

# **Nociones y fundamentos estadísticos en la investigación Agrícola**

Felipe de Mendiburu D.

CIP-LIMA

8 Setiembre 2006

# Contenido

- 1. La investigación y el diseño de experimentos.**
2. Principios basicos de experimentación
3. Diseños y Tipos de experimento
4. Análisis exploratorio de datos experimentales
5. Análisis del error experimental.
6. Análisis de variancia y comparaciones multiples.
7. Análisis de diseño Mama-Bebe

## ¿Porque Investigar?

Casos sobre la incidencia de plagas, enfermedades sobre el rendimiento del cultivo, efecto del suelo, agua y nutrientes modifican de alguna forma el comportamiento del cultivo, tambien las labores culturales pueden o no favorecer en la produccion.

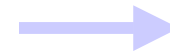
**Situaciones que deben ser estudiados con la experimentación por su importancia en la produccion del cultivo.**

## ¿Porqué diseñar el experimento?

**En primer lugar el investigador se formula una serie de preguntas, que espera tener respuesta al iniciar, conducir y al culminar el experimento, por ejemplo:**

¿Cómo medir el efecto de estudio?,

¿Cuáles serán las características a analizar?



## DISEÑO EXPERIMENTAL

El Diseño es una etapa fundamental de la experimentación,

Experimentación comprende toda investigación científica que se realiza por la repetición del mismo.

El diseño comprende la forma de aplicar los tratamientos a las unidades experimentales.

**Mediante un modelo estadístico se cuantifica la variación debido a factores controlables y no controlables.**

## ¿Porqué diseñar el experimento?

¿Qué factores deben estudiarse?.

¿Cuántas veces debe realizar experimentos preliminares antes de conducir un experimento formal?.

¿Cuál sería el modelo de estudio para los datos del experimento?.

## Diseños más conocidos

Completo al azar,  
Diseños de bloques,  
Cuadrado latino,  
Parcelas divididas,  
Bloques divididos, etc.

**En campo de agricultores puede planearse los diseños de bloques o diseños con balance incompleto, grupos balanceados, aumentados, etc**

¿Qué objetivo debe lograr el investigador al diseñar el experimento?.

Conseguir toda la información relacionada al problema en estudio.

Lograr un diseño simple y eficiente como sea posible.

Optimizar los recursos de tiempo, dinero, personal y material experimental



# DISEÑO

## EXPERIMENTAL

**El tema del diseño experimental ha recibido siempre mucha atención**

El investigador dispone de nuevos métodos estadísticos para la solución de los problemas.

**Los problemas involucran las condiciones del campo en área experimental y en campo de agricultores, laboratorio e invernadero.**

Mediante el uso de diseños y análisis estadístico apropiado, las decisiones son confiables

## Avance en la investigación

Gran parte del progreso reciente en la teoría y aplicación del diseño y análisis de datos se suman al esfuerzo para satisfacer las necesidades en la investigación agrícola o biológica y también otros campos de la investigación.

**Los principios básicos del diseño experimental, según se comprende, fueron desarrollados por:**

R. A. Fisher

y sus asociados en el Rothamsted Experimental Station en Inglaterra.

# Contenido

1. La investigacion y el diseño de experimentos.
2. Principios basicos de experimentacion
3. Diseños y Tipos de experimento
4. Analisis exploratorio de datos experimentales
5. Analisis del error experimental.
6. Analisis de variancia y comparaciones multiples.
7. Analisis de diseño Mama-Bebe

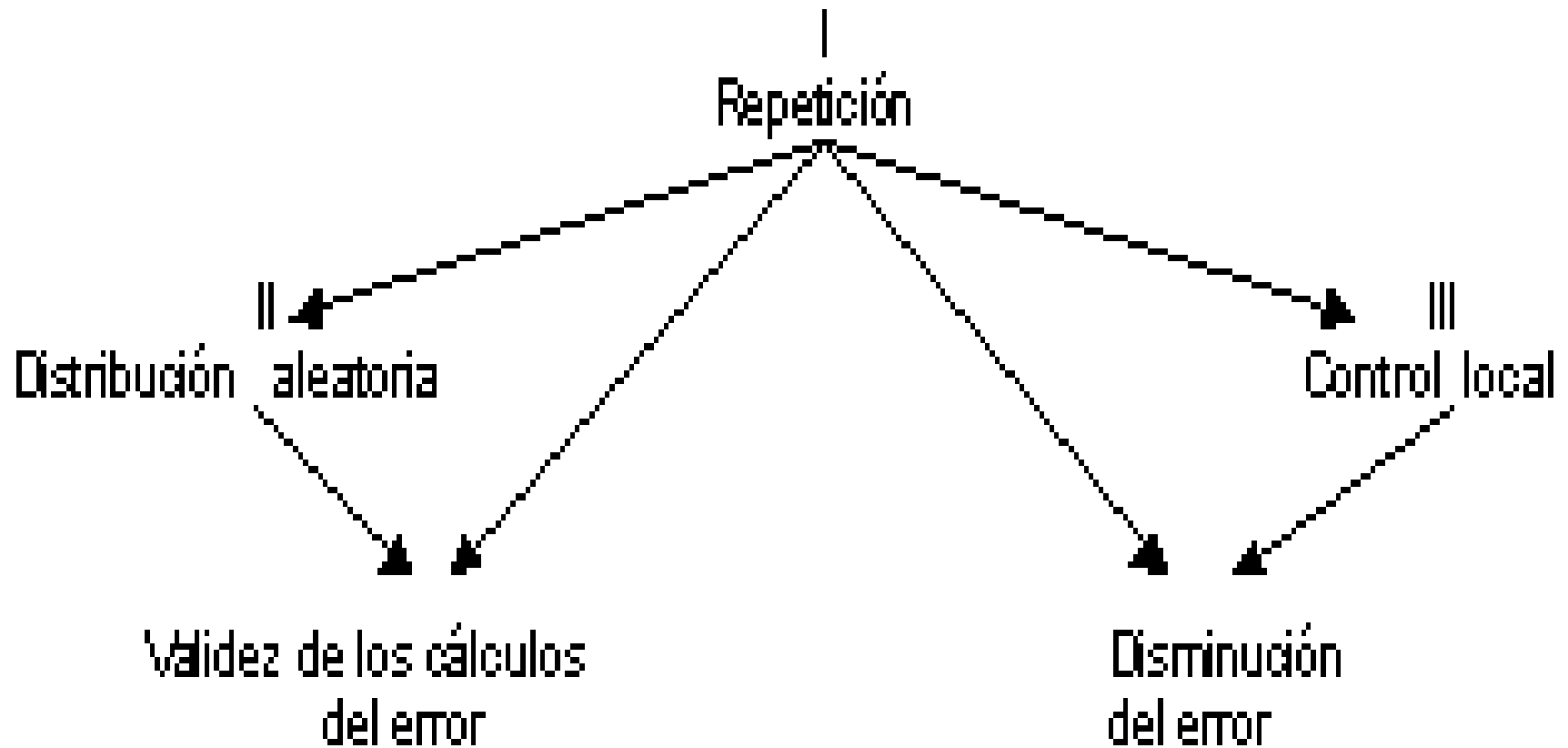
## Los tres principios básicos

1. la randomización,
2. la repetición y
3. lo que denominó “control local”.

---

**Es de vital importancia para el investigador comprender la lógica de estos principios para diseñar experimentos eficaces**

## Fisher ilustra las relaciones generales



## Randomización

El principio de la randomización es único en la experimentación moderna.

Según manifiesta Fisher, la randomización de los elementos a experimentar es esencial para la validez del error experimental y reducir al mínimo el sesgo en los resultados.

También es una condición necesaria para el cumplimiento de supuesto respecto a las probabilidades asociadas con afirmaciones fiduciarias y pruebas de hipótesis.

## ¿porque el arreglo aleatorio?

**Para justificar el arreglo aleatorio de las parcelas en los experimentos del campo, Fisher declara que los ensayos de uniformidad han establecido que la fertilidad del suelo no esta distribuido aleatoriamente, las parcelas vecinas tienden a ser parecidas que aquellas mas distantes.**

**Es más, la distribución de fertilidad del Suelo rara vez o nunca esta sistemáticamente distribuida que podría representarse por una fórmula matemática**

## **Importancia del Error**

**El cálculo del error experimental depende de las diferencias de parcelas tratadas en forma similar.**

**Tal cálculo será válido solo cuando pares de parcelas tratadas por igual no están tan cerca ni tan lejos que los pares de parcelas tratadas de otro modo.**

**En general el principio de la randomización de las parcelas del campo es un requisito fundamental en el diseño de los experimentos**



## **Repetición**

**La heterogeneidad del suelo es la principal fuente de error en los experimentos de campo.**

**Teóricamente, la heterogeneidad de suelo puede superarse hasta cierto punto mediante la repetición.**

Es evidente que la repetición funciona para:

1. Proveer un cálculo de la magnitud del error al cual se someten las comparaciones
2. Disminuir el error experimental.

En lo que se refiere a la primera función de la repetición, las diferentes variedades o tratamientos en el experimento deben organizarse aleatoriamente para satisfacer la base matemática para un cálculo del error.

## **Importancia de las repeticiones:**

La segunda función de la repetición es la disminución del error, puede llevarse a cualquier grado de precisión, a condición de que un número suficiente de repeticiones se use junto con el control local.

## Efecto de las repeticiones

La variación de cualquier comparación de tratamientos disminuye directamente con un aumento del número de repeticiones.

El error estándar es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del número de repeticiones u observaciones, vale decir,

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

## ¿ Cuántas repeticiones se debe tener ?.

Naturalmente el investigador quiere usar un número suficiente de repeticiones para lograr resultados confiables así como medir satisfactoriamente las diferencias.

Es imposible determinar el número exacto de repeticiones necesarias para los experimentos.

## Algunas sugerencias para el número de repeticiones

El número de repeticiones requeridas en los experimentos depende de tales factores como costo, trabajo, variabilidad del material, el tamaño probable de las diferencias de promedios y el nivel de significación deseada.

En general, es imprudente usar menos de cuatro o cinco repeticiones en los experimentos de campo.

## Una regla Util.

Considerar por lo menos **10 grados de libertad en el error experimental**. Sin embargo, debe reconocerse que hay límites prácticos más allá de los cuales el costo y la cantidad de trabajo incluido por un mayor número de replicaciones nos da una ganancia proporcional en la precisión.

## La repetición y tamaño de parcela

Están estrechamente relacionadas, ya que una reducción del tamaño parcela permite un mayor número de parcelas en un área dada.

**El tamaño de parcela también está relacionado al error experimental.**



## **Control local**

**Un principio adicional del diseño experimental se llama el control local.**

**En el arreglo aleatorio de los tratamientos de un experimento, ciertas restricciones pueden invocarse para eliminar en parte la variación total que son irrelevantes al hacer las comparaciones**

## Indice de heterogenidad del suelo (b) (Smith's Index of Soil Heterogeneity)

$$V_x = \frac{V_1}{x}$$

$$V_x = \text{SC}(\text{unidades basicas juntadas}) / x^2$$

$x$  = numero de unidades basicas juntadas.

$$V_1 = \text{SC}(\text{unidades basicas})$$

(b) el índice de heterogeneidad del suelo dado por Smith's se utiliza sobre todo para derivar tamaño óptimo de la parcela.. El índice da un solo valor como medida cuantitativa de heterogeneidad del suelo en un área. El valor del índice indica el grado de correlación entre las parcelas experimentales adyacentes. Su valor varía entre 0 y 1. Cuanto más grande es el valor del índice, más baja es la correlación entre las parcelas adyacentes, indicando que los puntos fértiles están distribuidos aleatoriamente

## Sugerencias de control local

El error experimental se controla más adecuadamente a través de la división del sitio para un experimento en campo, en varias áreas iguales denominados “bloques”.

En los experimentos sencillos cada bloque o repetición debe contener el mismo número de parcelas en donde las variedades o tratamientos a comparar se distribuyen de una manera aleatoria.

## Implicancia del control local

El error experimental se reduce al mínimo debido al hecho de que la variación entre la parcela producido sobre el experimento es una parte cuantificable por las diferencias de los bloques.

Las diferencias entre las parcelas de un mismo tratamiento se deben en parte al error experimental y también al promedio de la diferencia entre las repeticiones.

Por consiguiente, la variación debida a las repeticiones se quita en general del error experimental.

## **Sobre la precisión.**

Es mayor cuando una cantidad grande de la variabilidad del total se quita por el control local.

**Hay muchos diseños de experimentos que incluyen arreglos diferentes de las parcelas, el más sencillo es el diseño de bloques y los arreglos cuadrados latinos aleatorizados**

# Contenido

1. La investigacion y el diseño de experimentos.
2. Principios basicos de experimentacion
3. Diseños y Tipos de experimento
4. Analisis exploratorio de datos experimentales
5. Analisis del error experimental.
6. Analisis de variancia y comparaciones multiples.
7. Analisis de diseño Mama-Bebe

## TIPOS DE EXPERIMENTOS

Los experimentos pueden clasificarse en varios tipos, basado en el número de factores o variables a estudiar en el momento. Un experimento formal es a veces precedido por una prueba preliminar.

- Pruebas preliminares
- Experimentos con un factor
- Experimentos con varios factores

## Pruebas preliminares

Todas las pruebas preliminares son empíricas por naturaleza.

Estas pruebas brindan una oportunidad de detectar técnicas defectuosas, métodos inadecuados, etc.

Una encuesta a veces se usa para una prueba preliminar.



## Usos de los experimentos preliminares

La información adquirida en estas pruebas forma una base para los diseños más eficaces de los experimentos formales.

**Por lo tanto, el experimento formal puede planificarse para eliminar muchas de las deficiencias observadas en la prueba preliminar para reducir el error experimental en los experimentos posteriores**

## **Experimentos con un factor**

Estos experimentos son los más usados por los investigadores. Es sumamente recomendado debido a su sencillez. En estos experimentos otros factores se mantienen constantes o uniformes, en lo posible.

**Estos experimentos son justificados cuando el tiempo, el material o equipo son limitados**

## Algunos usos

Por ejemplo, un experimento puede ser determinar la mejor variedad de un cultivo,

otro podría estar diseñado para determinar cual es el mejor fertilizante para un cultivo en una localidad,

Otra para determinar las mejores prácticas culturales

## **Limitación de estos experimentos.**

**La información obtenida a partir de tales experimentos separados sería de utilidad limitada porque el investigador no podía determinar las interacciones posibles,**

**Es decir la interdependencia de los diferentes factores de variedad, fertilizante y prácticas culturales**

## Experimentos con mas de un factor

La experimentación factorial se debe principalmente a R. A. Fisher.

**En este tipo de diseño, dos o más factores pueden compararse en todas las combinaciones posibles con sus varios niveles.**

## Implicancia del factorial

Por lo tanto, los resultados obtenidos no solo es la respuesta de los diferentes factores, sino también al mismo tiempo de las interacciones, es decir, la manera en que un cambio en un factor influye un cambio en otro.

**Es evidente que el experimento factorial combina dos o más experimentos sencillos de un factor en un solo experimento**

## **Ventajas del Factorial**

**Hay dos ventajas del experimento factorial sobre los experimentos de un factor,**

**vale decir,**

**mayor eficiencia y**

**mayor alcance,**

**Ventajas adicionales son las interacciones.**

## **Ejemplos de los experimentos factoriales**

- a) la relación de varios fertilizantes y densidades de siembra,
- b) la relación entre los clones y localidades, etc.

**Los experimentos factoriales constituyen un progreso muy importante en el desarrollo de los diseños de experimentos**



## RELACIÓN DE TIPO DE EXPERIMENTO CON EL DISEÑO

Cada problema de investigación presenta limitaciones para considerar el diseño experimental apropiado. Sin embargo, una regla práctica es usar el diseño más sencillo que satisface los requisitos del experimento.

**El completo al azar, el bloque completo y en menor grado el cuadrado Latino son aplicados en campo, desde luego, esto no indica que los diseños más complejos se usan raramente.**

## **Pruebas de rendimiento**

Programas de mejoramiento de cultivos requieren la determinación de la capacidad de producción de las variedades superiores bajo diferentes condiciones ambientales (suelo, clima, altitud, etc).

En consecuencia, la prueba de variedades es probablemente el tipo más común de experimentos de campo.

## Otras pruebas de rendimiento

Las pruebas de tratamiento de semillas pueden combinarse con densidad de siembra.

El control de enfermedades experimenta frecuentemente las clases de productos químicos y su dosis.

Al rociar y espolvorear químicos en el material experimental se debe considerar el efecto derivado de los productos químicos.

## ¿cómo tratar experimentos con muchos tratamientos?

En el trabajo de mejoramiento de plantas, con frecuencia es necesario probar un número grande de variedades o selecciones en un solo experimento.

En tales condiciones el bloque completo aleatorizado no ejerce control suficiente sobre el error experimental. En estos casos, se recomienda el uso de diseños de grupos con bloques incompletos (látices, diseños cíclicos, Aumentados, etc.)

# **Ficha de registro de la investigación por experimentación.**

## **Identificación**

Título:

Investigador:

Institución:

## **Descripción de la investigación:**

Objetivo de la investigación:

Cultivo u otro:

Lugar del experimento:

Fecha inicio y termino:

Datos climaticos:

(Temperatura, Precipitacion, humedad, radicacion solar, vientos,etc.)

## Descripción del experimento

Diseño Experimental:

Factor(s) (tratamientos):

Variables de estudio:

Unidades de medida de la(s) variable(s) de estudio

Unidad experimental (si es posible indicar el tamaño):

Ejemplos:

En cultivo: area ( $m^2$ ), masetas, plantas, placas, cajas, etc.

En animales: numero, corral, pecera, jaula, etc.

Numero de repeticiones del experimento:

## **TIPO DE EXPERIMENTO**

---

### **Pruebas preliminares**

Deteccion de metodos inadecuados

Tecnicas defectuosas

Base para experimentos formales

Reducir el error

---

### **Experimentos con un Factor**

Completo al azar

Bloques

Cuadrado latino

---

### **Experimentos con muchos factores**

Factoriales

Parcelas divididas

Bloques divididos

Experimentos repetidos

Experimentos con agricultores

## RELACION TIPO DE EXPERIMENTO Y DISEÑO

### **Pruebas de rendimiento**

Variedades en diferentes ambientes  
Densidades y fechas de siembra

### **Pruebas con fertilizante y culturales**

Busqueda de ciertas dosis  
Efecto tiempo sembrado y dosis fertilizante

### **Pruebas en Pastizales**

Supervivencia  
Manejo del pastizal  
Mezclas por area producida.]

### **Rotación de cultivos**

Mejor combinacion o secuencia  
Efectos en el suelo  
Control de plagas e insectos.

### **Experimentos con cultivos perennes**

Efecto asociados a cultivos anuales  
Produccion de frutales  
Estudio de barbecho en produccion de un cultivo.



## Diseño Completo al Azar o de una via (DCA)

**Aleatorización:** Completa, en todas las unidades  
**Repetición:** Igual o diferente por tratamiento  
**Control Local:** Todo el material debe ser homogéneo

**Ejemplo:**

**3 Fertilizantes, 5 repeticiones**





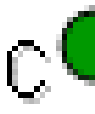




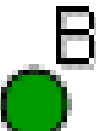



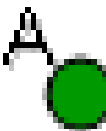

---

### Fuentes de Variación y Grados de libertad

Fertilizante	$t-1$	2
Error	$t(r-1)$	12
Total	$tr - 1$	14

**Hipotesis Nula: Efecto de nulidad del fertilizante**

# Diseno Experimental DCA

## **Diseño de Doble Via**

Aleatorización: **Completa, en cada barbecho**

Repetición: **Barbecho, igual**

Control Local: **Material debe ser homogéneo solo difieren por el efecto del barbecho**

**Util cuando la interacción es mínima**

**Distribución en el campo:**

**5 Barbechos y 4 fertilizantes**

### **Fuentes de Variación y Grados de libertad**

<b>Barbecho</b>	<b>b-1</b>	<b>4</b>
<b>Fertilizante</b>	<b>t-1</b>	<b>3</b>
<b>Error</b>	<b>(b-1)(t-1)</b>	<b>12</b>
<b>Total</b>	<b>bt - 1</b>	<b>19</b>

**Hipotesis Nula: Efecto de nulidad del fertilizante y del barbecho**

## Diseño Experimental con Barbechos y Fertilizantes

<b>Barbecho 1</b>	F1	F2	F4	F3
<b>Barbecho 2</b>	F3	F1	F3	F4
<b>Barbecho 3</b>	F2	F4	F1	F3
<b>Barbecho 4</b>	F4	F3	F2	F1
<b>Barbecho 5</b>	F3	F2	F4	F1

## Diseño de Bloques completos al azar

**Aleatorización:** Completa, en cada bloque

**Repetición:** Bloques

**Control Local:** Material homogéneo por bloque.

**Util cuando el material es heterogéneo**

**Caso:** 4 tratamientos (3 especies maderables y 1 leguminosa) como sombra para un cacaotal, se mide el DAP y rendimiento.

### Fuentes de Variación y Grados de libertad

Bloques	$r-1$	4
Especies	$t-1$	3
Error	$(r-1)(t-1)$	12
Total	$rt - 1$	19

**Hipotesis Nula:** Efecto de nulidad de la especies

## Diseño Experimental con 3 especies maderables y 1 leguminosa en Bloques

<b>Bloque 1</b>	<b>Leg</b>	<b>E1</b>	<b>E3</b>	<b>E2</b>
<b>Bloque 2</b>	<b>E3</b>	<b>Leg</b>	<b>E2</b>	<b>E1</b>
<b>Bloque 3</b>	<b>E2</b>	<b>E1</b>	<b>Leg</b>	<b>E3</b>
<b>Bloque 4</b>	<b>E1</b>	<b>Leg</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>
<b>Bloque 5</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E1</b>	<b>Leg</b>

## DISEÑO CUADRADO LATINO

Aplicable en el campo con doble pendiente. El diseño consiste en formar un cuadrado de n filas por n columnas.

Aleatorización: **Por fila y columna al azar**

Repetición: **Constituye las filas o columnas**

Control Local: **Material se agrupa en dos direcciones perpendiculares.**

**Cuadros estandar de 4 tratamientos:**

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

## Total de cuadrados latinos

Tamaño del cuadrado	Numero de Formas típicas	Valor de $n!(n-1)!$	Número total de cuadrados
3 x 3	1	12	12
4 x 4	4	144	576
5 x 5	56	2880	161280
6 x 6	9408	86400	812851200

n = tamaño del cuadro

Fuentes	Gl	Ejemplo
Filas	$n-1$	3
Columnas	$n-1$	3
Tratamientos	$n-1$	3
Error	$(n-1)(n-2)$	6
Total	$n^2 - 1$	15



## **Experimentos con factoriales.**

Son combinaciones de factores (nitrógeno, fósforo, variedades, sustancias, niveles de concentrado, etc.) para formar tratamientos

La información que proporciona el análisis de un factorial es amplia:

permiten comparar los niveles de cada factor entre sí y sus interacciones

### **4 formas posibles en la combinación de factores:**

1. Todos están cruzados
2. A cruzado, B y C anidado
3. A y C cruzados y B anidado
4. A y B Cruzado y C anidado

## 4 Modelos en la formación de Factoriales

	a1				a2			
1	b1		b2		b1		b2	
	c1	c2	c1	c2	c1	c2	c1	c2
	a1				a2			
2	b1		b2		b3		b4	
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
	a1				a2			
3	b1		b2		b3		b4	
	c1	c2	c1	c2	c1	c2	c1	c2
	a1				a2			
4	b1		b2		b1		b2	
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8

## Fuentes de variación para los casos 1 y 2 presentados:

### Caso 1.

<u>Fuentes</u>	<u>GI</u>
A	$a-1$
B	$b-1$
C	$c-1$
AB	$(a-1)(b-1)$
AC	$(a-1)(c-1)$
BC	$(b-1)(c-1)$
ABC	$(a-1)(b-1)(c-1)$
Error	$(r-1)abc$
Total	$rabc - 1$

### Caso2

<u>Fuentes</u>	<u>GI</u>
A	$a-1$
B(A)	$(b-1)a$
C(AB)	$(c-1)ab$
Error	$(r-1)abc$
Total	$rabc - 1$

## Fuentes de variación para los casos 3 y 4 presentados:

### Caso 3

<u>Fuentes</u>	<u>Gl.</u>
A	a-1
B(A)	(b-1)a
C	c-1
AC	(a-1)(c-1)
B(A)C	(b-1) a (c-1)
Error	(r-1)abc
Total	rabc-1

### Caso4

<u>Fuentes</u>	<u>Gl</u>
A	a-1
B	b-1
C(AB)	(c-1)ab
AB	(a-1)(b-1)
Error	(r-1)abc
Total	rabc-1

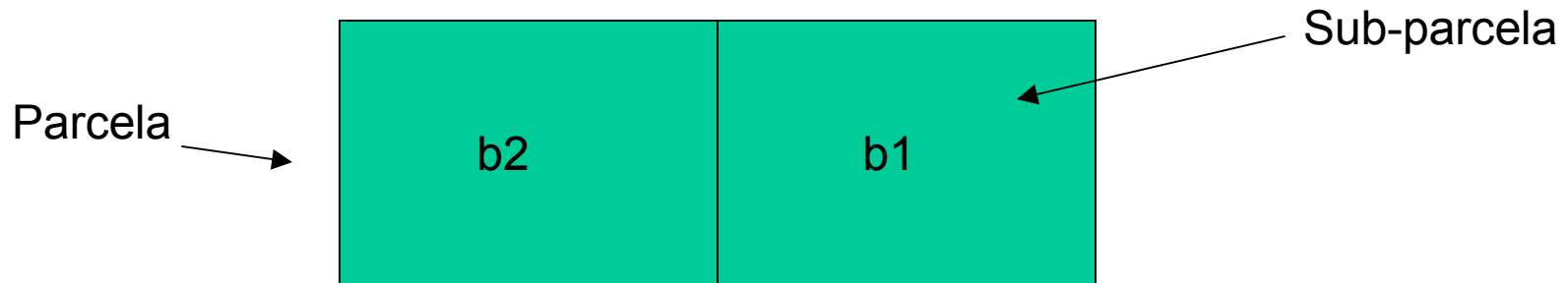
## DISEÑO EN PARCELA DIVIDIDA (SPLIT-PLOT)

Se aplica 2 factores A y B, uno en parcela y otro en subparcela

Aleatorización: **El Factor A se aplica al azar segun diseño (DCA, DBCA o DCL) en Parcelas y Factor B siempre al Azar en subparcelas.**

Repetición: **igual o diferente segun el diseñ. Las parcelas definen las repeticiones**

Control Local: **Las parcelas se dividen en subparcelas un numero igual a los niveles del factor B**



## Diseño Split-Plot (Parcelas divididas en DCA )

a1		a2		a1	
b1	b2	b2	b1	b2	b1

a3		a1		a2	
b2	b1	b2	b1	b1	b2

a2		a3		a2	
b1	b2	b1	b2	b2	b1

a3		a3		a1	
b2	b1	b2	b1	b1	b2

## Características del diseño Split-Plot:

**El control local** se realiza en las parcelas, estas deben ser tratadas de acuerdo al tipo de diseño (Completo al azar, Bloques, Latino, etc.), Estas deben ser divididas en subparcelas, un numero igual a los niveles de B.

**La aleatorización** debe realizarse en dos fases, en las parcelas grandes con el factor A de acuerdo al diseño utilizado, y en las subparcelas el factor B se aplica completamente al azar.

**Respecto a las repeticiones**, las parcelas grandes constituyen las repeticiones del experimento, y deben ser un numero tal que los grados de libertad del error(a) tengan un valor considerable, por ejemplo no menor de 10.

## **Algunos criterios para asignar los factores A y B en Split-Plot.**

El factor A siempre se aplica a parcelas grandes o en gran escala

El factor B el que se suministra a pequeña escala.

El factor B es mas importante en es estudio.

El factor A esta confundido con las diferencias de los bloques incompletos formado por el factor B.



## Distribucion de los grados de libertad Parcelas divididas (Split-plot)

### DCA.

<u>Fuentes</u>	<u>G.L.</u>
A	a-1
Error(a)	a(r-1)
B	b-1
AB	(a-1)(b-1)
Error(b)	a(b-1)(r-1)
Total	abr-1

### En Bloques

<u>Fuentes</u>	<u>G.L.</u>
Bloques	r-1
A	a-1
Error(a)	(a-1)(r-1)
B	b-1
AB	(a-1)(b-1)
Error(b)	a(b-1)(r-1)
Total	abr-1

## DISEÑO CON BLOQUES DIVIDIDOS (STRIP-PLOT)

Los factores A y B se aplica a gran escala

La interacción AB se estudia con mayor precisión.

Aleatorización: **El Factor A al azar por columnas y el factor B al azar en filas**

Repetición: **constituido por otra aleatorización de las filas y las columnas.**

Control Local: **Las parcelas se agrupan por filas y por columnas.**

**Ejemplo:** 4 niveles del factor A y 3 niveles del factor B. en 3 repeticiones.

	a4	a2	a3	a1
B2	A	X	Y	Z
	A	X	Y	Z
b3	A	X	Y	Z
	A	X	Y	Z
b1	A	X	Y	Z
	A	X	Y	Z

	a2	a1	a3	a4
b2	X	Z	Y	A
	X	Z	Y	A
b1	X	Z	Y	A
	X	Z	Y	A
b3	X	Z	Y	A
	X	Z	Y	A

	a4	a2	a1	a3
b3	A	X	Z	Y
	A	X	Z	Y
b2	A	X	Z	Y
	A	X	Z	Y
b1	A	X	Z	Y
	A	X	Z	Y

**El análisis y el diseño se ajusta a la siguiente distribución de los grados de libertad.**

<b>Fuentes</b>	<b>Gl</b>	<b>Ejemplo</b>
Bloques	$r-1$	2
A	$a-1$	3
Error (a)	$(r-1)(a-1)$	6
Total de parcelas en A	$ra - 1$	11
B	$b-1$	2
Error (b)	$(r-1)(b-1)$	4
Total de parcelas en B	$b(r-1)$	6
AB	$(a-1)(b-1)$	6
Error (c)	$(r-1)(a-1)(b-1)$	12
Total de subparcelas	$abr - 1$	35

## Experimentos repetidos en cultivos anuales

- ✓ En muchas ocasiones un experimento es repetido en mas de una vez en el mismo lugar, en diferentes lugar y en otras épocas.
- ✓ Generalmente es una política de una institución sobre la investigación realizada, mas que el interés propio de un investigador.
- ✓ Estas prácticas involucran personal, tiempo y terrenos disponibles para ello, además del costo que demanda.
- ✓ Sus resultados son a mediano o largo plazo.
- ✓ Cada experimento repetido, debe seguir su propia randomización, lo único que debe ser común, es el mismo diseño con un numero de tratamientos iguales y repeticiones.
- ✓ En Cultivos anuales, cada periodo es una nueva evaluación y las plantas cambian.
- ✓ Para un analisis conjunto, se realiza un combiando de los analisis de cada lugar y de cada epoca.

6 bloques y 4 tratamientos

### Analisis de un experimento

<b>Fuentes</b>	<b>GI</b>	<b>.</b>
Bloques	5	
Tratamientos	3	
Error	15	
Total	23	

### Combinado dos periodos en el lugar 1:

<b>Fuentes</b>	<b>GI</b>	<b>.</b>
Periodo	1	
Bloques(Periodo)	10 (error (a) )	
Tratamientos	3	
Tratamiento*periodo	3	
Error	30 (error (b))	
Total	47	

## El combinado completo:

<b>Fuentes</b>	<b>Gl</b>
Lugar	1
Bloque(lugar)	10 (error (a) )
Periodo	1
Lugar*periodo	1
Periodo*bloque(lugar)	10 (error (b) )
Tratamiento	3
Tratamiento *periodo	3
Tratamiento*lugar	3
Tratam.*periodo*lugar	3
<b>Error</b>	<b>60 (error (c) )</b>
Total	95

## Experimentos repetidos en cultivos perennes

En experimentos con cultivos perennes durante varios años.

Cada parcela se cosecha en años sucesivos y los tratamientos no cambian de posición.

La cosecha de una parcela como una sub-parcela y el total de cosechas de todos los años como una parcela y así se analiza el experimento como un modelo de parcelas divididas.

En este tipo de experimentos, no es necesario probar homogeneidad de variancia del error de todos los años.

### Analisis en una localidad y en un Periodo

<b>Fuentes</b>	<b>GI</b>
Bloques	5
Tratamientos	3
Error	15
Total	23

El combinado con el segundo periodo resulta:

<b>Fuentes</b>		<b>GI</b>
Tratamientos	3	
Bloques		5
Tratamientos*bloque	15	(error (a) )
Periodo	1	
Bloque *periodo	5	
Tratamiento*periodo	3	
Error	15	
Total	47	



Si el mismo diseño se realizo en otro lugar en los mismos periodos, entonces el combinado general es:

<b>Fuentes</b>	<b>Gl</b>
Lugar	1
Bloque(lugar)	10 (error (a) )
Tratamiento	3
Tratamiento*lugar	3
Tratamiento*bloque(lugar)	15 (error (b) )
Periodo	1
Lugar *periodo	5
Periodo*bloque(lugar)	10
Lugar*tratamiento*periodo	3
<b>Error</b>	<b>15 (error (c) )</b>
<b>Total</b>	<b>95</b>

## **Experimentos en campo de agricultores.**

La investigación en campos de agricultores son de dos tipos:

1. Para generar nuevas tecnologías
2. Para verificar tecnologías.

En ambos experimentos, los ensayos deben ser conducidos en mas de dos agricultores simultáneamente.

Una fuente de variación es el efecto del campo del agricultor.

Uno de los problemas en estos experimentos, es la selección del sitio, que debe ser lo mejor en términos de homogeneidad (pendiente, suelo, agua, clima, etc.).

## Si se va a realizar experimentos para generar tecnología,

La selección del sitio es primordial, y se sugiere lo siguiente:

1. Que características se midan y clasifique: clima, topografía, suelo, régimen de agua. y así sucesivamente.
2. Seleccione una área grande que satisfaga las características ambientales con rasgos homogéneos o varias pequeñas.
3. Finalmente, de cada agricultor, debe disponer de áreas lo más grande posible para que se adecuen al experimento y con mínima heterogeneidad del suelo.
4. Utilice tratamientos testigos con nivel 0.

## Diseño y análisis.

El numero de tratamientos a analizar debe ser pequeño.

Es deseable el mismo ensayo para todos los agricultores  
Las fuentes y grados de libertad que corresponde a este análisis es:

<b><u>Fuentes.</u></b>	<b><u>Grados de libertad</u></b>
Agricultores	$a-1$
Repetición (Agricultores)	$(r-1)a$
Tratamientos	$t-1$
Tratamientos x Agricultor	$(t-1)(a-1)$
Error Experimental	$(r-1)(t-1)a$
Total	$rta - 1$

## Con testigos.

4 agricultores, 4 tratamientos mas un testigo (t5)

<b>Fuentes.</b>	<b>Grados de libertad</b>
Agricultores	3
Repetición (Agricultores)	$3(r-1)$
Tratamientos	4
Tratamientos x Agricultor	(12)
(t5 vs otros) x agricultor	3
(t1, t2 vs t3, t4 ) x agricultor	3
(t1 vs t2) x agricultor	3
(t3 vs t4) x agricultor	3
Error Experimental	$16(r-1)$
Total	$20r - 1$

## Para verificación de tecnología,

### se debe considerar:

1. Mas agricultores que para prueba de generación.
2. No utilizar testigos con nivel 0.
3. Utilizar testigos, el nivel del agricultor.

Las pruebas deben ser a nivel del agricultor y no optimas como en la generación de tecnologías.

### Diseño y Análisis.

En general se debe aplicar un factorial  $2^k$ , son k factores o componentes, cada factor con dos niveles ( Nueva tecnología, tecnología del agricultor).

Si son 4 componentes la nueva tecnología, entonces el factorial es  $2^4 = 16$  tratamientos. En estos casos, se puede fraccionar el factorial a la mitad para tener solo 8 tratamientos, sacrificando las interacciones de mayor orden.

## Experimentos factoriales sin repetición.

En la mayoría de los investigadores están interesados en investigar los efectos de una variable de las variaciones conjuntas de muchos factores, sin embargo a medida que se adiciona mas factores, el experimento se hace muy grande imposible de conducirlo, en estos casos, lo recomendable es confundir efectos de interacción con el efecto de los bloques, este procedimiento reduce el numero de unidades experimentales.

### Principio de la Confusión.

Suponga que el factorial 2x2 se planea en 4 bloques, esto obligaría disponer de 16 unidades experimentales.

Si se examina los efectos del factorial 2x2 para ser evaluado por contrastes, se obtiene:

	<b>a1b1</b>	<b>a1b2</b>	<b>a2b1</b>	<b>a2b2</b>
<b>A</b>	-	-	+	+
<b>B</b>	-	+	-	+
<b>AB</b>	+	-	-	+

## Ejemplo:

Confundir la interacción AB:

	<b>a1b1</b>	<b>a1b2</b>	<b>a2b1</b>	<b>a2b2</b>
<b>AB</b>	+	-	-	+

Bloque I (+) con los tratamientos: **a1b1 a2b2**

Bloque II (-) con los tratamientos: **a1b2 a2b1**

En cada bloque se aleatoriza.

El investigador puede confundir las interacciones de menos interés. Si en un experimento se confunde un solo tipo de efecto se dice que es una confusión completa; por el contrario si se confunde más de una interacción se indica que la confusión es parcial.

No existe restricción en escoger las interacciones que se desea confundir.



## Procedimiento R para realizar diseños confundidos.

Requiere la biblioteca: **conf.design**

Valido solo para factorial **2n, 3 n, 4 n**, etc

Confundir la interaccion AB en el factorial **2x2**.

```
> library(conf.design)
```

```
> D22 <- conf.design(c(1,1), p=2, treatment.names=LETTERS[1:2])
```

```
> D22
  Blocks A B
1      0 0 0
2      0 1 1
3      1 1 0
4      1 0 1
```

Significa:

Bloque 0 con tratamientos (00) y (11)

Bloque 1 con tratamientos (10) y (01)

## Confundir la interaccion ABC en el factorial 2x3.

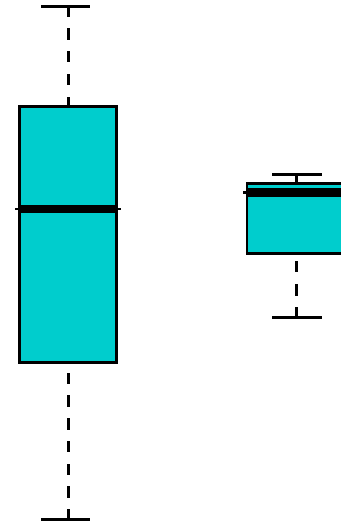
```
D222 <- conf.design(c(1,1,1), p=2,  
treatment.names=c("A","B","C") )
```

```
> D222  
  Blocks A B C  
1      0 0 0 0  
2      0 1 1 0  
3      0 1 0 1  
4      0 0 1 1  
5      1 1 0 0  
6      1 0 1 0  
7      1 0 0 1  
8      1 1 1 1
```

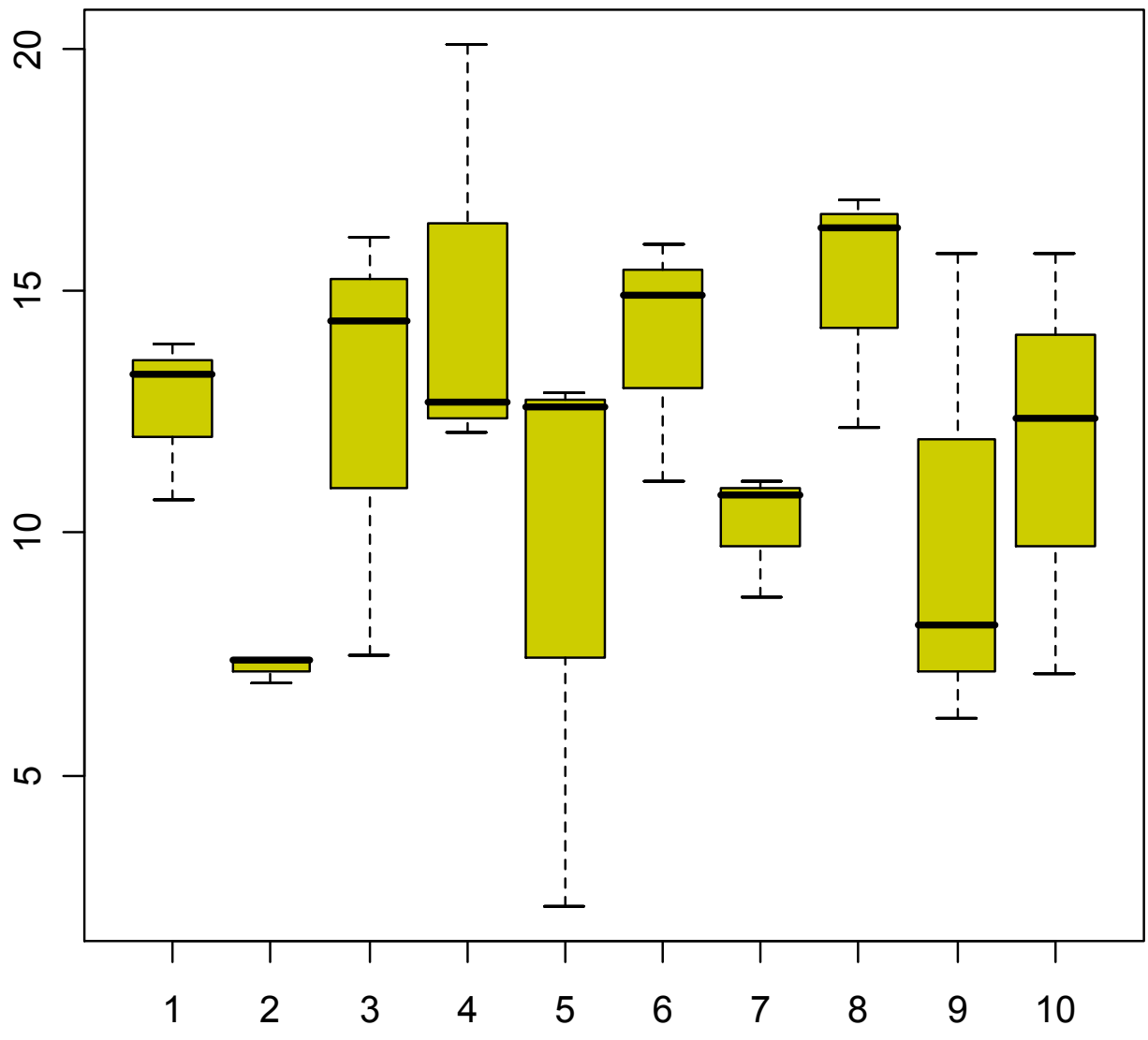
# Contenido

1. La investigacion y el diseño de experimentos.
2. Principios basicos de experimentacion
3. Diseños y Tipos de experimento
4. Analisis exploratorio de datos experimentales
5. Analisis del error experimental.
6. Analisis de variancia y comparaciones multiples.
7. Analisis de diseño Mama-Bebe

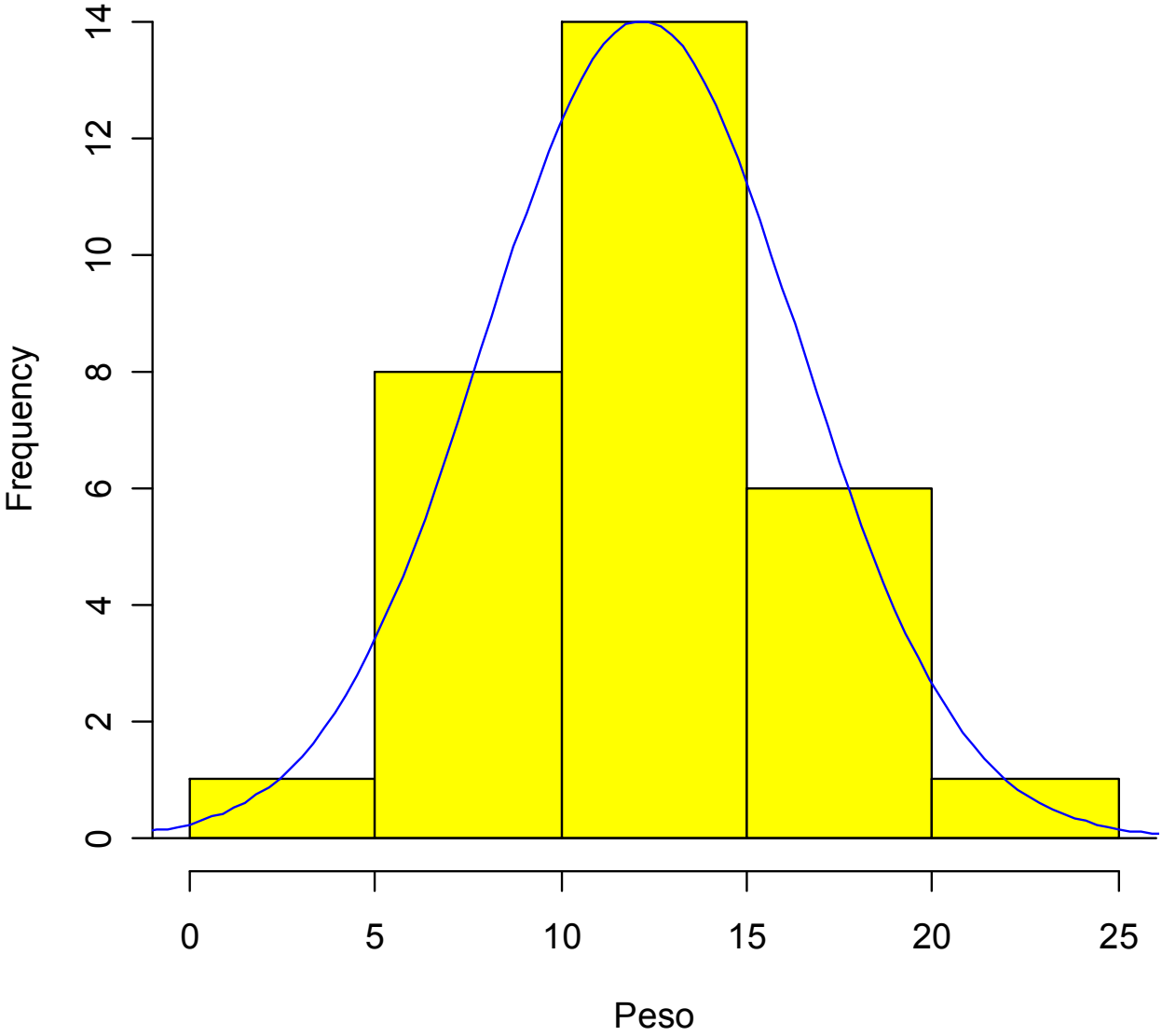
## BOXPLOT (Diagrama de cajas)



**Interpretacion** La Linea central de la Caja representa la Mediana y los lados de la Caja representan los Cuartiles. Si la Mediana está bien al centro de la caja , entonces hay simetria . Si la Mediana está mas cerca a Q3 que a Q1 entonces la asimetria es hacia izquierda, de lo contrario la asimetria es hacia la derecha. Si la Caja no es muy alargada entonces se dice que no hay mucha variabilidad.

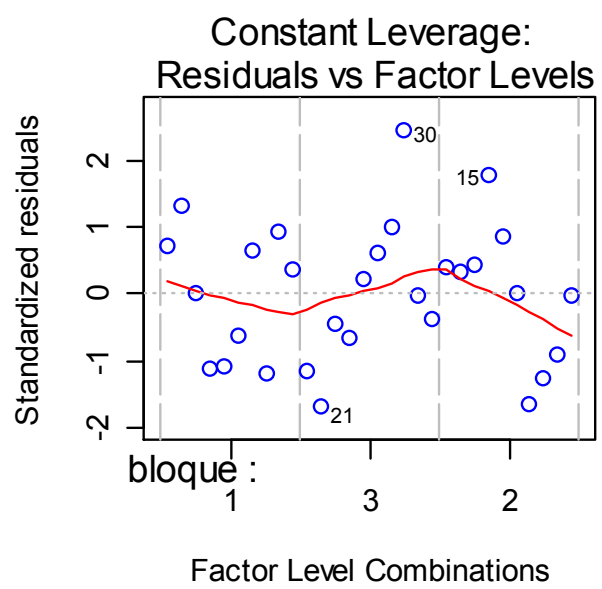
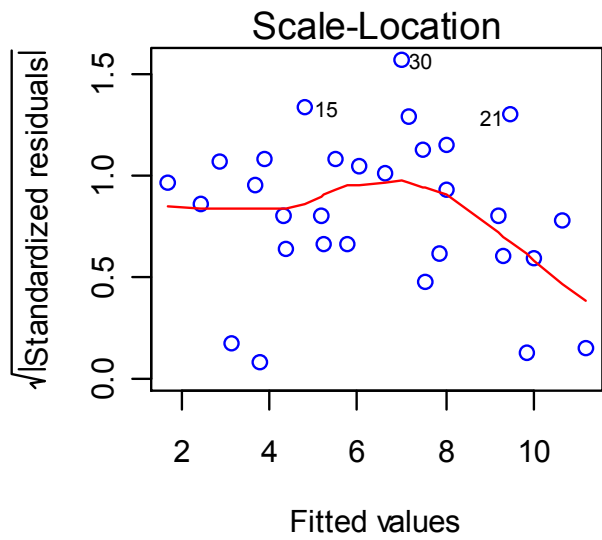
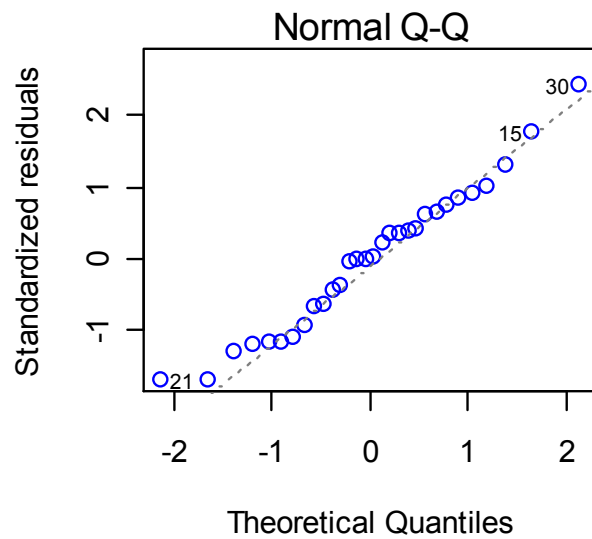
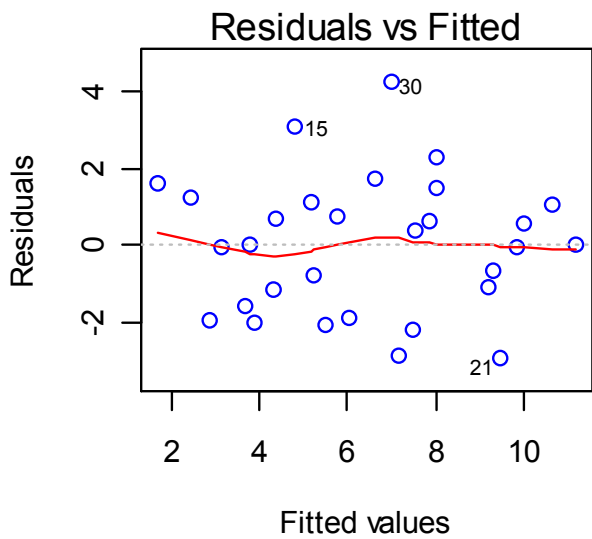


# Histogram of Peso



# Contenido

1. La investigacion y el diseño de experimentos.
2. Principios basicos de experimentacion
3. Diseños y Tipos de experimento
4. Analisis exploratorio de datos experimentales.
5. Analisis del error experimental.
6. Analisis de variancia y comparaciones multiples.
7. Analisis de diseño Mama-Bebe

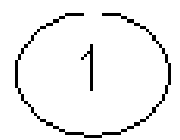
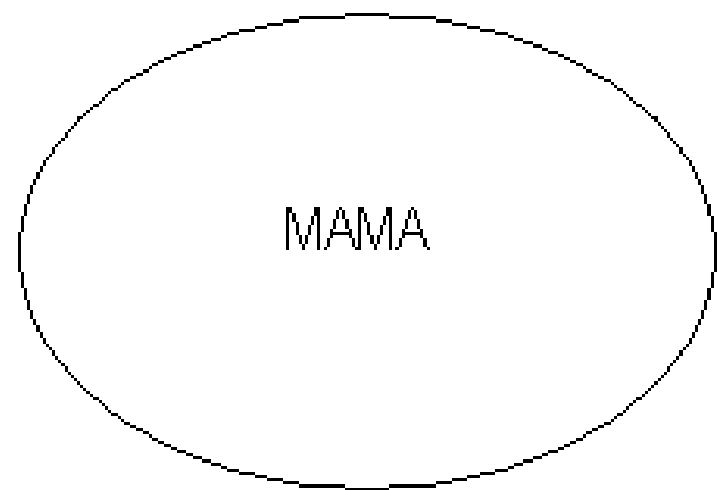




# Contenido

1. **La investigacion y el diseño de experimentos.**
2. Principios basicos de experimentacion
3. Diseños y Tipos de experimento
4. Analisis exploratorio de datos experimentales.
5. Analisis del error experimental.
6. Analisis de variancia y comparaciones multiples.
7. Analisis de diseño Mama-Bebe

Experimento formal con repeticiones



Bebes



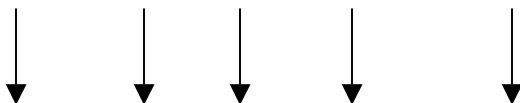
Experimento en parcelas de Agricultores

Sin Repeticion



## Parcela MAMA

bloque	Clon	Plantas	Tuber.c	Peso.com	Tuber.nc	Peso.nc
1	1	20	65	10.3	46	3.6
1	2	20	40	3.3	86	4.1
1	3	20	43	4.2	70	3.3
1	4	20	35	6.3	60	6.4
1	5	20	5	0.9	24	1.4
1	6	20	44	8.5	75	6.4
1	7	20	21	3.8	55	4.9
1	8	20	74	8.1	67	4.1
1	9	20	26	3.7	56	4.4
1	10	20	20	3.5	38	3.6
2	1	20	64	10.6	38	2.7
2	2	20	27	2.1	137	4.8
2	3	20	73	9.5	120	6.6
2	4	20	26	4.3	60	7.8



3	5	20	24	3.2	132	9.7
3	6	20	56	8.7	52	2.4
3	7	20	32	4.5	72	6.6
3	8	20	105	11.7	90	4.6
3	9	20	15	1.9	56	4.3
3	10	20	55	11.2	37	4.6

## Parcelas BEBES

bebe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Bebe1	30	2	31	3	4	35	6	3	12	0
Bebe2	23	4	34	0	1	34	4	20	5	1
Bebe3	41	2	13	0	5	36	0	9	26	0

# Analisis estadístico

## Parcela MAMA

```
> # Rdto total
> modelo<-aov(Peso.com ~ bloque + Clon, data=
rdto.M)
> anova(modelo)|
Analysis of Variance Table

Response: Peso.com
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque  2  20.909   10.454   2.1240 0.14854
Clon    9 177.783   19.754   4.0133 0.00586 **
Residuals 18  88.598    4.922
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05
'. ' 0.1 ' ' 1
> cv.model(modelo)
[1] 34.64732
```

```
> comparar<-  
HSD.test(Peso.com,Clon,gl,cm,alpha=0.05,main="Rend  
imiento")
```

Study: Rendimiento

HSD Test for Peso.com

		.....
Alpha		0.050000
Error Degrees of Freedom		18.000000
Error Mean Square		4.922111
Critical Value of Studentized Range		5.070507

Minimum Significant Difference 6.49481

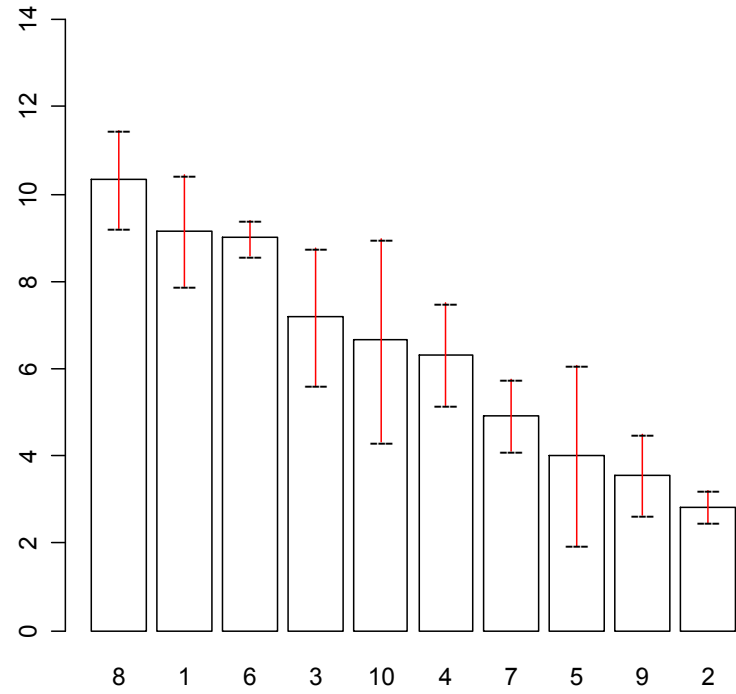
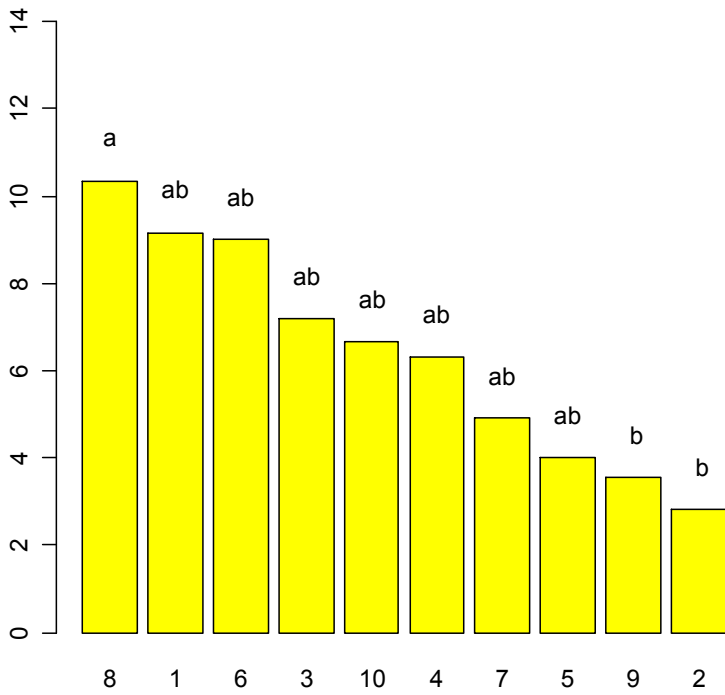
Replication 3

### Comparison of treatments

#### Groups, Treatments and means

<u>a</u>	8	10.33333
<u>ab</u>	1	9.166667
<u>ab</u>	6	9
<u>ab</u>	3	7.2
<u>ab</u>	10	6.666667
<u>ab</u>	4	6.333333
<u>ab</u>	7	4.933333
<u>ab</u>	5	4
<u>b</u>	9	3.566667
<u>b</u>	2	2.833333

# Comparacion en parcela MAMA



# Análisis en Bebes

```
> library(agricolae)
> # Evaluacion Hombres
> cosecha<-read.table("bebes rdto.txt",header=T)
> bebes<-cosecha[,1]
> evaluacion<-cosecha[,-1]
> comparar<-friedman(bebes,evaluacion,
main="Evaluacion de cosecha en parcelas bebes")
```

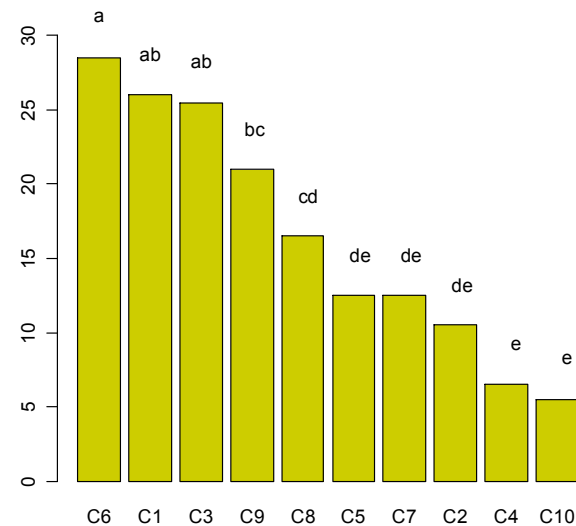
**Study: Evaluacion de cosecha en parcelas bebes**  
**Friedman's Test**

```
=====
Chi-squard : 23.08214
P-value : 0.006014464
Significant
level : 0.05
```

```
t-Student : 2.100922
LSD : 7.210105
```

**Comparison between treatments**

Group	Treatment	Sum of the ranks
a	C6	28.5
ab	C1	26
ab	C3	25.5
bc	C9	21
cd	C8	16.5
de	C5	12.5
de	C7	12.5
de	C2	10.5
e	C4	6.5
e	C10	5.5



# Prueba de Friedman