experimentales adecuados de acuerdo con los requerimientos técnicos y las condiciones experimentales para la investigación, participando en el establecimiento en campo de los experimentos para hacer una vigilancia con el fin que se realice lo planeado, y llevar a cabo el seguimiento y control a la toma de las observaciones para que los datos sean de buena calidad. Lo anterior se realiza para que los resultados del análisis estadístico sean confiables y sirvan de soporte para concluir y dar recomendaciones ciertas al sector palmicultor.

Se invita al estudiante a que se apropie de esta importante herramienta metodológica para que obtenga el mejor provecho y se refleje en su desempeño laboral.

**Domínguez Villafañe, Argemiro / Aplicación de metodologías y técnicas de experimentación**

Convenio de Asociación entre Fedepalma, UNIMINUTO, UNAD Uninariño y otros, 2010.

46 pp.

ISBN 978-958-8616-34-6 CDD 519.5 BRGH

1. Experimentación en campo. 2. Métodos estadísticos. 3. Análisis de la varianza.

Cofinanciado por Fedepalma-Fondo de Fomento Palmero

Publicación del Convenio de Asociación suscrito entre la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma, la Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO, la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, la Universidad de Nariño, Fundewilches, Cordeagropaz, SENA-Regional Santander y otros, para el fortalecimiento de la Cadena del Aceite de Palma en las principales zonas palmeras del país.

**Fedepalma:**

Jens Mesa Dishington, Presidente Ejecutivo  
Álvaro Campo Cabal, Director de Extensión de Fedepalma y Gerente del Convenio de Asociación Fedepalma, UNIMINUTO, UNAD y otros.  
Claudia Muñoz Rocha, Jefe de Comunicaciones y responsable de publicaciones

**Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural:**

Celia Galeano, Secretaria Técnica de la Cadena de Palma, Oleaginosas, Aceites y Grasas

**UNIMINUTO:**

Leonidas López Herrón, Rector General  
Marelen Castillo Torres, Directora General Instituto de Educación Virtual y a Distancia (IEVD)  
Luis Eduardo Sánchez A., Director de Ciencias Agropecuarias del (IEVD)

**UNAD:**

Jaime Alberto Leal Afanador, Rector  
María Praciela Rey Vásquez, Decana de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
Zaida Liliana Rangel Rodríguez, Coordinadora Nacional de la Alianza UNAD-Fedepalma

**Universidad de Nariño:**

Edmundo Calvache López, Rector  
Germán Arteaga Meneses, Vicerrector Administrativo  
Carlos Arturo Betancourt García, profesor de la Facultad de Agronomía

**Asesores del Convenio:** David Cuéllar Gálvez, Pedro Nel Franco Bautista y Edna Liliana Peralta Baquero

**Coordinador Operativo Académico del Convenio de Asociación:** Jaime Castillo Gallo

**Asistente Administrativa del Convenio de Asociación:** Vilma Quintana González

**Revisión técnica:** Comisión del Comité Técnico Operativo

**Asesoría pedagógica:** María del Pilar Hernández Moreno

**Corrección de estilo:** Marcela Giraldo Sampedro

**Diseño de portada:** Carolina Posso Peláez, Progressive Studio

**Diagramación:** ACE - Alianza en Comunicación Empresarial Ltda.

**Fotografías:** Autor. (a menos que tengan otro nombre o referencia)

**Coordinación editorial:** Patricia Bozzi Ángel

**Aplicación de metodologías y técnicas de experimentación**

ISBN 978-958-8616-34-6

UNIMINUTO - Corporación Universitaria  
Minuto de Dios

Línea nacional gratuita: 01 8000 936670

Líneas de atención en Bogotá: 593 3004 y 291 6520,  
extensión 6864

Celular: 320 3131732

<http://virtual.uniminuto.edu>

Correo electrónico: [admisionesiev@uniminuto.edu](mailto:admisionesiev@uniminuto.edu)

UNAD - Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Línea nacional gratuita: 01 8000 115223

Calle 14 Sur No. 14-23, Bogotá D. C.

Teléfono de atención en Bogotá: 344 3770,

extensiones 334, 335, 367 y 371

Celular: 312 3051011

[www.unad.edu.co](http://www.unad.edu.co)

Correo electrónico: [agricolas@unad.edu.co](mailto:agricolas@unad.edu.co)

Universidad de Nariño Virtual

Teléfono en Pasto: (2) 722 6774

Celular: 315 8701196

[www.udenar.edu.co/virtual](http://www.udenar.edu.co/virtual)

Correo electrónico: [uvirtual@udenar.edu.co](mailto:uvirtual@udenar.edu.co)

Impresor: Javegraf

Bogotá, D. C., noviembre de 2011

Primera edición

© Reservados todos los derechos al Convenio de Asociación entre Fedepalma, UNIMINUTO, UNAD, Universidad de Nariño, Fundewilches, Cordeagropaz, SENA-Regional Santander, y otros, para el fortalecimiento de la Cadena de Aceite de Palma en las principales zonas palmeras del país. Por tanto, los aliados firmantes del Convenio de Asociación pueden dar a este material la utilización que deseen para fines educativos, citando la fuente correspondiente.

## ➤ TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
INTRODUCCIÓN .....	9
CAPÍTULO 1: CAPÍTULO 1: CONCEPTOS GENERALES DE INVESTIGACIÓN EN CAMPO .....	11
¿Por qué experimentar? .....	11
¿Qué es un experimento? .....	11
Hipótesis en experimentación .....	12
¿Qué son las hipótesis? .....	12
CAPÍTULO 2: ESTADÍSTICA EXPERIMENTAL .....	15
Conceptos básicos .....	15
Tratamiento .....	15
Unidad experimental .....	15
Repetición .....	15
Error experimental .....	15
Aleatorización .....	16
Análisis de varianza .....	16
Hipótesis a probar .....	16
Estructura del análisis estadístico .....	17
Proceso de investigación .....	17
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE EXPERIMENTOS .....	19
Requisitos base para diseñar .....	19
Material experimental .....	19
Control local .....	19
Factores de estudio .....	20
Diseños experimentales básicos .....	20
Diseño completamente al azar .....	20
Diseño de bloques completos al azar .....	22
Experimentos con estructura factorial .....	25

Pruebas de comparación múltiple .....	27
Diferencia mínima significativa (DMS) .....	27
Prueba de Duncan .....	29
Prueba de Tukey .....	31
Prueba de Dunnet .....	32
<b>CAPÍTULO 4: SOFTWARE PARA ANÁLISIS DE VARIANZA .....</b>	<b>35</b>
Herramientas de excel para análisis de la varianza .....	35
Análisis de varianza para un solo factor .....	35
Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo .....	39
Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo .....	41
GLOSARIO .....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46

## ► **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1.	Unidad experimental (elaboración propia) .....	15
Figura 2	Fuentes de variabilidad (elaboración propia) .....	16
Figura 3	Asignación de tratamientos a las unidades experimentales en un diseño completamente al azar (elaboración propia) .....	21
Figura 4	Bloqueo adecuado de un gradiente (elaboración propia) .....	23
Figura 5	Asignación de tratamientos en un diseño de bloques completos al azar (elaboración propia) .....	23
Figura 6.	Efecto de interacción de dos factores a dos niveles (elaboración propia) .....	26
Figura 7.	Paso 1 - Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar .....	36
Figura 8.	Paso 2 - Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar .....	37
Figura 9.	Paso 3 - Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar .....	37
Figura 10.	Paso 4 - Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar .....	38
Figura 11.	Paso 5 - Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar .....	38
Figura 12.	Paso 1 - Tabla de análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar .....	39
Figura 13.	Paso 2 - Tabla de análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar .....	40
Figura 14.	Paso 3 - Tabla de análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar .....	40
Figura 15.	Paso 1 - Tabla de análisis de varianza para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial .....	42
Figura 16.	Paso 2 - Tabla de análisis de varianza para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial .....	42
Figura 17.	Paso 3 - Tabla de análisis de varianza para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial .....	43

**> ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.	Estructura de la tabla de análisis de varianza de un diseño de bloques completos al azar .....	17
Tabla 2.	Valores críticos de la distribución F .....	23
Tabla 3.	Tabla de distribución t de Student .....	28
Tabla 4.	Tabla de Dunccan al 5% de probabilidad .....	30
Tabla 5.	Tabla de Tukey al 5% de probabilidad .....	32
Tabla 6.	Tabla de Dunnet al 5% de probabilidad .....	33

**E**ste texto se refiere a un conjunto de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas estadísticas para la experimentación en campo, invernadero o laboratorio en la empresa palmera. Con un enfoque de planificación y gestión de las actividades y recursos necesarios para hacer investigación científica, se presentan los temas a partir de una conceptualización de qué es y para qué se hace experimentación, luego se encuentra la conceptualización de la estadística experimental y se hace énfasis en los diseños experimentales básicos: "completamente al azar" y "bloques completos al azar"; se desarrollan las técnicas más comunes para hacer pruebas de comparación de medias como la Duncan, Tukey y Dunnett, y se finaliza con un paso para realizar los análisis de varianza con las herramienta de análisis de datos que tiene la hoja electrónica excel.

## *Anotaciones*

# Conceptos generales de investigación en campo

i

*Este capítulo se refiere a los conceptos generales de investigación en campo y responde a los interrogantes ¿por qué se debe experimentar? y ¿qué es un experimento? Luego plantea las diferentes hipótesis y sus condiciones y estructura. Se entiende por hipótesis lo que se está buscando o tratando de probar, así como se definen como explicaciones tentativas del fenómeno a investigar, formuladas a manera de proposiciones. Son juicios que se estructuran acerca de la realidad a investigar.*

## ► ¿Por qué experimentar?

La experimentación es un método común de las ciencias y las tecnologías, consiste en el estudio de un fenómeno, donde el objetivo de estudio y su tratamiento dependen por completo del investigador y de las decisiones que tome para manejar su experimento. Se busca que el estudio se realice bajo unas condiciones controladas, como son eliminar o introducir aquellas variables que puedan influir en los resultados para que las respuestas que arroje el experimento correspondan únicamente a las condiciones propias del fenómeno u objeto estudiado.

El experimento es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

La experimentación como parte del método científico, conduce a la verificación de la o las hipótesis que surgen como probables respuesta o solución a un problema específico.

## ► ¿Qué es un experimento?

Se define como aquella clase de experiencia científica en la cual se provoca en forma deliberada algún cambio y se observan o interpretan sus resultados, con una finalidad cognoscitiva (Babbie, 1979).

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (1997)

el experimento científico es aquel en que se involucra la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles efectos, o sea, es un estudio de investigación en que se manipula deliberadamente una o más variables independientes (supuesta causa), para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables dependientes (que es el supuesto efecto) dentro de una situación de control para el investigador.

En las ciencias más desarrolladas, los experimentos se diseñan en forma de predicciones. A partir de una hipótesis, que no es otra cosa que el esquema teórico imaginado por el investigador para explicar un fenómeno o grupo de fenómenos de la naturaleza, se propone que en ciertas circunstancias rigurosamente definidas podrán hacerse una o más observaciones.

Por ejemplo, un investigador de palma de aceite se ha dado cuenta por observación que parcelas con buenas prácticas en el manejo de la fertilización y el riego, las palmas presentan una menor susceptibilidad a enfermedades como la Pudrición del Cogollo (PC), Anillo Rojo, o de Marchitez Letal (ML) entre otras. A partir de esta observación el investigador empieza a plantearse hipótesis como que la Pudrición del Cogollo (PC) en las palmas se debe a una mala nutrición. Como se describe anteriormente, tal hipótesis ha surgido de diversas fuentes y estudios previos de epidemiología, y de los conocimientos de las enfermedades en las palmas de aceite, etc. así como de la imaginación del investigador. A partir de esta hipótesis se hace la predicción de que PC ataca con mayor agresividad a las palmas en terrenos donde la fertilidad es baja, por tanto palmas con buena fertilización son más resistentes.

### ➤ Hipótesis en experimentación

Las hipótesis están íntimamente ligadas al problema, en el sentido que este se formula básicamente en términos de preguntas, y las hipótesis constituyen sus respuestas probables que están sujetas a comprobación mediante la ejecución de la experimentación.

### ¿Qué son las hipótesis?

Las hipótesis indican lo que se está buscando o tratando de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno a investigar, formuladas a manera de proposiciones. Son juicios que se estructuran acerca de la realidad a investigar.

Las hipótesis no necesariamente son verdaderas, pueden serlo o no, pueden comprobarse o no con hechos.

En la investigación científica, las hipótesis son proposiciones tentativas acerca de las relaciones entre dos o más variables y se apoyan en conocimientos organizados.

### Condiciones que debe cumplir una hipótesis.

- Deben referirse a una situación real, es decir, que puedan someterse a verificación en un universo y contexto bien definidos.
- Los términos de las hipótesis tienen que ser comprensibles, precisos y lo más concretos posibles. Términos vagos o confusos no tienen lugar en una hipótesis.
- Los términos de las hipótesis y la relación planteada entre ellos, podrán ser observados y medidos, es decir, tener referencia en la realidad. No deben incluir aspectos morales ni cuestiones que no se puedan medir en la realidad.
- Las hipótesis deben ofrecer una respuesta probable al problema objeto de la investigación.

### Estructura de las hipótesis.

*Hipótesis nula:* las hipótesis nulas son, en un sentido, el reverso de las hipótesis de investigación. También constituyen proposiciones acerca de la relación entre variables que sirven para refutar o negar lo que afirma la de investigación. Por ejemplo, si la hipótesis de investigación propone: "La fertilización química que se aplique a las palmas de aceite hace que las plantas sean más resistentes a la pudrición del cogollo"; en tanto la nula postularía: "La fertilización química que se aplique a las plantas de palma de aceite no hace que tengan mayor resistencia a la PC".

Las hipótesis nula se simbolizan como  $H_0$ , y se escribiría  $H_0$ : como una proposición de no diferencia entre los parámetros involucrados, y siempre tiene asociada una proposición o hipótesis alterna ( $H_a$ ).

*Hipótesis alternativa:* Como su nombre lo indica, son posibilidades "alternativas" ante la hipótesis de investigación y nula. Ofrecen otra descripción o explicación distintas a las que proporcionan estos tipos de hipótesis. Continuando con el ejemplo anterior, la hipótesis alternativa postula "la

fertilización orgánica y biológica que tengan las plantas de palma de aceite hace que tengan mayor resistencia a la PC".

Cada una constituye una descripción distinta a las que proporcionan las hipótesis de investigación y nula.

Las hipótesis alternativas se simbolizan como  $H_a$  y solo pueden formularse cuando efectivamente hay otras posibilidades adicionales a las hipótesis de investigación y nula.



## i

Se plantean los conceptos básicos de la estadística experimental como son tratamiento, unidad experimental, repetición, error experimental, aleatorización y análisis de varianza, entre otros.

La investigación agrícola busca dar respuesta a preguntas relacionadas con la producción cuya solución puede guiar a cambios significativos y mejorar las prácticas existentes. Esta investigación científica debe ser diseñada precisa y rigurosamente para responder a dichas preguntas, las cuales se expresan generalmente como proposiciones de hipótesis y se sugieren usualmente por experiencias pasadas, observaciones y a veces por consideraciones teóricas. Una vez formuladas, la siguiente etapa selecciona un procedimiento para su verificación; esto implica una metodología que involucra: lugar, período y condiciones en que se lleva a cabo el experimento.

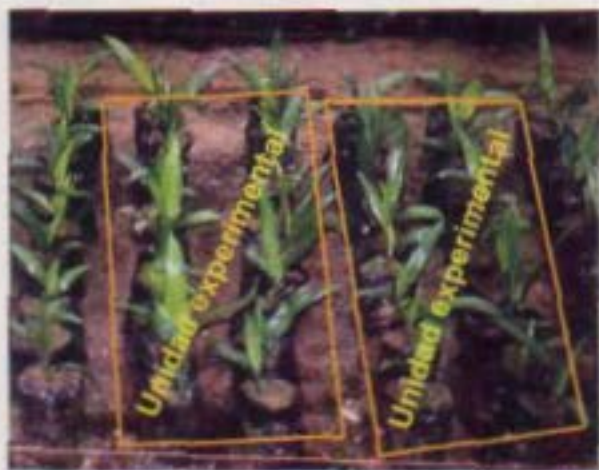


Figura 1. Unidad experimental (elaboración propia).

## ► Conceptos básicos

### Tratamiento

Se refiere a los diferentes procedimientos o estímulos cuyos efectos van a ser medidos y comparados. Ejemplo: variedades de un cultivo, dosis de un tipo de fertilización.

### Unidad experimental

Es la unidad física a la cual se le aplica un tratamiento. Ejemplo: una parcela, cinco plántulas en un vivero, una palma (Figura 1).

### Repetición

Se refiere al número de unidades experimentales a las cuales se les aplica el mismo tratamiento. Si por ejemplo el tratamiento A es aplicado a cuatro unidades experimentales, se dice que dicho tratamiento tiene cuatro repeticiones.

### Error experimental

La diferencia de la respuesta entre unidades experimentales tratadas igualmente, se define como error experimental. Este error es la base para decidir si una diferencia observada es real o es debida al azar.

## Aleatorización

Con el propósito de estimar en forma insesgada el efecto de los tratamientos, sobre una o más variables de respuesta, estos deben ser asignados a las unidades experimentales, de manera que un tratamiento en particular no sea favorecido o castigado; esto se puede lograr asignando al azar los tratamientos a las unidades experimentales. La aleatorización asegura que cada tratamiento tendrá la misma probabilidad de ser asignado a cualquier unidad experimental.

## Análisis de varianza

Es una técnica estadística, introducida por Ronald Fisher<sup>1</sup>, que consiste en particionar la variabilidad de una característica bajo estudio, en la variabilidad asociada a cada una de las fuentes de variación (bloques y tratamientos), que se desean estimar y comparar (Figura 2).

## Hipótesis a probar

En experimentos con un solo factor, el interés es probar el efecto que tiene cada uno de los niveles de éste, frente a una variable de interés.

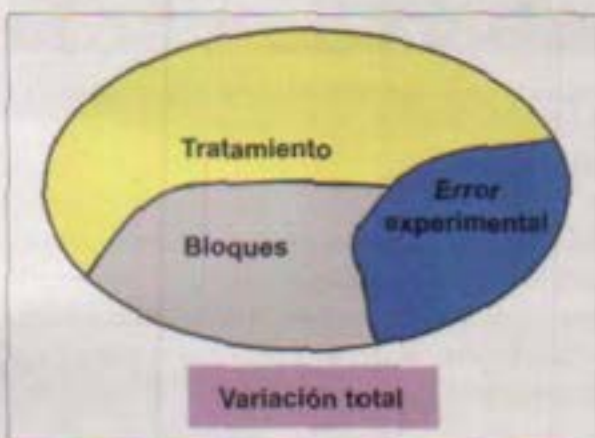


Figura 2. Fuentes de variabilidad (elaboración propia).

<sup>1</sup> Ronald Aylmer Fisher (nació el 17 de febrero de 1890 y murió el 29 de julio de 1962) científico, matemático, estadístico, biólogo evolutivo y genetista inglés. Fisher realizó muchos avances en la estadística, siendo una de sus más importantes contribuciones, la inferencia estadística creada por él en 1920.

La hipótesis que se plantea es la siguiente:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j \text{ par algún } i \neq j$$

Donde  $\mu$ , es el promedio de cada uno de los niveles del factor.

Por ejemplo:

Cuando se requiere saber si el promedio de frutos producidos por planta en un año, en palmas de la misma edad, de la especie *Elaeis guineensis* y el híbrido alto oleico OxG; se tiene:

$$\bar{X}_1: \text{promedio de } Elaeis \text{ guineensis}$$

$$\bar{X}_2: \text{promedio de oleífera } \times \text{ guineensis}$$

$$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

$$H_a: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

En experimentos de dos o más factores, se tienen varias hipótesis a probar. Suponga que se tienen dos factores; a (materiales) y b (aplicación de un fertilizante); aquí es de interés probar las siguientes hipótesis:

1. Igualdad de efecto de materiales frente a una variable respuesta.

$$H_0: M_1 = M_2 = \dots = M_p$$

$$H_a: M_i \neq M_j \text{ par algún } i \neq j$$

2. Igualdad de efecto de las dosis de fertilizante frente a la variable de respuesta.

$$H_0: F_1 = F_2 = \dots = F_q$$

$$H_a: F_i \neq F_j \text{ par algún } i \neq j$$

3. No hay efecto de interacción entre materiales y fertilizantes.

$$H_0: M_1 F_1 = M_1 F_2 = \dots = M_p F_q$$

$$H_a: \text{hay un efecto de la interacción}$$

Estas hipótesis son propuestas con base en los objetivos de cada experimento; para probar cada

una de ellas, se realiza un el análisis de varianza de la variable de interés.

## Estructura del análisis estadístico

El análisis estadístico corresponde a la descomposición de las diferentes fuentes de variación plasmadas en la Tabla 1 de análisis de varianza o Anova con la siguiente estructura:

**Tabla 1.** Estructura de la tabla de análisis de varianza de un diseño de bloques completos al azar

Fuentes de variación	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Probabilidad del valor de F
Tratamientos					
Bloques					
Error					
Total					

Descomposición de la varianza para un diseño de bloques al azar

## Proceso de investigación

A continuación se describen los pasos involucrados en una investigación científica.

- **Planteamiento del problema** y definición precisa de los objetivos que se persiguen, así como la población de interés.
- **Formulación de hipótesis:** un buen entendimiento del problema y de los objetivos permiten al investigador establecer las hipótesis y planear el procedimiento experimental más adecuado.
- **Selección de las características o variables a medir,** así como de las unidades de medida.
- **Selección de tratamientos:** en la selección de tratamientos es importante definir el papel que cada uno juega para el logro de objetivos. Las siguientes situaciones pueden presentarse: (a) la especificación de los tratamientos conduce a preguntas acerca de las condiciones bajo las cuales los tratamientos van a ser

comparados. Ejemplo: el objetivo es investigar el efecto de una aplicación del sulfato de amonio en el rendimiento de un cultivo; se sabe que el efecto depende de las cantidades de otros nutrientes disponibles en el cultivo. Aquí la decisión es la de experimentar uno o varios factores. (b) En algunas ocasiones se hace necesario un control o testigo, el cual permite observar la efectividad de un fertilizante, se hace necesaria una dosis control (no aplicación), la cual se tomará como referencia o punto de comparación.

- **Selección de las unidades experimentales,** número de repeticiones y diseño experimental.
- **Selección de instrumentos de medida:** el experimentador debe seleccionar instrumentos de medida que sean precisos y debe asegurarse que el procedimiento experimental esté libre de sesgos. También es importante aclarar si el valor obtenido en una observación es correcto o no, en el sentido de si contribuye o no al efecto del tratamiento. Ejemplo: plantas enfermas, unidades destruidas, etc.; no contribuyen a la verdadera diferencia de tratamientos, por lo tanto estas observaciones deben ser descartadas.
- **Análisis de los datos e interpretación de resultados:** los resultados deben ser interpretados a la luz de la evidencia estadística y las consideraciones teóricas del material bajo estudio. Los procedimientos estadísticos son de gran utilidad para realizar las pruebas de hipótesis y estimar los efectos que van a ser comparados.
- **Preparación de un escrito:** los resultados de un experimento deben ser completa y cuidadosamente reportados en un escrito. Aquí es importante aclarar que el hecho de no rechazar una hipótesis de igualdad de efectos, también es resultado de una investigación sin llegar a ser negativo desde que el proceso de experimentación haya sido correcto.

# Anotaciones

# Diseño de experimentos

## i

*En este apartado se desarrollan los pasos básicos que se deben tener en cuenta para el diseño de experimentos, a partir de los requisitos básicos para diseñar, de los diseños experimentales básicos que se deben tener en cuenta y de las pruebas de comparación múltiple.*

Diseñar un experimento significa planearlo de modo que reúna la información pertinente al problema bajo investigación, es la secuencia completa de pasos tomados de antemano para asegurar que los datos apropiados se obtendrán de modo que permitan un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas con respecto al problema establecido.

La necesidad de un diseño de experimento surge de responder a preguntas como:

- ¿Cómo se va a medir el efecto? o ¿cuáles son las características a analizar?
- ¿Qué factores afectan las características que se van a analizar?
- ¿Cuáles son los factores que se estudiarán en esta investigación?
- ¿Cuántas veces deberá ejecutarse el experimento?
- ¿Cuál será la forma de análisis?
- ¿A partir de qué valores se considera importante el efecto?

El objetivo de un diseño de experimentos es proporcionar la máxima cantidad de información

pertinente al problema bajo investigación y debe ser tan simple como sea posible.

### ➤ Requisitos base para diseñar

#### Material experimental

El material experimental conforma las unidades experimentales. La exploración e indagación de la especificidad del material experimental requerido según los objetivos de la investigación, define el diseño experimental adecuado a establecer en campo.

#### Control local

Como control local se conocen los diferentes factores y acciones a tener en cuenta para reducir el error experimental:

- Definir la métrica de medición y la calibración de los instrumentos de medida contribuye a la precisión de los datos
- Seleccionar unidades experimentales homogéneas

- Aplicar uniformemente los tratamientos a las unidades experimentales
- Agrupar las unidades experimentales en conjuntos homogéneos con base en un factor conocido o gradiente
- Uniformizar el manejo y la conducción de las unidades experimentales
- Definir tamaño y forma de las unidades experimentales
- Precisar número de repeticiones, en la medida de las posibilidades tener un mayor número de repeticiones ayuda a controlar el error experimental
- Utilizar el diseño experimental adecuado.

### Factores de estudio

Es la condición que se impone a las unidades experimentales y cuyo efecto sobre una respuesta dada se desea evaluar o comparar. Es la variable que el investigador modifica a voluntad.

Las diferentes categorías del factor, se conocen como niveles y reciben el nombre de tratamientos. Por ejemplo:

Factor o variable	Niveles o tratamientos
Especie	<i>Elaeis guineensis</i>
	<i>Elaeis oleifera</i>
Fertilizante	100 k/ha
	200 k/ha
	300 k/ha
Temperatura	28 °C
	30 °C
	32 °C
	34 °C

### > Diseños experimentales básicos

#### Diseño completamente al azar

**Características.** El diseño completamente al azar es aquel donde cada unidad experimental tiene la misma probabilidad de recibir cualquiera de los tratamientos; es decir, no existe ninguna restricción en la asignación de los tratamientos al

material experimental. Este diseño es útil cuando las unidades experimentales son esencialmente homogéneas, esto es la variación entre ellas es relativamente pequeña. Este es el caso en la mayoría de experimentos en laboratorios, ensayos en donde los efectos ambientales son fácilmente controlados.

#### Asignación de los tratamientos a las unidades experimentales.

Para la asignación de los tratamientos al material experimental, este se reparte en un número de unidades experimentales, digamos  $n$ , el cual debe corresponder al número de tratamientos a probar por el número de repeticiones que se determine. Se selecciona al azar uno de los  $t$  tratamientos y se aplica a una unidad, este proceso se continúa hasta que todos los tratamientos y sus repeticiones han sido aplicados a las  $n$  unidades experimentales. Este proceso se describe en la Figura 3.

**Modelo estadístico.** Para el diseño completamente al azar el modelo se expresa como:

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

$$j = 1, 2, \dots, t$$

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

Donde:

$Y_{ij}$  : Es la observación de la  $i$ -ésima repetición en el  $j$ -ésimo tratamiento.

$\mu$  : Es la media poblacional (constante)

$T_j$  : Efecto del  $j$ -ésimo tratamiento

$e_{ij}$  : Es el error asociado a las  $i$ -ésima repetición del  $j$ -ésimo tratamiento.

Se asume los  $e_{ij}$  se distribuyen normal e independientemente con media cero (0) y varianza constante  $\sigma^2$  para todos los tratamientos. Esto se expresa generalmente como  $e_{ij} \sim NI(0, \sigma)$ .

**Análisis estadístico.** El análisis estadístico para este diseño es el descrito comúnmente como análisis "entre grupos" y "dentro de grupos" Donde hay  $t$  tratamientos, cada uno repetidor  $r$  veces.

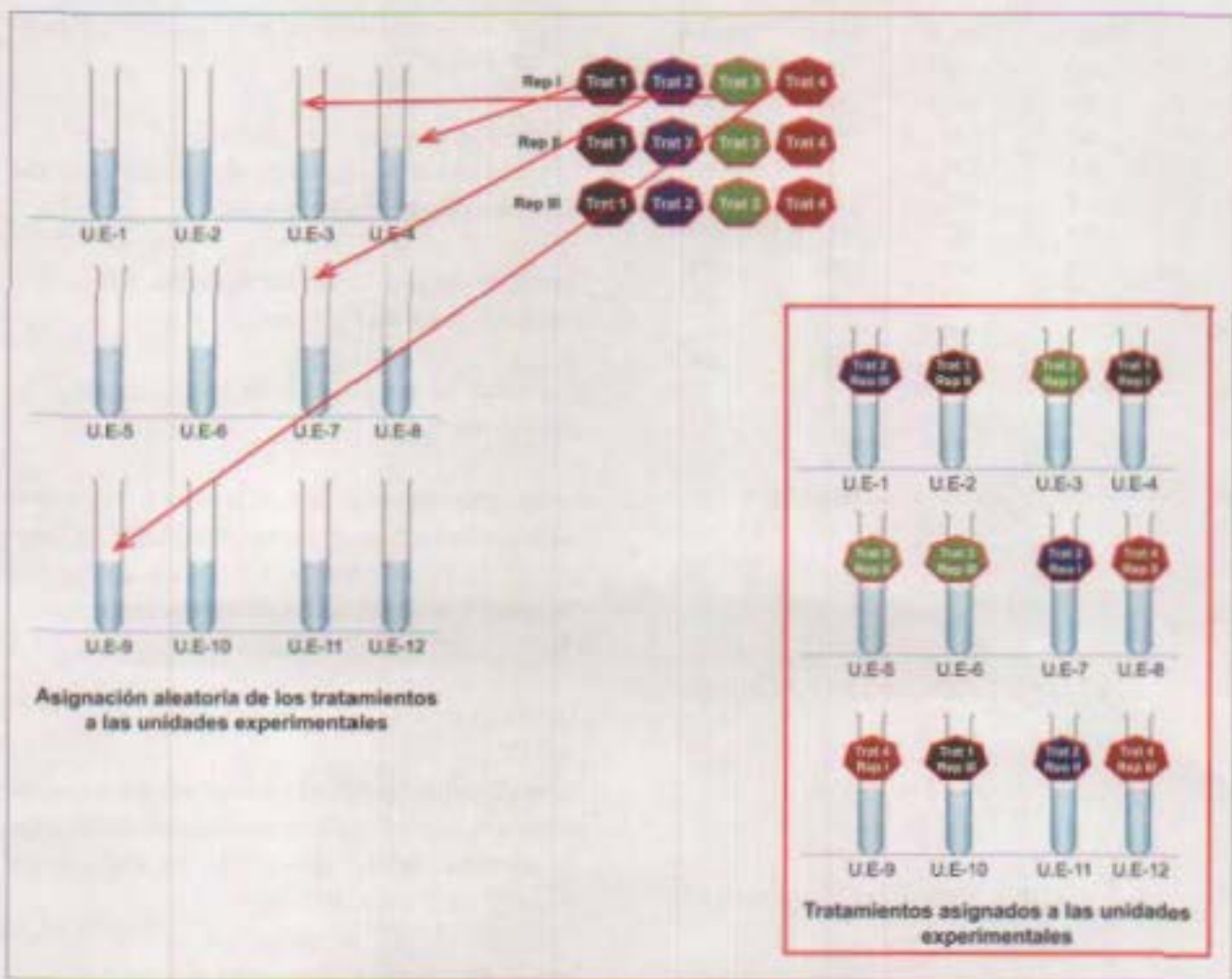


Figura 3. Asignación de tratamientos a las unidades experimentales en un diseño completamente al azar (elaboración propia).

Análisis de varianza es:

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados
Entre tratamientos	t-1	$\frac{1}{r} \sum_j Y_j^2 - \frac{Y..^2}{rt}$
Error	t(r-1)	Diferencia
Total	rt-1	$\sum_j \sum_i Y_{ij}^2 - \frac{Y..^2}{rt}$

$$F_c = \frac{CM \text{ trat}}{CM \text{ error}}$$

A partir de este valor se hace una relación de la variabilidad entre los tratamientos con respecto al error experimental.

**Ejemplo de un diseño completamente al azar.**

Se determinó el peso en gramos de 100 frutos provenientes de palmas fertilizadas con diferentes dosis de nitrógeno en kilos/palma/año tratamiento 1 = 1.0; tratamiento 2 = 1.5; tratamiento 3 = 2.0; tratamiento 4 = 2.5.

Los resultados fueron:

	TRAT. 1	TRAT. 2	TRAT. 3	TRAT. 4
	380	350	354	348
	376	356	360	348
	360	358	362	376
	368	376	352	344
	372	338	366	342
	366	342	372	372
	374	366	362	374
	382	350	344	360
$Y_{.j}$	2.978	2.836	2.872	2.864
$\bar{Y}_{.j}$	372,25	354,5	359	358
$Y_{..}$	11.550			

$$FC = \frac{Y_{..}^2}{rt} = \frac{11550^2}{8(4)} = 4168828,125$$

$$SC_{\text{Total}} = \sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - FC$$

$$= 4173708 - 4168828,125 = 4879,875$$

$$SC_{\text{Trat}} = \frac{1}{r} \sum_j Y_{.j}^2 - FC$$

$$= \frac{1}{8} (2978^2 + 2836^2 + 2872^2 + 2864^2) - FC$$

$$= 1454,375$$

$$SC_{\text{Error}} = SC_{\text{Total}} - SC_{\text{Trat}}$$

$$= 4879,875 - 1454,375 = 3425,5$$

La tabla del análisis de varianza es:

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M	Fc
Tratamiento	3	1.454.375	484.792	3.96
Error	28	3.425.500	122.339	
Total	31	4.879.875		

La hipótesis a probar es:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4$$

(No existen diferencias en el efecto que gene-

ran las cuatro dosis de fertilización en el peso del fruto)

$H_a$ : Al menos un  $T_j$  es diferente

(Una de las dosis genera efecto en el peso del fruto, diferente a las demás)

El criterio de decisión es rechazar  $H_0$  si  $F_c$  es mayor que el valor de  $F$  de tablas.

Este valor de  $F$  de tablas se encuentra de la siguiente manera:

En las tablas de valor de  $F$ , se busca en las filas y la columna (teniendo en cuenta los grados de libertad del factor de estudio, los grados de libertad del error y el nivel de significancia especificado Fig.)  $g_{\text{factor}}; g_{\text{error}}; \alpha$ . (Ver Tabla 2).

$$\text{Así: } F(3,28,0.05) = 2.95$$

Como  $F_c > F(3,28,0.05)$  se rechaza  $H_0$ . Entonces, se evidencia que las dosis de fertilización nitrogenada generan efectos diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ), en el peso del fruto.

### Diseño de Bloques completos al azar

**Características.** En muchas situaciones se conoce de antemano que ciertas unidades experimentales presentan respuesta diferente, aún tratadas igualmente. Situación que presenta porque existe un gradiente conocido que ocasiona la variabilidad del material experimental. En estas situaciones las unidades experimentales deben ser agrupadas en bloques de forma que la variación dentro de cada bloque sea menor que la variación entre bloques. La variación entre bloques puede ser estimada y así excluirla del error experimental. Lo anterior se logra cuando los bloques se establecen perpendicularmente al gradiente de variabilidad conocido.

**Asignación de los tratamientos a las unidades experimentales.** En este diseño, la asignación de

Tabla 2. Valores críticos de la distribución F

**Upper critical values of the F distribution**  
for numerator degrees of freedom and denominator degrees of freedom

**5% significance level**

$F_{\alpha}(n_1, n_2)$

$n_2$	Grados de libertad del factor									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161.448	199.500	215.707	224.583	230.162	233.986	236.768	238.862	240.543	241.882
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385	19.396
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964
5	6.608	5.766	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.687	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602
15	4.543	3.682	3.287	3.055	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177
30	4.171	3.317	2.922	2.689	2.533	2.420	2.334	2.266	2.211	2.165

Fuente: adaptada por el autor. De la tabla de engineering statistics handbook <http://www.itl.nist.gov/div998/handbook/eda/section3/eda3673.htm>

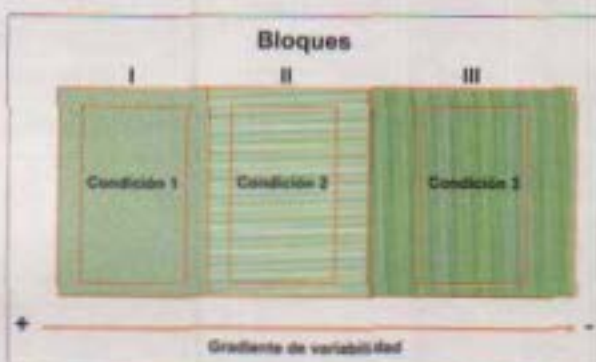


Figura 4. Bloqueo adecuado de un gradiente (elaboración propia).

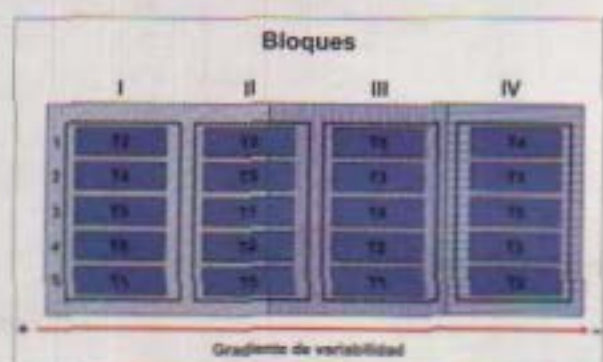


Figura 5. Asignación de tratamientos en un diseño de bloques completos al azar (elaboración propia).

los tratamientos a las unidades experimentales se hace para cada uno de los bloques en forma independiente.

**Modelo estadístico.** Para el diseño de bloques completos al azar el modelo es:

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

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

$$j = 1, 2, \dots, t$$

donde:

$Y_{ij}$ : es la variable aleatoria observada en el  $i$ -ésimo bloque correspondiente al  $j$ -ésimo tratamiento.

$\mu$ : es la media poblacional (constante)

$\beta_i$ : es el efecto del  $i$ -ésimo bloque

$T_j$ : es el efecto del  $j$ -ésimo tratamiento

$e_{ij}$ : es el error asociado a la observación del  $j$ -ésimo tratamiento en el  $i$ -ésimo bloque.

Se asume que los  $e_{ij}$  se distribuyen normal e independientemente con medio 0 y varianza constante  $\sigma^2$ .

*Ejemplo de un diseño bloques completos al azar*

Tratamiento	Repetición				$Y_j$	$\bar{y}_j$
	1	2	3	4		
D1	5,113	5,398	5,307	4,678	20,496	5,124
D2	5,346	5,952	4,719	4,264	20,281	5,07
D3	5,272	5,713	5,483	4,749	21,217	5,304
D4	5,164	4,831	4,986	4,41	19,391	4,848
D5	4,804	4,849	4,432	4,748	18,832	4,708
D6	5,254	4,542	4,919	4,098	18,813	4,703
Yi.	30,953	31,284	29,846	26,947	119,03	

Tabla de análisis de varianza

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F <sub>c</sub>	F	
					5%	1%
Bloques	3	1,944	0,6481	5,86	3,29	5,42
Tratam.	5	1,1983	0,2397	2,17	2,9	4,56
Error	15	1,6584	0,1106			
Total	23	4,8011				

**Análisis estadístico.** La tabla de análisis de varianza es la siguiente:

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.
Bloques	b-1	$\frac{1}{t} \sum_i Y_i^2 - \frac{Y^2}{bt}$	S.C./b-1
Tratamientos	t-1	$\frac{1}{b} \sum_j Y_j^2 - \frac{Y^2}{bt}$	S.C./t-1
Error	(b-1)(t-1)	Diferencia	S.C./b-1)(t-1)
Total	bt-1	$\sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{bt}$	

**Ejemplo de un diseño bloques completos al azar.** Los datos que se presentan corresponden a toneladas de aceite por hectárea por año para seis densidades de siembra, utilizando un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. (Ver ejemplo en la tabla de abajo).

$$FC = \frac{Y^2}{bt} = 119.030^2 / 4(6) = 590.3392$$

$$SC_{\text{Total}} = \sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - FC = 4.8011$$

$$SC_{\text{Bloques}} = \frac{1}{t} \sum_i Y_i^2 - FC = 1.9444$$

$$SC_{\text{Tratamientos}} = \frac{1}{b} \sum_j Y_j^2 - FC = 1.1983$$

$$SC_{\text{Error}} = SC_{\text{Total}} - SC_{\text{Bloques}} - SC_{\text{Tratamientos}} = 1.6584$$

La hipótesis a probar es:

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_6$$

(Las diferentes densidades de siembra generan igual promedio de rendimiento)

$H_a$ : Al menos una  $t_j$  es diferente

(Al menos una de las densidades genera rendimiento promedio diferente a los demás)

Como  $F_c$  de tratamientos es menor que el  $F$  tabulado, no se rechaza la hipótesis nula; es decir, los rendimientos promedios de las densidades no presentan diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

## Experimentos con estructura factorial

**Características.** En la investigación agrícola, las características bajo estudio se ven afectadas por diversos factores. Los resultados de experimentos con un solo factor son aplicables cuando los demás factores se mantienen constantes; pero si la respuesta del factor se espera que cambie cuando varían otros factores, entonces los experimentos factoriales deben ser utilizados con el fin de estudiar simultáneamente varios factores y las posibles interacciones entre ellos.

Algunos ejemplos de factores que se pueden estudiar simultáneamente son:

- Distancias de siembra y densidad de siembra
- Materiales de palma y aplicación de controladores biológicos
- Aplicación de dos o más fertilizantes en diferentes cantidades.

Las diferentes formas en las que cada factor puede representarse se conocen con el nombre de nivel. Un ejemplo de los niveles para cada uno de los factores antes mencionados es:

- Distancias de siembra: 9x9, 10x10, en tres bolillos
- Densidad de siembra: 143, 180 y 210 plantas/hectárea
- Cultivares: Dura y Pisifera
- Aplicación de nitrógeno: 0, 30, 60 y 90 kg por hectárea

- Aplicación de fósforo: 30,60 y 90 kg por hectárea
- Aplicación de potasio: 10, 20 y 30kg por hectárea.

Un grupo de tratamientos que contienen dos o más niveles de dos o más factores en todas sus combinaciones es conocido como arreglo factorial.

Ejemplo: para el caso de variedades y distancias de siembra se tiene:

Tratamiento	Variedad	Distancia
1	Dura	9 x 9
2	Dura	10 x 10
3	Ténera	9 x 9
4	Ténera	10 x 10

Así, el número de tratamientos es igual al producto de los niveles de los diferentes factores.

Antes de proceder al diseño y análisis de experimentos factoriales algunas características se resaltan:

- a. El experimento factorial no debe considerarse como un diseño experimental, sino como un diseño de tratamientos; de esta forma, un arreglo factorial se puede utilizar en cualquiera de los diseños básicos: DCA y DBCA
- b. Los factores son simbolizados con letras minúsculas como  $a$ ,  $b$  y  $c$ ; los respectivos niveles con subíndices  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$ .
- c. En los experimentos factoriales se estiman efectos principales y efectos de interacción los cuales se denotan con letras mayúsculas así:  
Efectos principales:  $A$ ,  $B$  y  $C$   
Efectos de interacción:  $A*B$ ,  $A*C$ ,  $A*B*C$ .
- d. La Figura 6 representa el efecto de interacción de los factores  $a$  y  $b$

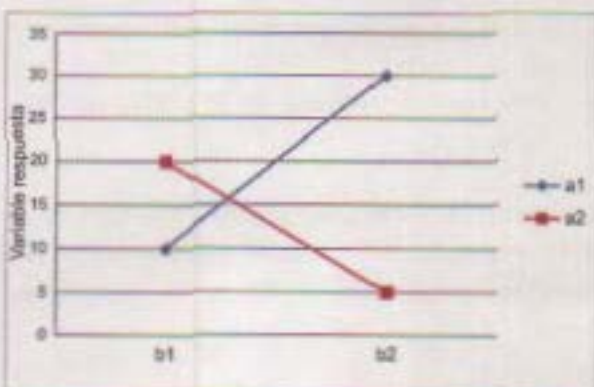


Figura 6. Efecto de interacción de dos factores a dos niveles (elaboración propia).

**Asignación de los tratamientos a las unidades experimentales.** La asignación de los tratamientos corresponde al procedimiento definido para el diseño experimental a utilizar. Se recuerda que los arreglos factoriales no son un diseño experimental, es una forma de estructurar tratamientos cuando se tiene la necesidad de investigar el efecto de dos o más factores en forma simultánea.

**Modelo estadístico.** El modelo estadístico y la aleatorización para experimentos factoriales, depende del diseño básico utilizado. Los diseños más usados para experimentos factoriales en investigación agrícola son los diseños completamente al azar y bloques completos al azar.

Diseño completamente al azar con arreglo factorial:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + B_k + AB_{jk} + e_{ijk}$$

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

$$j = 1, 2, \dots, p$$

$$k = 1, 2, \dots, q$$

Donde:

$Y_{ijk}$  : variable de respuesta observada en la  $i$ -ésima repetición del  $j$ -ésimo nivel del factor  $a$  y el  $k$ -ésimo nivel del factor  $b$ .

$\mu$  : es la media general (constante)

$A_j$  : efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor  $a$ .

$B_k$  : efecto del  $k$ -ésimo nivel del factor  $b$ .

$AB_{jk}$  : efecto de interacción de los factores  $a$  y  $b$ .

$e_{ijk}$  : es una variable aleatoria no observable que debe tener distribución normal con media cero y varianza constante.

En el modelo anterior se consideraron dos factores:  $a$  y  $b$ , pero es importantes aclarar que se puede experimentar un número mayor de estos; en este caso en la tabla de análisis de varianza se adiciona cada factor y las respectivas interacciones con los demás factores.

Diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + A_j + B_k + AB_{jk} + e_{ijk}$$

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

$$j = 1, 2, \dots, p$$

$$k = 1, 2, \dots, q$$

Donde:

$R_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo bloque

Los demás términos del modelo se definen como en el diseño completamente al azar con arreglo factorial.

La tabla de análisis de varianza con fuentes de variación y grados de libertad para el modelo anterior es:

Fuentes de variación	Grados de libertad
Bloques	$r-1$
A	$p-1$
B	$q-1$
A*B	$(p-1)(q-1)$
Error	$(pq-1)(r-1)$
Total	$pqr-1$

**Ejemplo de un arreglo factorial en un diseño completamente al azar.** Los datos corresponden a toneladas de aceite por hectárea por año provenientes de un experimento en el que los tratamientos corresponden a un arreglo factorial de dos variedades de palma de aceite con cuatro niveles de fertilización nitrogenada. El diseño

utilizado fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Variedad	N (kg/ha)	Repeticiones				Total
		1	2	3	4	
V1	0	4 250	4 321	4 373	4 327	
V1	90	4 503	4 493	4 534	4 537	
V1	180	4 595	4 836	4 739	4 974	
V1	270	5 089	5 297	5 007	4 667	
V2	0	4 254	4 373	4 349	4 367	
V2	90	4 506	4 613	4 588	4 625	
V2	180	4 692	4 754	4 548	4 713	
V2	270	5 033	4 757	5 034	4 831	
Total		36 922	37 444	37 172	37 041	148 579

Para realizar el análisis de varianza se recomienda construir la siguiente tabla que facilita los cálculos así:

	Yjk	Variedad		YK
		V1	V2	
Nitrógeno	0	17 271	17 343	34 614
	90	18 067	18 332	36 399
	180	19 144	18 707	37 851
	270	20 060	19 655	39 715
	Yj	74 542	74 037	148 579

La tabla de análisis de varianza para los datos anteriores es:

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F <sub>c</sub>	F	
					5%	1%
Bloques	3	0,0188	0,0062	0,35	3,07	4,87
Variedad	1	0,0079	0,0079	0,45	4,32	8,02
Fertilización	3	1,7582	0,5861	32,81	3,07	4,87
Variedad x fertilización	3	0,0458	0,0152	0,86	3,07	4,87
Error	21	0,3759	0,01786			
Total	31	2,2069				

Se observa que no existen diferencias estadísticas para los efectos simples (variedad y dosis de nitrógeno) pero para la interacción (variedad X dosis de nitrógeno) la diferencia es altamente significativa ( $P < .01$ ). Por tanto, se debe hacer el análisis gráfico de la respuesta para cada uno de los factores.

## ➤ Pruebas de comparación múltiple

En el análisis de varianza la estadística F se usó para probar diferencias entre tratamientos. Cuando la hipótesis nula (igualdad de efecto de los tratamientos) no se rechaza, no se requiere ningún tipo de comparación estadística de los tratamientos; pero si se rechaza, el investigador se enfrenta a la situación de decidir cuales tratamientos son diferentes y cuál o cuáles de ellos son los mejores. A continuación se presentan algunas pruebas que le permitirán al investigador contestar a esas preguntas; estas pruebas asumen normalidad en los datos que se van a analizar. Antes de realizar cualquiera de las pruebas, es importante considerar comparaciones lógicas y adecuadas a la naturaleza de los tratamientos bajo estudio.

La comparación por pares es la más simple y usada en investigación agrícola. Puede ser planeada, en la cual se identifica el par específico de tratamientos a comparar antes de iniciar el experimento, o puede ser no planeado, en la cual no se escoge una comparación específica sino que se compara todo posible par de medias de tratamiento para identificar aquellos pares que son significativamente diferentes. Las pruebas más comúnmente usadas son la diferencia mínima significativa (DMS), Duncan y Tukey.

### Diferencia mínima significativa (DMS)

La diferencia mínima significativa se define como:

$$DMS(\alpha) = t(\alpha/2; f) S_d$$

donde:

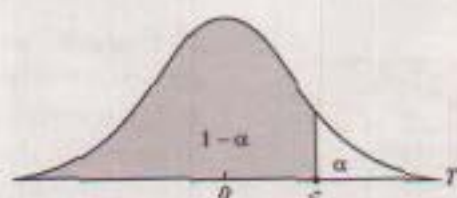
$$S_d^2 = \frac{2 \text{ CM Error}}{r} \text{ Para igual número de repeticiones por tratamiento}$$

ó

$$S_d^2 = \text{CM Error} \left[ \frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_j} \right] \text{ Para diferente número de repeticiones}$$

y t es el valor de las tablas de t de Student con f grados de libertad del error y un nivel dado de significancia  $\alpha$ .

Tabla 3. Tabla de la distribución t de Student



r	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Fuente: Adaptada por el autor. <http://costaricallinda.com/Estadística/t.student1.htm>

Todas las diferencias de pares de medias son comparadas con el valor DMS ( $\alpha$ ) y si la diferencia excede este valor, se concluirá que los dos promedios son significativamente diferentes. La prueba DMS es apropiada cuando las comparaciones son planeadas; cuando estas no son planeadas.

Ejemplo: La siguiente tabla muestra el análisis de varianza el peso en gramos de 100 frutos provenientes de palmas fertilizadas con diferentes fuentes de nitrógeno en kilos/palma/año tratamiento 1 = 1.0; tratamiento 2 = 1.5; tratamiento 3 = 2.0; tratamiento 4 = 2.5.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc
Tratam.	3	1454.38	487.79	3.96
Error	28	3425.5	122.34	
Total	31	4879.88		

La hipótesis a probar fue:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4$$

(No existen diferencias en el efecto que generan las cuatro dosis de fertilización en el peso del fruto)

$$H_a: \text{Al menos un } T_j \text{ es diferente}$$

(Una de las dosis genera efecto en el peso del fruto, diferente a las demás)

El criterio de decisión es rechazar la hipótesis nula si  $F_c > F(3,28,0.05)$ ; de la tabla se tiene que  $F(3,28,0.05) = 2.95$ , entonces se rechaza  $H_0$ .

Las cuatro dosis de nitrógeno y sus respectivos promedios de peso de 100 frutos son:

Dosis de Nitrógeno	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3	Dosis 4
Promedio (gramos de 100 frutos)	372.25	354.5	359.0	358.0

Suponga que el investigador planeó las siguientes comparaciones:

$$\text{Dosis (1.0) vs. dosis (1.5)}$$

$$\text{Dosis (2.0) vs. dosis (2.5)}$$

Utilizando prueba DMS, se tiene:

$$DMS(\alpha) = t(\alpha/2; f)S_d$$

Donde:

$$S_d = \sqrt{2CM \text{ error}/r} = \sqrt{2(122.34)/8} = 5.53$$

$$\text{De la tabla, } t(28, 0.05) = 2.048$$

Entonces:

$$DMS(0.05) = (2.048)(5.53) = 11.33$$

Para la primera comparación, la hipótesis es:

$$H_0: T_1 = T_2$$

$$H_a: T_1 \neq T_2$$

$$\text{Ahora, } |\bar{X}_1 - \bar{X}_2| = |372.25 - 354.5| = 17.75$$

Como  $|\bar{X}_1 - \bar{X}_2| > DMS(0.05)$  entonces se rechaza  $H_0$ , es decir las dosis (1.0) y (1.5) de nitrógeno en kilos/palma/año generan pesos promedios diferentes estadísticamente.

Para la segunda comparación, la hipótesis es:

$$H_0: T_3 = T_4$$

$$H_a: T_3 \neq T_4$$

$$\text{Ahora, } |\bar{X}_3 - \bar{X}_4| = |359.0 - 358.0| = 1.0$$

Como  $|\bar{X}_3 - \bar{X}_4| < DMS(0.05)$  entonces no se rechaza  $H_0$ , es decir, las dosis (2.0) y (2.5), generan pesos promedios estadísticamente iguales.

### Prueba de Duncan

Duncan desarrolló una prueba para comparar todos los posibles pares de promedios de tratamientos entre sí; esta prueba es utilizada cuando no se ha planeado ningún tipo de comparación.

Pasos para realizar la prueba:

- Calcular el valor de  $S\bar{X} = \sqrt{CM \text{ error}/t}$
- Identificar en la Tabla 4 de amplitudes estudentizadas (tabla de Duncan) los rangos significativos para la prueba de comparación  $R_p$ ; estos valores se buscan con base en los grados de libertad asociados al CMerror, la amplitud entre los promedios que se van a comparar previamente ordenados y  $\alpha$ .
- Multiplicar  $S\bar{X}$  por cada uno de los rangos encontrados en la tabla, así:

- Ordenar los promedios en orden descendente.
- Se inicia la comparación de todos los posibles pares de medias trazando una línea que une a aquellos promedios que no presentan diferencias significativas, teniendo en cuenta el siguiente criterio de decisión.

Si,  $|\bar{X}_i - \bar{X}_j| > D_k$ , donde  $k$  denota la amplitud entre los promedios

$\bar{X}_i$  y  $\bar{X}_j$  entonces los promedios son diferentes, de lo contrario puede considerarse que los dos promedios no presentan diferencias significativas estadísticamente.

Así se continúa sucesivamente hasta comparar todos los posibles pares de promedios.

Amplitud entre promedios	2	3	4	5	...	$R^t$
$R_p(\alpha; f)$	$R^2$	$R^3$	$R^4$	$R^5$	...	$R^t$
$S_p \cdot R_p$	$D^2$	$D^3$	$D^4$	$D^5$	...	$D^t$

Tabla 4. Tabla de Duncan al 5% de probabilidad

Grados de libertad del error	Tratamientos																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97	17.97
2	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085
3	4.501	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516
4	3.927	4.013	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033
5	3.635	3.749	3.797	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814
6	3.461	3.587	3.619	3.66	3.694	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697
7	3.344	3.477	3.548	3.585	3.611	3.622	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626	3.626
8	3.261	3.399	3.475	3.521	3.549	3.566	3.575	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579
9	3.199	3.339	3.42	3.47	3.502	3.523	3.536	3.544	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547
10	3.151	3.293	3.378	3.43	3.465	3.489	3.505	3.516	3.522	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526	3.526
11	3.113	3.256	3.342	3.397	3.436	3.462	3.48	3.493	3.501	3.506	3.509	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51
12	3.082	3.225	3.313	3.37	3.41	3.439	3.465	3.474	3.484	3.491	3.496	3.496	3.496	3.496	3.496	3.496	3.496	3.496	3.496	3.496
13	3.055	3.2	3.289	3.348	3.389	3.419	3.442	3.458	3.47	3.478	3.484	3.488	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49
14	3.033	3.178	3.268	3.329	3.372	3.403	3.426	3.444	3.457	3.467	3.474	3.479	3.482	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484
15	3.014	3.16	3.25	3.312	3.356	3.386	3.413	3.432	3.446	3.457	3.465	3.471	3.476	3.476	3.476	3.476	3.476	3.476	3.476	3.476
16	2.998	3.144	3.235	3.298	3.343	3.376	3.402	3.422	3.437	3.448	3.456	3.465	3.47	3.473	3.477	3.478	3.478	3.478	3.478	3.478
17	2.984	3.13	3.222	3.285	3.331	3.366	3.392	3.412	3.428	3.441	3.451	3.459	3.465	3.469	3.473	3.475	3.476	3.476	3.476	3.476
18	2.971	3.118	3.21	3.274	3.321	3.356	3.383	3.405	3.421	3.436	3.446	3.454	3.46	3.465	3.47	3.472	3.474	3.474	3.474	3.474
19	2.96	3.107	3.199	3.264	3.311	3.347	3.375	3.397	3.415	3.429	3.44	3.449	3.455	3.462	3.467	3.47	3.472	3.473	3.474	3.474
20	2.95	3.097	3.19	3.255	3.303	3.339	3.368	3.391	3.409	3.424	3.436	3.445	3.453	3.46	3.464	3.467	3.47	3.472	3.473	3.473
24	2.919	3.066	3.16	3.226	3.276	3.315	3.345	3.37	3.39	3.409	3.42	3.432	3.441	3.449	3.456	3.461	3.465	3.468	3.471	3.471
30	2.888	3.035	3.131	3.199	3.25	3.29	3.322	3.349	3.371	3.389	3.405	3.418	3.43	3.439	3.447	3.454	3.46	3.466	3.47	3.47
40	2.858	3	3.102	3.171	3.224	3.266	3.3	3.328	3.352	3.373	3.39	3.405	3.418	3.429	3.439	3.448	3.456	3.463	3.469	3.469
60	2.829	2.978	3.073	3.143	3.198	3.241	3.277	3.307	3.335	3.359	3.374	3.391	3.406	3.419	3.431	3.442	3.451	3.46	3.467	3.467
120	2.8	2.947	3.045	3.116	3.172	3.217	3.254	3.287	3.314	3.337	3.359	3.377	3.394	3.409	3.423	3.435	3.446	3.457	3.466	3.466
Inf.	2.772	2.918	3.017	3.089	3.146	3.193	3.232	3.269	3.294	3.32	3.343	3.363	3.382	3.399	3.414	3.428	3.442	3.454	3.466	3.466

Fuente: adaptada por el autor. <http://costaricalinda.com/Estadistica/duncan1.htm>

Ejemplo:

Utilizando los resultados del experimento del peso en gramos de 100 frutos provenientes de palmas fertilizadas con diferentes fuentes de nitrógeno en kilos/palma/año se tiene que:

$$S\bar{X} = \sqrt{CM \text{ error}} = \sqrt{122.34/8} = 3.91$$

Amplitud entre promedios (k)	2	3	4
$R_{\alpha}(0.05, 28)$	2.90	3.04	3.13
$Sx * R_{\alpha}$	11.34	11.89	12.24

Se ordenan los promedios en orden descendente y se inicia la comparación de los posibles pares de estos, utilizando como valores críticos para la comparación la última línea de la tabla anterior.

Amplitud a comparar	Valor de k	Valor de la diferencia	Valor crítico para comparar	Significancia
$\bar{X}_1 - \bar{X}_2$	2	13.25	11.34	*
$\bar{X}_1 - \bar{X}_3$	3	14.25	11.89	*
$\bar{X}_1 - \bar{X}_4$	4	17.75	12.24	*
$\bar{X}_2 - \bar{X}_3$	2	1.00	11.34	ns
$\bar{X}_2 - \bar{X}_4$	3	4.50	11.89	ns
$\bar{X}_3 - \bar{X}_4$	2	3.50	11.34	ns

\*: Diferencias estadística  
ns: No diferencias estadísticas

Estos resultados pueden representarse de la siguiente forma:

$$\bar{X}_1 \quad \bar{X}_2 \quad \bar{X}_3 \quad \bar{X}_4$$

Indicando que los tratamientos 2, 3 y 4 son estadísticamente iguales, y que el tratamiento 1 es diferente estadísticamente con respecto a los otros tres tratamientos, presentando mayor peso en gramos de 100 frutos.

### Prueba de Tukey

Esta prueba se conoce como la prueba de comparación honesta porque todas las comparaciones

se hacen con el mismo nivel  $\alpha$ , mientras que para otras como la DMS cambia.

Para la prueba se calcula un valor con base en el cual se comparará cualquier par de promedios así:

$$W(\alpha) = q(\alpha, t, f) S\bar{X}$$

El valor de q es encontrado en la tabla de puntos porcentuales superiores de la amplitud estudiada (tabla de Tukey) con un nivel de significancia  $\alpha$ , (1.0 o 5.0%) el número de promedios a comparar (t promedios de tratamientos) y el número de grados de libertad asociados al error experimental. (Ver Tabla 5).

Ejemplo:

Utilizando los resultados del experimento del peso en gramos de 100 frutos provenientes de palmas fertilizadas con diferentes fuentes de nitrógeno en kilos /palma/año se tiene que:

$$S\bar{X} = \sqrt{CM \text{ error}} = \sqrt{122.34/8} = 3.91$$

$$\text{Número de tratamientos a comparar} = 4$$

$$\text{Grados de libertad del error} = 28$$

$$\text{Nivel alfa} = 5\%$$

Con estos datos se tiene:

$$W(0.05) = q(0.05, 4, 28) S\bar{X} \\ = 3.9 \quad \times \quad 3.91 = 15.42$$

$W(0.05) = 15.42$ , es valor crítico de Tukey con el cual se compara la diferencia de pares de tratamientos. Si la diferencia calculada con los datos del experimento supera el valor de W, se concluye que los tratamientos son estadísticamente diferentes, de lo contrario son iguales.

En la siguiente tabla se presentan las comparaciones posibles:

Tratamientos comparados	Valor de la diferencia	Valor crítico para comparar	Significancia
$\bar{X}_1 - \bar{X}_2$	13.25	15.42	ns
$\bar{X}_1 - \bar{X}_3$	14.25	15.42	ns
$\bar{X}_1 - \bar{X}_4$	17.75	15.42	*
$\bar{X}_2 - \bar{X}_3$	1.00	15.42	ns
$\bar{X}_2 - \bar{X}_4$	4.50	15.42	ns
$\bar{X}_3 - \bar{X}_4$	3.50	15.42	ns

\*: Diferencias estadística  
ns: No diferencias estadísticas

Los resultados pueden presentarse de igual forma que en la prueba de Duncan

$$\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \bar{X}_4$$

De acuerdo con este resultado puede decirse que los tratamientos 1, 3 y 4 son iguales entre sí pero diferentes estadísticamente al tratamiento 2; también puede decirse que los tratamientos 3, 4 y 2

son estadísticamente iguales entre sí y diferentes con el tratamiento 1.

### Prueba de Dunnet

Esta prueba compara todos los tratamientos contra un testigo o control.

La prueba requiere un solo valor para la comparación; el cual se calcula a partir de

$$d_{\text{dunnett}} = t_{(1-\alpha; p; gl_{\text{error}})} * S_d$$

Donde  $t(\alpha; p; gl_{\text{error}})$  es el valor de la tabla de  $t$  de Dunnet con un nivel de significancia  $\alpha$ , con  $p$  tratamientos (sin considerar el testigo) y los grados de libertad del error ( $gl_{\text{error}}$ ).

La desviación de la diferencia se obtiene de:

$$S_d = \sqrt{\frac{2 * CM_{\text{error}}}{r}}$$

Tabla 5. Tabla de Tukey al 5% de probabilidad

Grados de libertad del error	Número de Tratamientos																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	17.97	26.98	32.82	37.08	40.41	43.12	45.4	47.36	48.07	50.59	51.96	53.2	54.33	55.36	56.32	57.22	58.04	58.83	59.59	
2	6.08	8.33	9.8	10.88	11.74	12.44	13.03	13.54	13.99	14.39	14.75	15.08	15.38	15.65	15.91	16.14	16.37	16.57	16.77	
3	4.5	5.91	6.82	7.5	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.15	10.35	10.53	10.69	10.84	10.98	11.11	11.24	
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.6	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.65	8.79	8.91	9.03	9.13	9.23	
5	3.64	4.6	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.8	6.99	7.17	7.32	7.47	7.6	7.72	7.83	7.93	8.03	8.12	8.21	
6	3.46	4.34	4.9	5.3	5.63	5.9	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14	7.24	7.34	7.43	7.51	7.59	
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.02	6.18	6.3	6.43	6.55	6.66	6.76	6.85	6.94	7.02	7.1	7.17	
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.4	5.6	5.82	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	6.65	6.73	6.8	6.87		
9	3.2	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.77	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28	6.36	6.44	6.51	6.58	6.64	
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.3	5.59	5.6	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11	6.19	6.27	6.34	6.4	6.47	
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.2	5.46	5.49	5.61	5.71	5.81	5.9	5.98	6.06	6.13	6.2	6.27	6.33	
12	3.08	3.77	4.2	4.51	4.75	4.95	5.12	5.35	5.39	5.51	5.61	5.71	5.8	5.88	5.95	6.02	6.09	6.15	6.21	
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.27	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	5.93	5.99	6.05	6.11	
14	3.03	3.7	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.19	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71	5.79	5.85	5.91	5.97	6.03	
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.2	5.31	5.4	5.49	5.57	5.65	5.72	5.78	5.85	5.9	5.96	
16	3	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.9	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59	5.66	5.73	5.79	5.84	5.9	
17	2.98	3.63	4.02	4.3	4.52	4.7	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54	5.61	5.67	5.73	5.79	5.84	
18	2.97	3.61	4	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.36	5.43	5.5	5.57	5.63	5.69	5.74	5.79	
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46	5.53	5.59	5.65	5.7	5.75	
20	2.95	3.58	3.95	4.23	4.45	4.62	4.77	4.9	5.01	5.11	5.2	5.28	5.36	5.43	5.49	5.55	5.61	5.66	5.71	
24	2.92	3.53	3.9	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.1	5.19	5.26	5.32	5.38	5.44	5.49	5.55	5.6	
30	2.89	3.49	3.85	4.1	4.3	4.46	4.6	4.72	4.82	4.9	5	5.08	5.15	5.21	5.27	5.33	5.38	5.43	5.47	

Fuente: adaptada por el autor. <http://costarica/inda.com/Estadística/tukey1.htm>

**Tabla 6.** Tabla de Dunnet al 5% de probabilidad

Tabla de Dunnet al 5% de probabilidad									
Grados de libertad del error	Número de tratamientos excluyendo al testigo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	2.57	3.00	3.29	3.46	3.66	4.06	4.22	4.36	4.49
6	2.45	2.88	3.18	3.41	3.6	3.75	3.88	4	4.11
7	2.36	2.75	3.04	3.24	3.41	3.54	3.66	3.76	3.86
8	2.31	2.67	2.94	3.13	3.26	3.4	3.51	3.6	3.68
9	2.26	2.61	2.86	3.04	3.18	3.29	3.39	3.48	3.55
10	2.25	2.67	2.8	2.97	3.11	3.21	3.31	3.39	3.46
11	2.2	2.53	2.76	2.92	3.05	3.15	3.24	3.31	3.38
12	2.18	2.5	2.72	2.88	3	3.1	3.18	3.25	3.32

Fuente: adaptada por el autor. <http://costaricalinda.com/Estadistica/tukey1.htm>

La hipótesis que se prueba es la siguiente.

$H_0$ : El promedio del tratamiento testigo = promedio del tratamiento J

El criterio de decisión es:

Rechazar  $H_0$ , si  $|XT - X_j| > d(\text{Dunnet})$

Ejemplo: a partir de un experimento hipotético, en el que se evaluó la producción de biomasa de seis modelos agroforestales, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y su análisis de varianza indicó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos, se

hará la prueba de comparación múltiple de promedios.

$$d_{(0.05)} = t_{(0.05; 5; 10)} * S_d$$

$$d_{(0.05)} = 3.11 * \sqrt{\frac{2 * 1.231}{3}} = 2.82$$

En la siguiente tabla se presentan las comparaciones posibles:

Comparación	Diferencia	Valor crítico	Significancia
$\bar{Y}_1$ vs. $\bar{Y}_2$	32.6-23.80=-8.80	2.81	*
$\bar{Y}_1$ vs. $\bar{Y}_3$	32.6-35.53=-2.93	2.81	*
$\bar{Y}_1$ vs. $\bar{Y}_4$	32.6-21.67= 10.93	2.81	*
$\bar{Y}_1$ vs. $\bar{Y}_5$	32.6-37.43=-4.83	2.81	*
$\bar{Y}_1$ vs. $\bar{Y}_6$	32.6-24.10=-8.47	2.81	*

\*: Diferencias estadística

En la primera comparación, se rechaza  $H_0$ ; en este caso el aporte en promedio de biomasa al suelo con el modelo 2 ( $\bar{Y}_2$ ) es estadísticamente diferente al modelo más utilizado en la zona ( $\bar{Y}_1$ ); en particular, puede decirse que el modelo de la zona es superior en producción media de biomasa al modelo 2.

Al continuar haciendo las comparaciones se concluye que cualquiera de los modelos propuestos se comporta mejor en la producción de biomasa que el sistema utilizado en la zona.




# Software para análisis de varianza

## i

*En este capítulo se explica el software adecuado para hacer el análisis de varianza, con herramientas como excel y la tabla de análisis de varianza para los dos modelos sugeridos: completamente al azar y bloques completos al azar.*

Excel dispone de herramientas para análisis estadístico de datos, para tener acceso a estas herramientas, teniendo abierta la hoja electrónica excel, haga clic en "Análisis de datos" en el grupo "Análisis" de la ficha "Datos". Si el comando "Análisis de datos" no está disponible, deberá cargar el programa de complemento "Herramientas para análisis".

Para cargar la herramienta de análisis haga lo siguiente:

- Haga clic en el botón de "Microsoft Office"  y, a continuación, haga clic en "Opciones de Excel".
- Haga clic en "Complementos" y, en el cuadro "Administrar", seleccione "Complementos de Excel".
- Haga clic en "Ir".
- En el cuadro "Complementos disponibles", active la casilla de verificación "Herramientas para análisis" y a continuación haga clic en "Aceptar".

*Sugerencia:* si "Herramientas para análisis", no aparece en la lista del cuadro "Complementos disponibles", haga clic en "Examinar" para buscarlo. Si se le indica que "Herramientas para análisis", no está

instalado actualmente en el equipo, haga clic en "Sí" para instalarlo.

### ► Herramientas de excel para análisis de la varianza

Las herramientas de análisis de varianza proporcionan distintos tipos de análisis de la varianza. La herramienta que debe usar depende del número de factores.

#### Análisis de varianza para un solo factor

*Esta herramienta realiza un análisis simple de varianza con datos provenientes de un diseño completamente al azar. El análisis proporciona una prueba de la hipótesis de que los tratamientos presentan efectos iguales sobre las unidades experimentales.*

**Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar.** A partir de unos datos provenientes de un diseño completamente al azar, para probar cinco tratamientos con tres repeticiones; se describen los diferentes pasos para producir la tabla de análisis de varianza en excel.

**Paso 1:** los datos se transcriben en el siguiente orden: los tratamientos en las filas y las repeticiones en las columnas.

**Paso 2:** se ubica en la pestaña "Datos", y se da clic en la función "Análisis de datos".

**Paso 3:** al desplegarse la ventana "Análisis de datos", se ubica la opción "Análisis de varianza" para un solo factor y se da clic en "aceptar".

**Paso 4:** al desplegarse la ventana de la opción "Análisis de varianza" de un factor, se debe seguir esta secuencia:

- Sombrear el rango donde se encuentran solo los datos; ojo no incluir los nombres de las variables.
- Indicar que los datos de los tratamientos están agrupados por filas.

- Indicar que la primera columna contiene los rótulos de los tratamientos. Se aclara que los tratamientos se pueden rotular con cualquier nombre.
- Especificar si el nivel  $\alpha$  de significancia es del 5% o el 1%, o cualquier nivel que el investigador considere apropiado.
- Ubicar la celda a partir de la cual se quiere que excel presente los análisis estadísticos.
- Dar clic en "aceptar", una vez verificado que la información solicitada esté completa.

**Paso 5:** excel produce un análisis descriptivo de los datos, y luego la tabla de análisis de varianza presenta el valor de F calculado (F); el valor de F en la tablas (valor crítico para F) y la probabilidad de encontrar un valor mayor de F en las tablas (probabilidad).

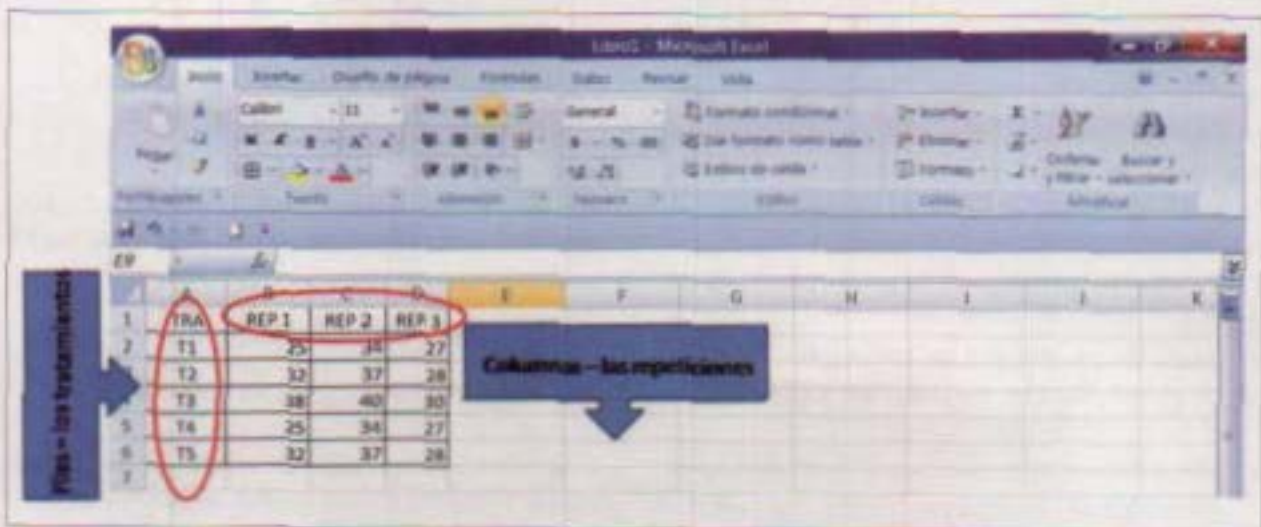


Figura 7. Paso 1 - Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar.

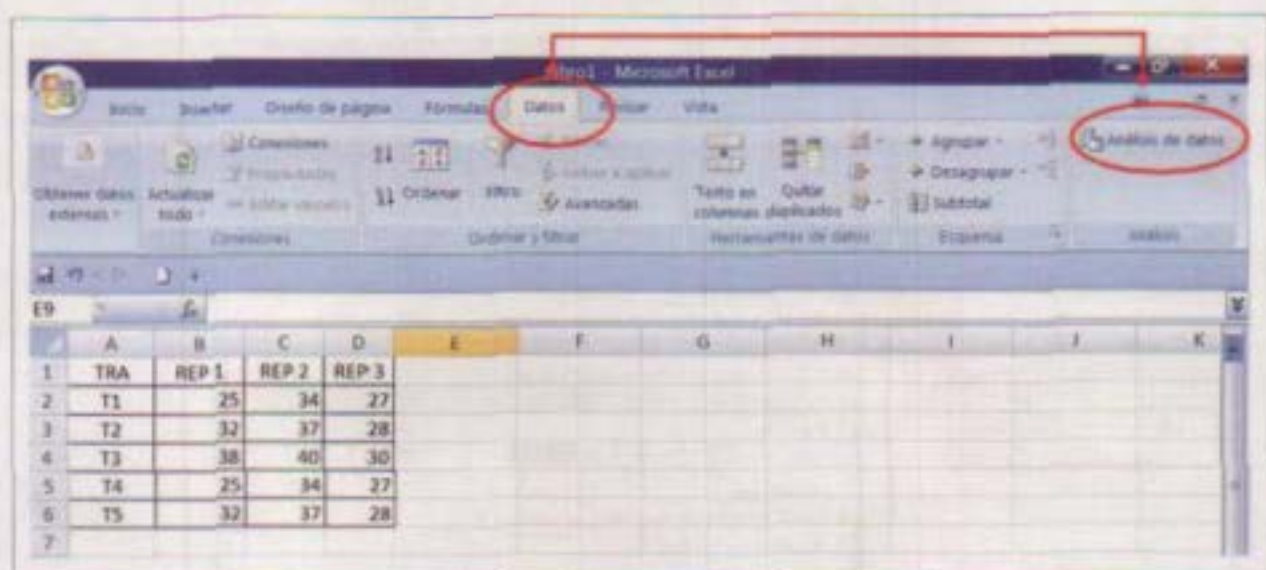


Figura 8. Paso 2 - Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar.

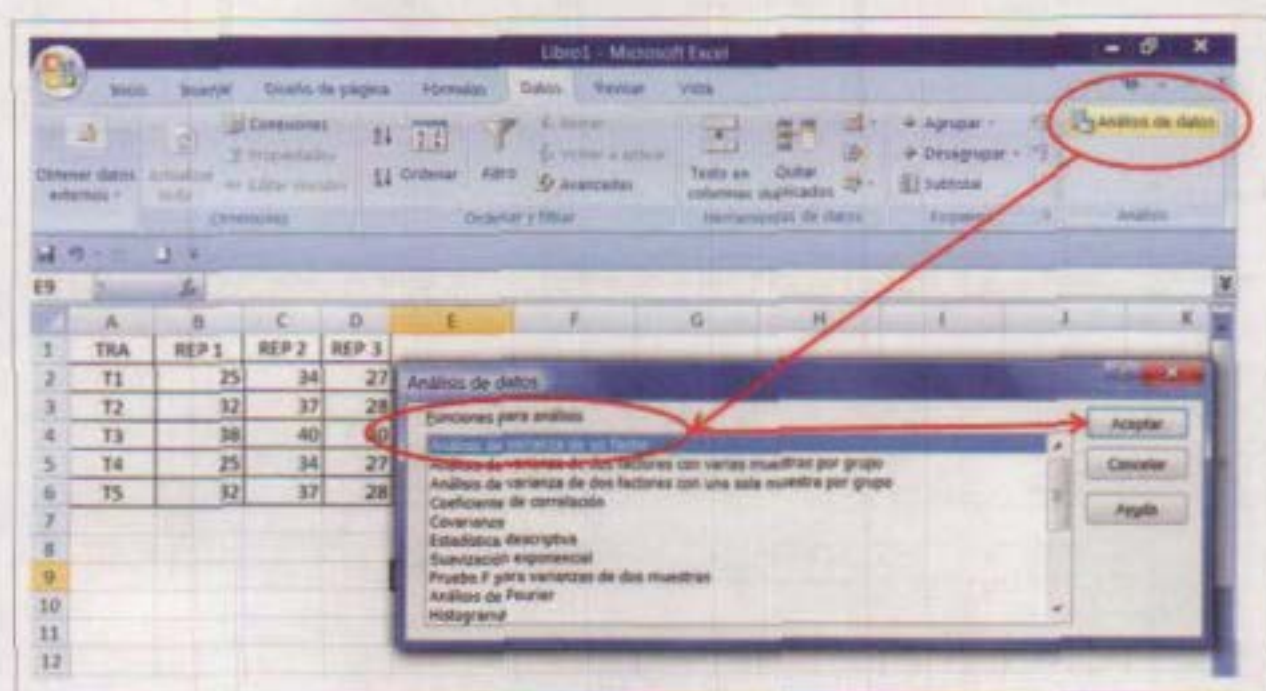


Figura 9. Paso 3 - Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar.

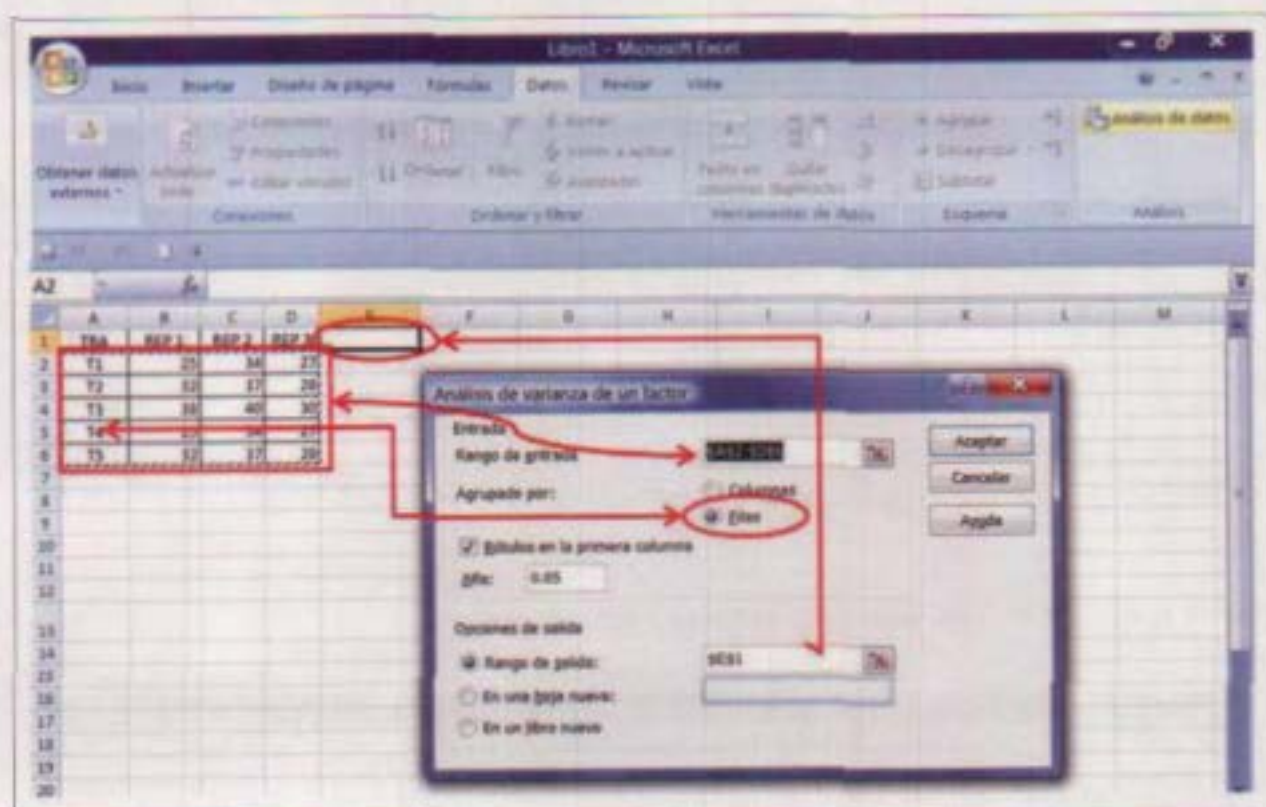


Figura 10. Paso 4 - Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar.

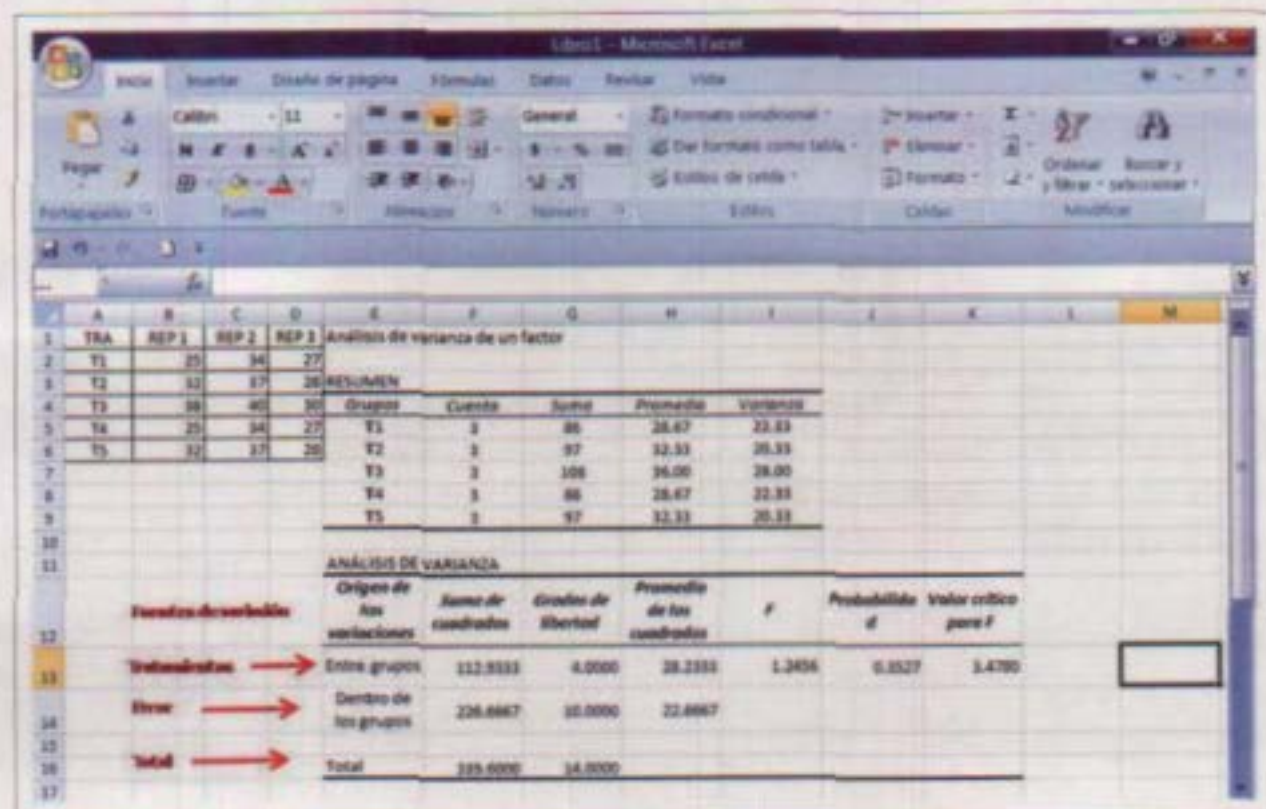


Figura 11. Paso 5 - Tabla de análisis de varianza para el diseño completamente al azar.

## Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

Esta herramienta de análisis es útil para el diseño de bloques completos al azar, cuando los datos se clasifican en dos dimensiones diferentes. Uno como factor de estudio y otro como factor de control de la varianza conocida del material experimental.

**Tabla de análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar.** A partir de unos datos provenientes de un diseño bloques completos al azar, para probar cinco tratamientos dispuestos en tres bloques; se escriben los diferentes pasos para producir la tabla de análisis de varianza en excel.

**Paso 1:** los datos se transcriben en el orden de: los tratamientos en las filas y los bloques en las columnas, y al desplegar la función "Análisis de datos" se ubica en la opción "Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo" y se da clic en "aceptar".

**Paso 2:** al desplegarse la venta de la opción "Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo", se debe seguir la siguiente secuencia:

- Sombrear el rango en el que se encuentran todos los datos; ojo se debe incluir los rótulos de las variables. Se aclara que las variables se pueden rotular con cualquier nombre.
- Se especifica si el nivel  $\alpha$  de significancia es del 5% o el 1%, o cualquier nivel que el investigador considere apropiado.
- Se ubica la celda a partir de la cual se quiere que excel presente los análisis estadísticos.
- Una vez verificado que la información solicitada este completa se da clic en "aceptar".

**Paso 3:** excel produce un análisis descriptivo de los datos, y luego la tabla de "Análisis de varianza". Esta tabla presenta el valor de F calculado (F); el valor de F en la tablas (valor crítico para F) y la probabilidad de encontrar un valor mayor de F en las tablas (probabilidad). Para las fuentes de variación tratamientos y bloques.

The screenshot shows a Microsoft Excel window with a data table and the 'Análisis de datos' dialog box. The data table is as follows:

	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Trat 4	Trat 5
Bloque 1	25	34	17	23	34
Bloque 2	22	30	35	23	30
Bloque 3	19	29	34	22	33

The 'Análisis de datos' dialog box is open, showing the following options:

- Funciones para análisis
- Análisis de varianza de un factor
- Análisis de varianza de dos factores con una muestra por grupo (selected)
- Análisis de varianza de dos factores con una muestra por grupo y un factor de control
- Cóncilios de correlación
- Covarianza
- Estadística descriptiva
- Suavización exponencial
- Pruebas F para varianzas de dos muestras
- Análisis de Fourier
- Histograma

The 'Aceptar' button is highlighted with a red arrow.

Figura 12. Paso 1 - Tabla de análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar.

Figura 13. Paso 2 - Tabla de análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar.

Figura 13. Paso 2 - Tabla de análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar.

Figura 14. Paso 3 - Tabla de análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar.

FECHA	Cuanta	Suma	Promedio	Varianza
Trat 1	3	88	29.33	6.00
Trat 2	3	93	31.00	7.00
Trat 3	3	86	28.67	2.33
Trat 4	3	89	29.67	8.33
Trat 5	3	95	31.67	4.33
Bloque1	5	153	30.60	36.36
Bloque 2	5	140	28.00	29.50
Bloque 3	5	135	27.00	35.50

ANÁLISIS DE VARIANZA							
Factores de variación	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	Trat	49.733	4.000	12.433	72.960	0.000	3.038
Bloques	Bloques	34.533	2.000	17.267	10.947	0.004	4.459
Error	Error	9.667	8.000	1.208			
Total	Total	93.933	14.000				

Figura 14. Paso 3 - Tabla de análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar.

## Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

Esta herramienta de análisis es útil cuando los datos provienen de una estructura factorial simple. Los factores se pueden clasificar de acuerdo con dos dimensiones diferentes. Por ejemplo, en un experimento para medir la altura de las plantas, las cuales pueden recibir tratamientos conformados por la interacción de tres dosis diferentes de un fertilizante (por ejemplo, A, B o C) y dos láminas de riego (por ejemplo, alta o baja). Para cada uno de los seis pares (fertilizante, riego) posibles, tenemos un número igual de observaciones de altura de la planta. Con esta herramienta podemos comprobar:

- Si la altura de las plantas para las diferentes dosis del fertilizante se debe a este factor sin tener en cuenta el riego.
- Si la altura de las plantas para los diferentes láminas de riego se debe al riego y las dosis del fertilizante no se tienen en cuenta en este análisis.
- Si habiendo tenido en cuenta los efectos simples de los dos factores, este análisis también permite explorar la interacción de las diferentes dosis del fertilizante y las láminas de riego. La hipótesis alternativa es que se produzcan efectos debidos a pares (fertilizante X riego) específicos más allá de las diferencias basadas solo en el fertilizante o solo en el riego.

### Tabla de análisis de varianza para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial.

A partir de unos datos provenientes de un diseño completamente al azar, en el que los tratamientos corresponden a un arreglo factorial de tres niveles de nitrógeno por tres niveles de fósforo (NxP),

para observar el efecto de los tratamientos en el rendimiento anual de la producción de fruto de la palma de aceite en toneladas por hectárea; se describen los diferentes pasos para producir la tabla de análisis de varianza en excel.

**Paso 1:** los datos se transcriben en forma matricial correspondiendo la interacción fila por columna a los diferentes niveles de los factores de estudio; las repeticiones se ingresan por filas.

Al desplegar la función "Análisis de datos" se ubica en la opción "Análisis de varianza" de dos factores con varias muestras por grupo y se da clic en "aceptar".

**Paso 2:** al desplegarse la ventana de la opción "Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo", se debe seguir esta secuencia:

- Sombrear el rango donde se encuentran todos los datos; ojo se deben incluir los rótulos de las variables. Se aclara que las variables se pueden rotular con cualquier nombre.
- Se debe especificar en "Filas por muestra", el número de repeticiones que se tienen por cada tratamiento.
- Se especifica si el nivel  $\alpha$  de significancia es del 5% o el 1%, o cualquier nivel que el investigador considere apropiado.
- Se ubica la celda a partir de la cual se quiere que excel presente los análisis estadísticos.
- Una vez verificado que la información solicitada este completa se da clic en "aceptar".

**Paso 3:** excel produce un análisis descriptivo de los datos, y luego la tabla de análisis de varianza. Esta tabla presenta el valor de F calculado (F); el valor de F en la tablas (valor crítico para F) y la probabilidad de encontrar un valor mayor de F en las tablas (probabilidad). Para los efectos simples y para la interacción.

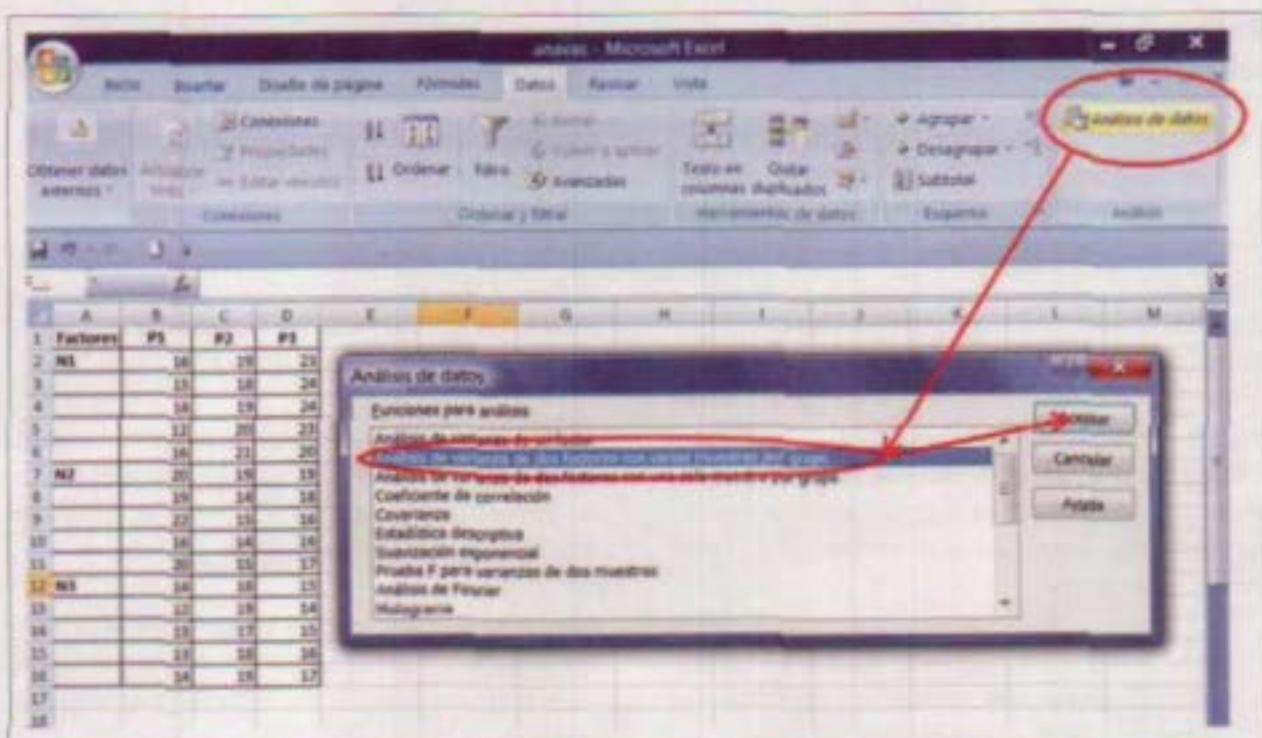


Figura 15. Paso 1 - Tabla de análisis de varianza para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial.

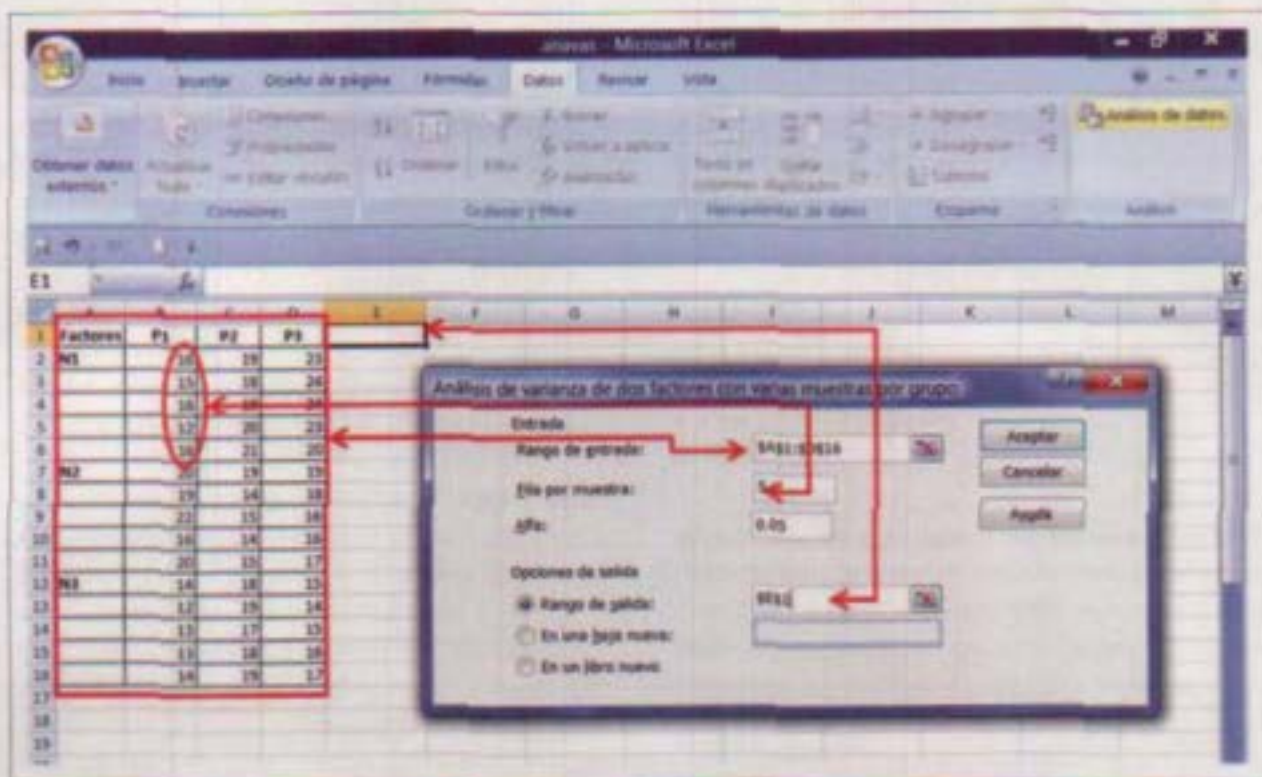


Figura 16. Paso 2 - Tabla de análisis de varianza para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial.

Microsoft Excel - anavis

Factorial P1 P2 P3

ANÁLISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES CON VARIAS MUESTRAS POR GRUPO

Factorial	P1	P2	P3	RESUMEN	P1	P2	P3	Total
N1	5	5	20	Cuenta	5.00	5.00	5.00	5.00
	5	5	24	Suma	75.00	97.00	104.00	296.00
	5	20	27	Promedio	5.00	19.40	22.80	19.07
	5	5	5	Varianza	3.00	1.30	2.70	12.92
N2	5	5	5	Cuenta	5.00	5.00	5.00	5.00
	5	21	20	Suma	97.00	77.00	86.00	260.00
	5	5	5	Promedio	19.40	15.40	17.20	17.33
	5	5	5	Varianza	4.80	4.30	1.70	5.95
N3	5	5	5	Cuenta	5.00	5.00	5.00	5.00
	5	5	5	Suma	66.00	91.00	77.00	234.00
	5	5	5	Promedio	13.20	18.20	15.40	15.60
	5	5	5	Varianza	0.70	0.70	1.30	5.26
	5	5	5	Cuenta	5.00	5.00	5.00	5.00
	5	5	5	Suma	238.00	265.00	277.00	780.00
	5	5	5	Promedio	15.87	17.67	18.47	17.33
	5	5	5	Varianza	9.70	4.81	12.27	8.93

ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Muestra	90.133	2	45.067	19.705	0.0000016	3.259	
Columnas	53.200	2	26.600	11.678	0.0001233	3.259	
Interacción	202.667	4	50.667	22.244	0.0000000	2.634	
Dentro del grupo	82.000	36	2.278				
Total	428.000	44					

Figura 17. Paso 3 - Tabla de análisis de varianza para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial.

*Anotaciones*



**Aleatorización** (*randomization*): consiste en la asignación al azar de los tratamientos a las unidades experimentales.

**Anava** (*anova*): sigla que significa análisis de la varianza.

**Bloque** (*block*): término que se utiliza en estadística para contrarrestar algún efecto experimental que interactúa con las unidades experimentales.

**Diseño experimental** (*experimental design*): esquema que indica la forma en que el o los factores en estudio son asignados a las unidades experimentales.

**Error experimental** (*experimental error*): es la variabilidad existente entre unidades experimentales que reciben el mismo tratamiento.

**Estimar** (*estimate*): calcular el valor aproximado de algo.

**Factor** (*factors*): es la condición que se impone a las unidades experimentales y cuyo efecto sobre una respuesta dada se desea evaluar o comparar. Es la variable que el investigador modifica a voluntad.

**Insesgadamente** (*unbiasedness*): término estadístico para indicar que un estimador sea insesgado o centrado, es decir, que su sesgo sea nulo.

**Niveles** (*levels*): son las diferentes categorías del factor, también reciben el nombre de tratamientos.

**Particionar** (*partition*): dividir en sus partes lo que conforman un todo.

**PC**: sigla utilizada para identificar la enfermedad que ataca a la palma de aceite llamada Pudrición del cogollo

**Repeticiones o replicas** (*repetition*): se llama así a las unidades experimentales que reciben el mismo tratamiento de manera independiente.

**Seudorepeticiones** (*pseudo-replications*): son falsas repeticiones entre las cuales no hay independencia.

**Unidad experimental** (*experimental unit*): es el elemento o conjunto de elementos sobre los cuales se aplican de manera independiente los tratamientos y se evalúa la variable respuesta.

**Validez externa** (*external validity*): condición que se tiene cuando el material experimental con el que se trabaja, es representativo de la población a la cual se quieren inferir los resultados.

**Validez interna** (*internal validity*): condición que se tiene cuando en el experimento se logran controlar factores de confusión.

<sup>2</sup> Junto a cada expresión, entre paréntesis, su traducción al inglés.

## » Referencias bibliográficas

- Babbie, E.R. 1979. *The practice of social research*. California: Ed. Westworth.
- Cox, D.R. 1978. *Planning of Experiments*. Nueva York: John Wiley and Sons, Inc.
- Hernández, A. 2007. *Curso elemental de estadística descriptiva*. Primera edición. Madrid: Ediciones Pirámide, 208 p.
- Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; Baptista Lucio, Pilar. 1997. *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Martínez, R.; Martínez, N., 1997. *Diseño de experimentos*. Primera edición. Bogotá: Fondo Nacional Universitario, UN, 461 p.
- Méndez, I. 1980. Lineamientos generales para la planeación de experimentos. Monografía 15 (15) IIMAS.
- Kemphorne, O. 1952. *The Design and Analysis of Experiments*. Nueva York: John Wiley and Sons, 10.
- Ostle, B. 1975. *Estadística aplicada*. México: Limusa-Wiley, Cap. 10.

### Referencias de internet

- <http://espaciovirtual.wordpress.com/2007/08/11/101-terminos-de-investigacion-cientifica/> (consulta: 30 de julio de 2010).
- <http://www.scribd.com/doc/415928/Hernandez-Sampieri-R-cap-2-4-5> (consulta: 30 de julio de 2010).
- <http://www2.uiah.fi/projekti/metodi/263.htm> (consulta: 18 de agosto de 2010).
- <http://www.monografias.com/trabajos7/incl/incl.shtml> (consulta: 18 de agosto de 2010).
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Experimentación> (consulta: 18 de agosto de 2010).
- <http://www.monografias.com/trabajos7/diex/diex.shtml> (consulta: 18 de agosto de 2010).
- <http://espaciovirtual.wordpress.com/2007/08/11/101-terminos-de-investigacion-cientifica/> (consulta: 18 de agosto de 2010).

# Guía del estudiante Modalidad a distancia

## Aplicación de metodologías y técnicas de experimentación



### Datos de identificación

Tutor: \_\_\_\_\_  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
E-mail: \_\_\_\_\_

#### UNIMINUTO

Línea nacional gratuita: 01 8000 936670 Líneas atención en Bogotá: 5933004 y 2916520 Extensión 6864.  
Celular: 320 - 3131732 <http://virtual.uniminuto.edu> E-mail: [admisionesievdp@uniminuto.edu](mailto:admisionesievdp@uniminuto.edu)

#### Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Línea nacional gratuita: 01 8000 115223 Calle 14 Sur No. 14-23 - Bogotá  
Teléfono atención en Bogotá: 3443700 Extensión 369 Celular: 312 - 3051011  
[www.unad.edu.co](http://www.unad.edu.co) E-mail: [zaida.rangel@unad.edu.co](mailto:zaida.rangel@unad.edu.co) [hans.rodriguez@unad.edu.co](mailto:hans.rodriguez@unad.edu.co)

#### Universidad de Nariño Virtual

Teléfono en Pasto: 7226774 Celular: 315 - 8701196. Secretario U. virtual.  
[www.udenar.edu.co/virtual](http://www.udenar.edu.co/virtual) E-mail: [uvirtual@udenar.edu.co](mailto:uvirtual@udenar.edu.co)

# BIENVENIDA



**B**ienvenido al módulo "Aplicación de metodologías y técnicas de experimentación". Esperamos que el proceso que hoy inicia sea verdaderamente fructífero y le permita desarrollar y afianzar las siguientes competencias:

- Realizar la selección del material experimental de acuerdo con las especificaciones y condiciones requeridas para el montaje de los ensayos por ejecutar en el campo, el vivero o el laboratorio.
- Ejecutar el montaje de los ensayos en una finca palmera, bajo el diseño experimental propuesto.
- Procesar datos generados en ensayos de campo, vivero o laboratorio, utilizando *software* aplicativo.

En la elaboración del módulo se ha procurado cubrir los aspectos más importantes de la temática, con base en material especializado y en experiencias prácticas. Se busca que su desempeño, como auxiliar en la conducción de experimentos en el campo, el vivero o el laboratorio aplicados a la producción de cultivos, sea base para que los resultados obtenidos en la investigación estén soportados por la aplicación de principios y metodologías de la estadística experimental.

Existe abundante literatura sobre el tema y esperamos que al finalizar el módulo, el estudiante tenga las bases para avanzar por su cuenta en el proceso de formación, que es permanente, pues en realidad la investigación en general es muy dinámica y debe estar siempre en función de brindar respuestas a fenómenos cambiantes.

# INTRODUCCIÓN



El propósito principal de este módulo es presentar la estadística experimental desde el punto de vista de sus aplicaciones, sin detenerse en demostraciones, ni en la profundización de temas especializados. Se presentan los temas en forma sistemática, para que el conocimiento de la estadística se adquiera mediante un proceso acumulativo que permita al estudiante, al finalizar el módulo, tomar decisiones apoyado en la estadística.

El módulo se divide en cuatro capítulos. El primero ofrece conceptos generales de la investigación en campo, que ayudarán a entender la importancia de la experimentación y de la utilización de la estadística experimental para construir conocimiento.

El segundo capítulo brinda conceptualización estadística básica requerida en la experimentación, para que la participación del estudiante en el proceso de investigación se realice con criterios y con un esquema secuencial de la estadística experimental, que al ponerlos en práctica garantizan la obtención de datos confiables para el análisis estadístico.

Los diseños experimentales básicos aplicados en la investigación agropecuaria, cuándo utilizarlos y qué se debe hacer después del análisis de varianza, se desarrollan mediante ejemplos prácticos en el tercer capítulo. Y para facilitar el procesamiento y producción de los análisis de varianza para cada diseño experimental, en el capítulo cuarto se enseña la manera de hacer los análisis, utilizando las opciones y funciones que tienen la hoja electrónica Excel, en su módulo de análisis de datos.

El desarrollo del módulo incluye conceptos teóricos y ejemplos prácticos aplicados a las empresas palmeras, que ayudarán al estudiante a orientar su proceso de aprendizaje. Sin embargo, para facilitar el desarrollo del curso y enriquecer su dinámica, es importante que el estudiante emplee el pensamiento estadístico para aplicar los conocimientos adquiridos a las condiciones existentes en las fincas palmeras.



## Unidad de competencia

Ejecutar las actividades de experimentación en campo, vivero o laboratorio asociada al cultivo de palma de aceite, de acuerdo con el modelo del diseño experimental determinado por la empresa.



## Elementos de competencia

- Realizar la selección del material experimental de acuerdo con las especificaciones y condiciones requeridas para el montaje de los ensayos por ejecutar en el campo, el vivero o el laboratorio.
- Ejecutar el montaje de los ensayos en una finca palmera, bajo el diseño experimental propuesto.
- Procesar datos generados en ensayos de campo, de vivero o de laboratorio, utilizando software aplicativo.



## Unidades de aprendizaje

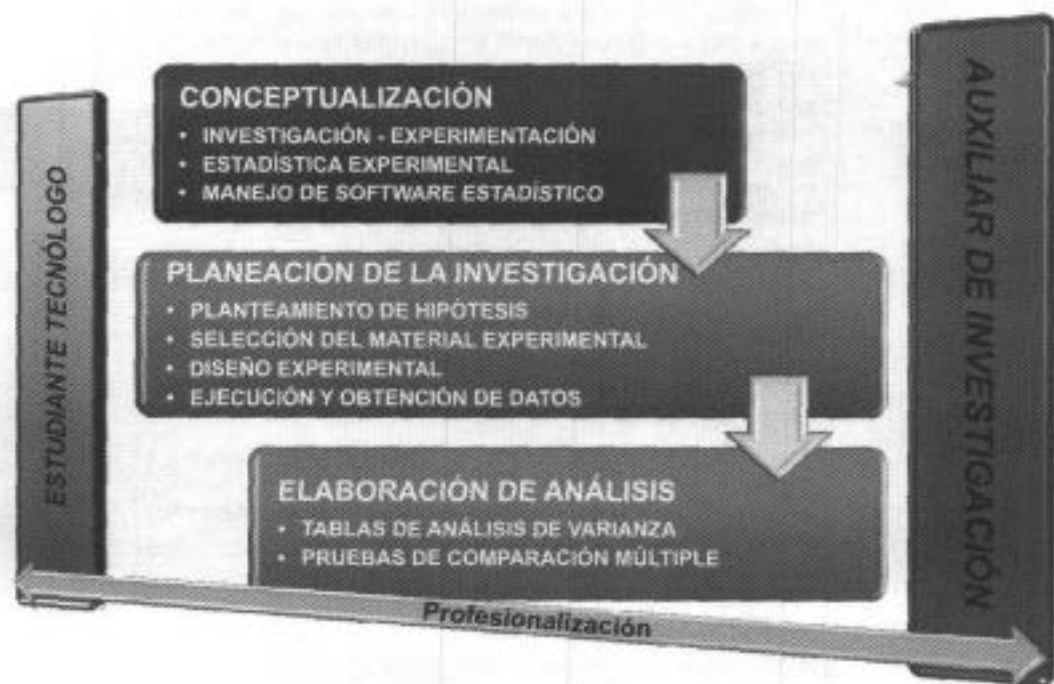
**Selección del material experimental de acuerdo con las especificaciones y condiciones requeridas para el montaje de los ensayos por ejecutar en el campo, el vivero o el laboratorio.** Busca motivar a los estudiantes a que apoyen labores de investigación, a partir de la presentación de conceptos generales sobre qué es la investigación en campo y la importancia de la experimentación y de los métodos estadísticos como herramientas para plantear y probar hipótesis que conducen a nuevos conocimientos para mejorar la producción agropecuaria del país. En esta unidad, los conceptos estadísticos de material experimental, las variables de respuesta y los factores de estudio se presentan como los pilares para definir la unidad experimental. También se explica que el manejo riguroso del material experimental en la investigación permite obtener resultados confiables del análisis estadístico.

**Ejecución del montaje de los ensayos en una finca palmera, bajo el diseño experimental propuesto.** Apunta a desarrollar las competencias para el mon-

taje adecuado en el campo, el laboratorio o el vivero de los diseños experimentales básicos. En cada caso, se explican las condiciones y requerimientos para su aplicación, así como el componente teórico de cada modelo estadístico, su estructura y la forma de interpretar los resultados del análisis. Para interiorizar lo anterior, se utilizan ejemplos prácticos de investigaciones en fincas palmeras, y se desarrolla paso a paso la planeación experimental hasta obtener los resultados del análisis de varianza. Una de de las competencias que el auxiliar de investigación debe desarrollar consiste en comprender por qué, a partir de los resultados del análisis de varianza, se continúa o no con otros análisis estadísticos, como las pruebas para comparar promedios de tratamientos.

**Procesamiento de los datos generados en ensayos de campo, de vivero o de laboratorio, utilizando software aplicativo.** Propicia habilidades para manejar el *software* aplicativo del Microsoft Office existente en la hoja electrónica de excel para el análisis de datos. Utiliza ejemplos prácticos y hace una descripción gráfica de las diferentes ventanas de excel utilizadas con el objeto de desarrollar, paso a paso, la elaboración de la tabla de análisis de varianza para cada uno de los diseños experimentales aprendidos.

## Esquema del módulo



Esquema modular concebido como un sistema





## Calendario del módulo

Unidad de aprendizaje	Actividades	Semana
Definir los elementos conceptuales necesarios para el montaje de los experimentos por ejecutar en el campo, el vivero o el laboratorio	Indicar las razones por las cuales es necesario hacer experimentos en la empresa o finca palmera y responder el cuestionario relacionado con el significado del experimento.	1
	Comprender por qué se plantean hipótesis estadísticas y qué condiciones deben cumplir, teniendo en cuenta los requerimientos del experimento. Ejercitar la formulación de hipótesis bajo una estructura experimental.	2
	Aplicar criterios técnicos para definir el concepto de tratamiento, unidad experimental, repetición, error experimental, aleatorización, análisis de varianza, estructura del análisis estadístico (Anava) dentro del proceso de investigación y responder en grupo el cuestionario-taller sobre los elementos conceptuales para el montaje de experimentos.	3-4
Ejecutar el montaje de los ensayos en una finca palmera, bajo el diseño experimental propuesto	Visitar una finca palmera e identificar sobre el terreno el material experimental, los posibles factores de estudio y cuáles requieren de control local. Hacer en el sitio una discusión grupal y sustentar cada uno de los puntos identificados.	5
	Visitar un experimento que se desarrolle en el vivero o en el laboratorio de una empresa o finca palmera bajo el Diseño Completamente al Azar (CA). Elaborar un informe escrito acerca de la visita que contenga las características del material experimental que determinó el diseño, la forma de asignar los tratamientos a las unidades experimentales y el modelo estadístico. Plantear en dicho informe la estructura de la tabla de análisis de varianza (Anava).	6-7
	Visitar un experimento que se desarrolle en el campo, en una finca palmera bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA). Elaborar un informe escrito sobre la visita que contenga las características del material experimental que determinó el diseño, la forma de asignar los tratamientos a las unidades experimentales y el modelo estadístico. Plantear en dicho informe la estructura de la tabla de análisis de varianza (Anava).	8-9
	Analizar ejemplos prácticos de casos planeados por el tutor, relacionados con experimentos con Estructura Factorial bajo un CA. Presentar en grupo un informe escrito que contenga las características del material experimental que determinó el factorial, la forma de asignar los tratamientos a las unidades experimentales y el modelo estadístico. Plantear en dicho informe la estructura de la tabla de análisis de varianza (Anava).	10
	Indicar las razones por las cuales se debe dar continuidad al análisis estadístico y cuándo utilizar una Diferencia Mínima Significativa, una prueba de Duncan, una prueba de Tukey y una prueba de Dunnett. Responder el cuestionario relacionado con las pruebas de comparación múltiple. A partir del resultado presentado por el tutor, de una tabla de análisis de varianza (Anava), elaborar en grupo un análisis escrito acerca de la separación de promedios que se considere adecuada, que concluya en función de las hipótesis planteadas.	11-12
Procesar los datos generados en ensayos de campo, de vivero o de laboratorio, utilizando software aplicativo	Los estudiantes conseguirán datos de casos y utilizarán las herramientas de excel para el análisis de la varianza. Además, presentarán por escrito (1) el análisis de varianza para un solo factor (Anava de un CA); (2) el análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo (Anava de un BCA); y (3) el análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo (Anava en un CA con un arreglo factorial).	13-15



En la educación a distancia es importante que el estudiante asuma una estricta responsabilidad de su proceso educativo. Así logrará exigir más de sí mismo respecto de su propio aprendizaje. Debido a que este proceso es ante todo individual, y a que no supone la presencia constante del tutor, el estudiante deberá desarrollar la capacidad para organizar sus tiempos de estudio (autodisciplina) y tener en cuenta que esta modalidad ofrece flexibilidad en los horarios.

La palabra método significa camino (*odos*) para llegar a un fin (*meta*). En este sentido, de lo que se trata aquí es de integrar los métodos y las técnicas para desarrollar habilidades conducentes a adquirir una competencia.

Usted cuenta con varios recursos a su disposición que le ayudarán a alcanzar la competencia al final de este módulo. Ellos son: (1) el texto de estudio; (2) la *Guía del estudiante*; y (3) los encuentros tutoriales. Como complemento, pueden ofrecerse materiales en CD o DVD, lecturas en la web, u objetos de aprendizaje interactivos, según las necesidades del módulo.

**El texto de estudio (o texto base).** Es el principal material de estudio del que dispone el estudiante. Tiene como finalidad proveer todos los "saberes" que, aplicados y reflexionados en y desde la práctica, el estudiante deberá adquirir para alcanzar una competencia a partir del "saber-hacer" y el "saber-ser".

**La Guía del estudiante.** Su finalidad es orientar al estudiante en todo su proceso de aprendizaje, de manera que las actividades le ayuden a desarrollar las habilidades y, por tanto, la competencia en un saber específico. Al no haber encuentros presenciales permanentes, la *Guía* ha de orientar el proceso de aprendizaje, brindándole todas las herramientas para alcanzar la competencia planteada en cada módulo.

**Los encuentros tutoriales.** El tutor es un facilitador del proceso. Su trabajo incluye las siguientes funciones:

- Resolver las dudas académicas sobre los contenidos del módulo, y también las administrativas cuya solución esté a su alcance.
- Orientar el estudio del estudiante, sugiriéndole metodologías, técnicas, estrategias, recursos, bibliografía y consejos que lo ayuden a alcanzar sus metas.
- Acompañarlo en su proceso, motivándolo en momentos de estancamiento y confrontándolo en momentos de incumplimiento o incomunicación.
- Retroalimentarlo tras la entrega de productos, evaluaciones o prácticas, explicándole lo que le faltó para alcanzar la competencia requerida y sugiriéndole rutas de mejoramiento que lo ayuden a alcanzarla.

- Evaluar de manera abierta, objetiva, justa y equitativa a sus estudiantes, dándoles a conocer los criterios de evaluación por anticipado (no las respuestas), aplicando los instrumentos desarrollados para tal fin, y evaluándolos según los criterios de la actividad.
- Ejercer un acompañamiento permanente, sin que ello signifique que tenga que desarrollarse en cualquier momento, sin la debida planeación, o que el tutor deba "dictar clase".

**Materiales complementarios.** Algunos módulos tienen materiales de apoyo que se distribuyen en CD, DVD o por medio de la web. En ellos se presentan contenidos estáticos y dinámicos que refuerzan los conocimientos del estudiante y atienden a otros estilos de aprendizaje, al presentar información en forma de hipertexto, audio, video, interactivos o aplicaciones.

Entre las funciones de tales materiales (que comparte la *Guía del estudiante*) están las siguientes: despertar la atención de los estudiantes y motivarlos; presentar los objetivos de la instrucción; relacionar con el conocimiento previo; presentar el material que debe aprenderse; guiar y estructurar el aprendizaje; promover la participación activa del estudiante en su proceso de aprendizaje; suministrar retroalimentación inmediata; promover la transferencia de conocimiento a través de la ejemplificación; facilitar la retención de los contenidos mediante el desarrollo de ejercicios como el resumen, la síntesis, etc.



## Evaluación

Con la evaluación se planifica la enseñanza y se validan saberes previos y/o adquiridos durante el proceso enseñanza-aprendizaje. Si al solicitar la evidencia de un elemento de competencia el tutor detecta que el estudiante puede tener la competencia requerida, o si éste plantea tenerla cuando se le pregunta, el tutor acordará con él o ella una fecha para la constatación de este hecho. En tal caso, el estudiante deberá entregar los productos que plantea el módulo y realizar una prueba de desempeño y conocimiento, si es el caso.

La evaluación tiene dos finalidades principales:

1. La primera es determinar el estado de desarrollo de la competencia en el estudiante, con miras a sugerirle rutas de mejoría hasta alcanzar el nivel de competencia requerido. Desde esta perspectiva, se habla de evaluación formativa como la que permite al tutor y a los estudiantes determinar –con base en instrumentos como la rúbrica o la lista de verificación– el nivel de desempeño obtenido en una actividad o en el desarrollo de un producto, y dar paso al proceso de mejorar lo realizado.

2. La segunda función de la evaluación es establecer si el estudiante ha alcanzado la competencia y, por tanto, si debe ser promovido a un nuevo nivel o ha aprobado el módulo. En este sentido, hablamos de que el papel de la evaluación es calificarlo, lo cual en la educación basada en competencias se hace mediante una escala cualitativa binaria ("competente" o "no competente aún"). Este tipo de calificación parte de que la competencia es integral (conjunción de conocimientos, habilidades, actitudes y valores) y de que ella debe demostrarse, cumpliendo al nivel más alto con todos los criterios de desempeño establecidos en la rúbrica de la actividad o en la lista de verificación.

Como se parte del hecho de que todo estudiante está en capacidad de desarrollar cada competencia, la calificación "no competente aún" implica que el estudiante ha sido ubicado en niveles de desempeño inferiores al requerido: no que él o ella sea incompetente, sino que debe mejorar, hasta alcanzar el nivel esperado. En este caso, debe proveerse un tiempo prudencial para que, una vez retroalimentado por su tutor, reflexione sobre cómo mejorar los criterios de desempeño que no alcanzó adecuadamente, los trabaje e intente nuevamente demostrar su competencia.

Desde el enfoque de las competencias, el estudiante será evaluado de la siguiente manera:

- El tutor recoge las evidencias de aprendizaje y las valora según las instrucciones dadas para cada actividad.
- La valoración de si ha alcanzado la competencia descrita para cada actividad supondrá que se lo declare "competente" o "no competente aún".
- Si no es competente aún, el estudiante buscará –de común acuerdo con el tutor– las estrategias que propicien el desarrollo de las habilidades requeridas para lograr la competencia.
- Cada evidencia que entregue el estudiante obtendrá la respectiva retroalimentación, para que pueda mejorar su trabajo si la competencia no ha sido alcanzada.
- En el momento de valorar las competencias se tendrá en cuenta la integralidad, es decir, la conjunción de los tres saberes: saber-saber, saber-hacer y saber-ser.
- Dependiendo del módulo que se esté desarrollando, se solicitará al estudiante presentar evidencias de aprendizaje de cuatro tipos: conocimiento, desempeño, procesos y producto, que serán evaluadas como se mencionó previamente.
- La evaluación tendrá en cuenta el rigor en la aprehensión de los conceptos, la calidad de las prácticas propuestas, la relación que establezca entre la teoría y la práctica, la presentación adecuada de cada una de las actividades y la actitud investigativa durante el proceso de aprendizaje, de manera que se vea, se juzgue, se actúe y se devuelva creativamente lo aprendido.

Con los resultados de aprendizaje expuestos para cada competencia, el estudiante demuestra sus conocimientos, habilidades y destrezas, que serán valorados en conjunto por el tutor, a partir de criterios de desempeño y evidencias requeridas, sobre los que el estudiante ha sido previamente informado.



Las políticas de un módulo son los enunciados que pretenden dar orden al proceso de enseñanza-aprendizaje. Son las "reglas del juego" que orientan la labor de cada actor del proceso y promueven, en última instancia, en el estudiante, el logro de las competencias necesarias para aprobar cada módulo. Estas políticas dan estructura al trabajo de todos: tutores y estudiantes.

### Rol del tutor

El propósito fundamental del tutor es dar un servicio a los estudiantes, facilitando su proceso de aprendizaje y el logro de sus competencias. La supervisión que hagan los tutores se enfocará tanto a los procesos como a los productos del aprendizaje que evidencien el desarrollo de las habilidades requeridas para alcanzar la competencia. Para ello, el tutor asume los siguientes compromisos:

- Atender directamente a los estudiantes a él asignados mediante el encuentro tutorial, la comunicación telefónica (vía teléfono, celular o fax) y/o electrónica, la mensajería, o cualquier otro medio acordado previamente con ellos, para ayudarles a aclarar sus dudas, acudiendo a diversas estrategias didácticas.
- Asistir al lugar de tutoría asignado, en la hora y el día indicados previamente.
- Respetar el calendario académico y cada una de las actividades propuestas en él.
- Guiarlos, asesorarlos y orientarlos en su proceso de aprendizaje.
- Cuestionarlos sobre su proceso de aprendizaje y suscitar su reflexión acerca de dicho proceso.
- Evaluar las actividades de acuerdo con los criterios que ha dado a conocer a los estudiantes al plantearles cada actividad.
- Retroalimentar las actividades y sus evidencias de competencia en las fechas acordadas conjuntamente.

### Rol del estudiante

Se presume la honradez intelectual y compromiso del estudiante como responsable de iniciar, dirigir y sostener su propio proceso de aprendizaje. En este sentido, se espera que se comprometa a propiciar las condiciones que estén a su alcance para maximizar sus oportunidades de formación, de acuerdo con su contexto y posibilidades. De igual forma, se presume que nunca incurrirá en actos deshonestos o de plagio en las diversas formas de interacción, actividades terminales e intermedias. En síntesis, se espera que participe activamente en cada una de las actividades descritas en la presente *Guía*, para lo cual debe tener presentes las siguientes expectativas:

- El estudiante es el protagonista del proceso de aprendizaje; como tal, ha de ser activo y propositivo y, por consiguiente, desarrollar el autoestudio.
- Participará activamente en las actividades diseñadas, después de leer los contenidos de su texto de estudio y de los materiales adicionales relacionados en la *Guía*.
- Tras realizar las actividades planteadas en la *Guía*, entregará las evidencias según el procedimiento y criterios de evaluación expuestos, en los tiempos establecidos por el calendario, y de acuerdo con las instrucciones descritas en cada actividad.
- Sabrá citar las fuentes en sus evidencias escritas, es decir, empleará debidamente la bibliografía, con el fin de evitar el plagio.
- Se comunicará con su tutor, en caso de tener dudas acerca del desarrollo de los contenidos del módulo.



## Unidad de aprendizaje 1

Definir los elementos conceptuales necesarios para el montaje de los experimentos por ejecutar en el campo, el vivero o el laboratorio.

### RESULTADOS DE APRENDIZAJE

- Identificar y definir los conceptos básicos de la estadística experimental utilizados para la experimentación en el campo, el vivero o el laboratorio.
- Aplicar los conceptos básicos de la estadística experimental para la realización de ensayos en una finca palmera.

### Presentación

Para participar en las actividades de investigación en el campo, el vivero o el laboratorio que generen datos en la finca palmera y que requieran ser tratados estadísticamente, es necesario adquirir conceptos acerca de la experimentación como método común de las ciencias y las tecnologías, en el cual el estudio de un fenómeno y su tratamiento requieren condiciones controladas, como la eliminación o introducción de las variables que puedan influir en los resultados, para que las respuestas que arroje el experimento correspondan únicamente a las condiciones propias del fenómeno u objeto estudiado.

La investigación agropecuaria busca responder a preguntas relacionadas con la producción, y debe ser diseñada precisa y rigurosamente para lograr tal objetivo. La formulación de las hipótesis requiere de conceptos y términos estadísticos que conduzcan a metodologías apropiadas para ser verificadas, utilizando métodos y técnicas de la estadística experimental.

## Temas por tratar

1. Conceptos generales de investigación en campo
  - 1.1 ¿Por qué experimentar?
  - 1.2 ¿Qué es un experimento?
2. Hipótesis en experimentación
  - 2.1 ¿Qué son las hipótesis?
  - 2.2 Condiciones que debe cumplir una hipótesis
  - 2.3 Estructura de las hipótesis
3. Estadística experimental: conceptos básicos
  - 3.1 Tratamiento
  - 3.2 Unidad experimental
  - 3.3 Repetición
  - 3.4 Error experimental
  - 3.5 Aleatorización
  - 3.6 Análisis de varianza
  - 3.7 Hipótesis por probar
  - 3.8 Estructura del análisis
  - 3.9 Estadístico
  - 3.10 Proceso de investigación



## Actividades

### Actividad de apoyo 1

#### Conceptos generales de investigación en campo

Leer el Capítulo 1 del texto técnico, y complementar esta lectura con la del artículo "El experimento", que se consigue en la siguiente dirección:

<http://www2.uiah.fi/projekti/metodi/263.htm>

Con base en estas lecturas, responder a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la importancia de la investigación agropecuaria?. Elaborar un ensayo escrito, de una página, sobre las hipótesis.

## Actividad de apoyo 2

### Conceptos básicos para la estadística experimental

Leer el Capítulo 2 del texto técnico, y complementar esta lectura con la del Capítulo 1, "El diseño de experimentos y la metodología científica", de la bibliografía No. 3: Martínez, R. y Martínez, N. (1997).

Una vez afianzado los conceptos desarrollados ahí, responder en grupo el siguiente cuestionario:

1. ¿Qué se busca con la estadística experimental?
2. ¿Qué es un tratamiento?
3. ¿Por qué se requieren las repeticiones en la experimentación?
4. ¿Qué se busca con la aleatorización de los tratamientos?
5. ¿En qué consiste el análisis de varianza?



## Unidad de aprendizaje 2

Ejecutar el montaje de los ensayos en una finca palmera, bajo el diseño experimental propuesto.

### RESULTADOS DE APRENDIZAJE

- Determinar las características técnicas del material experimental que son pertinentes de utilizar en los diseños experimentales.
- Aplicar, en el campo o en el laboratorio, los diseños experimentales básicos propuestos.
- Utilizar las estructuras factoriales que pueden ser aplicadas en los diseños experimentales.

## Presentación

Diseñar un experimento significa planearlo de modo que reúna la información pertinente al problema bajo investigación. Es prever la secuencia completa de pasos para que los datos apropiados se obtengan de modo que permitan un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas respecto del problema establecido.

La necesidad de un diseño de experimento surge de la necesidad de responder a las preguntas como las siguientes:

- ¿Cómo se va a medir el efecto?. O ¿cuáles son las características a analizar?
- ¿Qué factores afectan las características que se van a analizar?
- ¿Cuáles son los factores que se estudiarán en esta investigación?
- ¿Cuántas veces deberá ejecutarse el experimento?
- ¿Cuál será la forma de análisis?
- ¿A partir de que valores se considera importante el efecto?

El objetivo de un diseño de experimentos es proporcionar la máxima cantidad de información pertinente al problema bajo investigación, y debe ser tan simple como sea posible.

## Temas por tratar

1. Requisitos base para diseñar experimentos
  - 1.1 Material experimental
  - 1.2 Factores de estudios
  - 1.3 Control local
2. Diseños experimentales básicos
  - 2.1 Diseño Completamente al Azar
  - 2.2 Bloques Completos al Azar
  - 2.3 Experimentos con Estructura Factorial
3. Pruebas de comparación múltiple
  - 3.1 Diferencia Mínima Significativa
  - 3.2 Prueba de Duncan
  - 3.3 Prueba de Tukey
  - 3.4 Prueba de Dunnet



### Actividad de apoyo 3

#### Requisitos base para diseñar experimentos

Leer cuidadosamente la sección sobre los tres componentes básicos que se deben tener bien identificados antes de definir el diseño experimental por utilizar.

En la visita guiada a la finca palmera identificar, con sus conocimientos y sobre el terreno, el material experimental, los posibles factores de estudio y cuáles de estos factores requieren de control local.

**Material:** Paleógrafo, marcadores.

En el sitio, hacer una discusión grupal sobre los siguientes puntos:

- Los estudiantes pasan frente al grupo y escriben el material experimental encontrado en la finca. Una vez terminada la lista, hacen la sustentación de cada material escrito en el papelógrafo y establecen la diferenciación entre material experimental y unidad experimental.
- Los estudiantes pasan frente al grupo y escriben los factores de estudio encontrado en la finca. Una vez terminada la lista, sustentan cada factor escrito, y establecen la diferenciación entre factores de estudio y factores a controlar.

### Actividad de apoyo 4

#### Visita de un experimento en un diseño Completamente al Azar (CA)

Leer la sección sobre el diseño CA.

Con el apoyo del tutor y de los compañeros visitar un laboratorio o un invernadero donde se esté desarrollando un experimento.

Explorar el experimento con pensamiento estadístico, es decir, hacer preguntas de por qué se realizó en el invernadero, el problema a resolver, el objetivo que se busca con el experimento, cuáles son los tratamientos, cómo está conformada la unidad experimental, cómo se realizó la asignación de los tratamientos a las unidades experimentales y cómo se hace el registro de los datos observados.

**Material:** Tabla con pinza para sostener hojas, lápiz, borrador, tres lápices de colores diferentes.

Una vez finalizada la visita y en el sitio, los estudiantes resolverán el siguiente taller:

1. Nombre del ensayo
2. Problema a resolver
3. Objetivos
4. Tratamientos
5. Repeticiones
6. Variables de estudio
7. Pintar el plano de campo del experimento, indicando la ubicación de los tratamientos y sus repeticiones. Pintar el gradiente que obligó a hacer bloqueos y marcar su orientación.
8. Elaborar la estructura de la Anava: fuentes de variación y grados de libertad
9. Anotar unas observaciones generales que respondan a la siguiente pregunta: Desde su conocimiento de la estadística, ¿considera que el experimento estuvo bien o mal diseñado? Indicar por qué.

## Actividad de apoyo 5

### Análisis estadístico del CA

Completar la siguiente tabla de análisis de varianza, y con la tabla de valores críticos de F, determinar si existen diferencias entre los tratamientos:

FUENTE	GL	SC	CM	F (Calculado)	F (Tabla)
Tratamiento	3	5.489307			
Error	6	0.4981038			
Total					

Escribir las hipótesis estadísticas a probar.

**Material:** Calculadora, tabla de valores críticos de F. Lápiz y borrador.

## Actividad de apoyo 6

### Visita de un experimento en un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA)

Leer la sección sobre el diseño BCA.

Con el apoyo del tutor y de los compañeros visitar una finca palmera donde se esté desarrollando un experimento con este diseño.

Explorar el experimento con pensamiento estadístico, es decir, hacer preguntas de por qué se realizó en el campo y no en el invernadero, por qué se utilizó este diseño, el problema a resolver, el objetivo que se busca con el experimento, cuáles son los tratamientos, cómo está conformada la unidad experimental, cómo se realizó la asignación de los tratamientos a las unidades experimentales y cómo se hace el registro de los datos observados.

**Material:** Tabla para apuntes con pinza para sostener las hojas, lápiz, borrador, tres lápices de colores diferentes.

Una vez finalizada la visita y en el sitio: los estudiantes deben resolver el siguiente taller:

1. Nombre del ensayo
2. Problema por resolver
3. Objetivos
4. Tratamientos
5. Repeticiones
6. Variables de estudio
7. Pintar el plano de campo del experimento, indicando la ubicación de los tratamientos y sus repeticiones. Pintar el gradiente que obligó hacer bloqueo y marcar su orientación.
8. Elaborar la estructura de la Anava: fuentes de variación y grados de libertad.
9. Anotar unas observaciones generales que respondan a la siguiente pregunta: Desde su conocimiento de la estadística, ¿considera que el experimento estuvo bien o mal diseñado? Indicar por qué.

## Actividad de apoyo 7

### Análisis estadístico del BCA

Completar la siguiente tabla de análisis de varianza y, con la tabla de valores críticos de F, determinar si existen diferencias entre los bloques y entre tratamientos:

FUENTE	GL	SC	CM	F (Calculado)	F (Tabla)
Tratamiento	3	0.4818338			
Bloque	2	0.6131641			
Error	6	0.3800913			
Total					

Escribir las hipótesis estadísticas por probar.

**Material:** Calculadora, tabla de valores críticos de F, lápiz y borrador.

## Actividad de apoyo 8

### Pruebas de comparación múltiple

Leer cuidadosamente la sección sobre las pruebas de comparación múltiple del texto técnico, y complementarla con la lectura del Capítulo 4, "Metodologías de inferencias simultáneas y comparaciones múltiples" de la bibliografía No. 3: Martínez, R. y Martínez, N. (1997).

Una vez afianzados los conceptos, desarrollar en grupo el siguiente cuestionario:

1. ¿Cuándo se deben utilizar las pruebas de comparación múltiple?
2. ¿Cuándo se utiliza la DMS?
3. ¿Cuándo se utilizan Duncan y Tukey y cuál es la diferencia entre las dos?
4. ¿Cuándo se utiliza Dunnet?

## Actividad de apoyo 9

### Análisis de comparación múltiple de Tukey y Dunnet

Leer cuidadosamente la sección sobre las pruebas de comparación múltiple del texto técnico.

A partir de los siguientes datos, que corresponden a un experimento en el cual se probaron cuatro tratamientos (tres dosis y un testigo) en un diseño BCA, realizar las siguientes actividades:

👉 La prueba de comparación múltiple de Tukey:

FUENTE	GL	SC	CM	F (Calculado)	F (tablas)
Tratamiento	3	4.0457356	1.3485785	7.01	
Bloque	2	0.0310091	0.0155045		
Error	6	1.1545927	0.1924321		
Total	11	5.2313374			

Escribir las letras que conforman los grupos de tratamientos.

TRATAMIENTO	MEDIA	GRUPO
Tratamiento 1	0.333	
Tratamiento 2	1.000	
Tratamiento 3	1.167	
NO-TRATADO	5.333	

Comparar el Tratamiento 1 contra el tratamiento testigo.

**Material:** Calculadora, tabla de valores críticos de F, Tabla de Tukey 5% de probabilidad, Tabla de Dunnet al 5% de probabilidad, lápiz y borrador.



## Unidad de aprendizaje 3

Procesar datos generados en ensayos de campo, de vivero o de laboratorio, utilizando *software* aplicativo.

### RESULTADOS DE APRENDIZAJE

- Aplicar la estructura de la tabla de análisis de varianza para cada uno de los diseños experimentales básicos.
- Conformar archivos de datos provenientes de un diseño experimental.
- Ejecutar programas para construir una tabla de análisis de varianza.

### Presentación

Se conoce como *software* aplicativo aquel que permite a los usuarios llevar a cabo una o varias tareas específicas en cualquier campo de actividad. Entre este tipo *software* se encuentra el Microsoft Office.

El aplicativo que utilizaremos es la de hoja de cálculo Excel Office, por ser específica para el manejo de datos y porque cuenta con un módulo orientado al análisis estadístico de datos que es amigable con el usuario, al presentar las opciones en un menú para ser escogidas de acuerdo con lo requerido.

Con este *software*, se pueden realizar las tablas de análisis de varianza para los diseños completamente al azar, bloques completos al azar y la tabla de análisis de varianza para una arreglo de tratamientos con estructura factorial dentro del diseño completamente al azar.

## Temas por tratar

1. Manejo de *software* aplicativo
  - 1.1 Cargar el programa complemento de herramientas para análisis datos de la hoja electrónica excel
2. Análisis de varianza
  - 2.1 Análisis de varianza para un solo factor
  - 2.2 Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo
  - 2.3 Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo



## Actividades

### Actividad de apoyo 10

#### Manejo de *software* aplicativo

Leer cuidadosamente la introducción del Capítulo 4 del texto base, sobre la herramienta de análisis de datos.

**Material:** Computador que disponga de la hoja electrónica excel, versión 97-2003 en adelante.

Tras encender el computador e ingresar a la hoja de excel, verificar si tiene instalada la herramienta para análisis de datos. Si la tiene instalada, desarrollar los siguientes temas:

1. ¿En qué pestaña de la cinta de opciones se indica la instalación?
2. Escribir tres funciones de las que continene la función de análisis de datos.

Si no está instalada la herramienta para análisis de datos, realizar los pasos 1 a 4 de la introducción del Capítulo 4. Para verificar el logro la instalación, desarrollar los siguientes temas:

1. ¿En qué pestaña de la cinta de opciones aparece la instalación?
2. Escribir las tres primeras funciones que aparecen en la función de análisis de datos.

### Actividad de apoyo 11

#### Análisis de varianza

Leer cuidadosamente el tema de análisis de varianza para un solo factor, y realizar la tabla de análisis de varianza para los siguientes datos provenientes de un diseño CA:

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
27,80	23,67	19,40	31,33
23,31	22,01	32,29	27,38
27,73	19,16	31,49	29,17
28,43	20,23	31,09	28,11
13,82	18,28	36,98	30,96
29,32	20,91	32,52	31,32
26,01	17,24	24,33	27,51
28,56	19,25	16,94	28,05
30,90	20,35	22,53	25,00
20,98	18,14	30,47	21,94
19,76	11,28	16,93	18,93
12,81	9,98	17,64	11,55
19,17	8,68	20,49	18,19
17,41	11,25	22,05	16,39
18,95	7,74	11,51	20,04
24,05	22,68	27,29	22,08
33,40	17,34	27,32	28,83
27,25	24,92	17,31	21,97
32,95	16,29	26,55	24,68
23,50	20,13	25,66	23,96

**Material:** Computador que disponga de la hoja electrónica Excel, versión 97-2003 en adelante.

Una vez realizado el análisis en el computador; escribir un informe en Word que contenga los siguientes elementos:

1. Número de tratamientos
2. Número de repeticiones por tratamiento
3. Tabla de análisis de varianza
4. Promedios de los tratamientos
5. Varianzas de los tratamientos

## Actividad de apoyo 12

Leer cuidadosamente el tema de análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar, y realizar la tabla de análisis de varianza para los siguientes datos:

TRATAMIENTOS	BLOQUE	PESO
NO-TRATADO	1	21,0
NO-TRATADO	2	19,0
NO-TRATADO	3	22,5
TRATAMIENTO A	1	8,0
TRATAMIENTO A	2	7,5

TRATAMIENTOS	BLOQUE	PESO
TRATAMIENTO A	3	8,5
TRATAMIENTO B	1	8,0
TRATAMIENTO B	2	10,5
TRATAMIENTO B	3	8,0
TRATAMIENTO C	1	8,0
TRATAMIENTO C	2	14,0
TRATAMIENTO C	3	9,5

**Material:** Computador que disponga de la hoja electrónica Excel, versión 97-2003 en adelante.

Una vez realizada el análisis en el computador; escribir un informe en Word que contenga los siguientes elementos:

1. Tabla de análisis de varianza
2. Promedios varianzas de los tratamientos
3. Promedios y varianzas de los bloques



lidades, herramientas y técnicas estadísticas para la experimentación en campo, invernadero o laboratorio en la empresa palmera. Con un enfoque de planificación y gestión de las actividades y recursos necesarios para hacer investigación científica. Se estudian los conceptos de experimentación, estadística experimental, diseños experimentales, técnicas para hacer pruebas de comparación de medias y un análisis de varianza basado en la herramienta que ofrece excel.

ISBN: 978-958-8616-34-6



9789588616346