



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**Escuela de Post-Grado**

---

**Estadística Aplicada a la FORESTERIA II**

2007



**INDICE DE TEMAS**

---

**Metodos Generales:**

1. Principios basicos del diseño experimental
2. Tipos de experimentos
3. Relación de tipo con el diseño
4. Diseño Completo al Azar o de una Via
5. Cambio de escala
6. Diseño de Bloques Completos al Azar.
7. Diseño Cuadrado Latino: DCL



## Metodos avanzados

---

- Analisis de Covariancia
- Homogenidad de regresiones
- Experimentos con factoriales
- Diseño en Parcela Dividida (Split plot)
- Diseño con Bloques Divididos (Strip plot).
- Experimentos factoriales sin repetición
- Experimentos combinados
- Experimento en campo de agricultores



## OBJETIVOS

---

Presentar tecnicas estadisticas para el diseño y analisis de experimentos para estudios de Investigaci3n en las ciencias forestales.

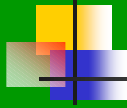
### Especificos:

Diseñar, analizar los experimentos.

Mostrar competencia en el manejo de datos forestales.

Usar programas estadisticos en computadoras.

Presentar e interpretar los resultados estadísticos.



## Estacion experimental

---



## Estacion experimental

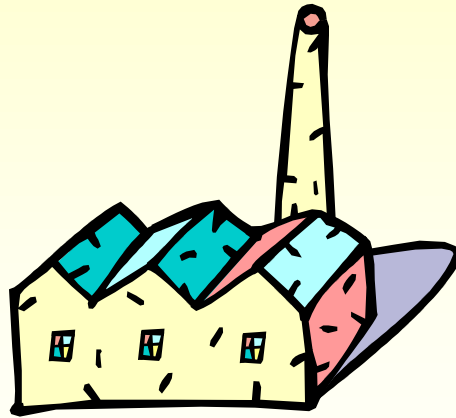
---





## Invernaderos

---



## Almacenamiento

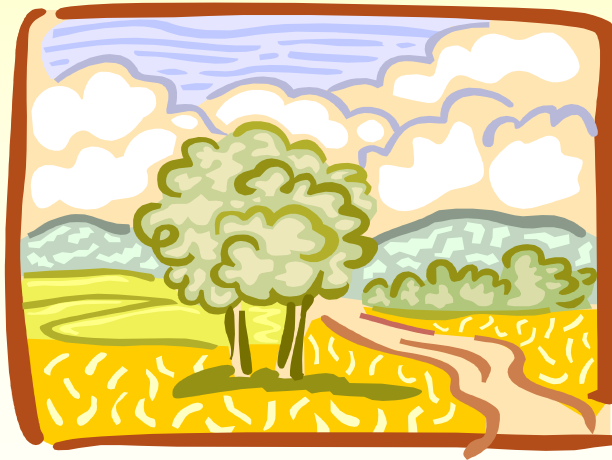
---



Almacenamiento



Campo de agricultores





## Laboratorio

---



## 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.**

Area de estudio



Diseño experimental





## Condiciones del ambiente

---



## Diseños más conocidos

---

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

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



## Toma de información

---




## ¿Porque Investigar?

---

Casos sobre la incidencia de bosques en los microclimas, en el control de erosión,

En la agricultura asociada, la adaptación de especies arbóreas,

**Son temas que deben ser estudiados con la experimentación por su importancia en la incidencia en la producción, control de plagas, maleza, fertilizante, etc.**




## ¿Porqué diseñar el experimento?

---

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

¿Cómo medirá el efecto de estudio?,

¿Cuáles serán las características a analizar?



## ¿Porqué diseñar el experimento?


---

¿Qué factores afectan a las características de estudio?.

¿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?.



¿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.



## 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**



## 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 fiducias 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

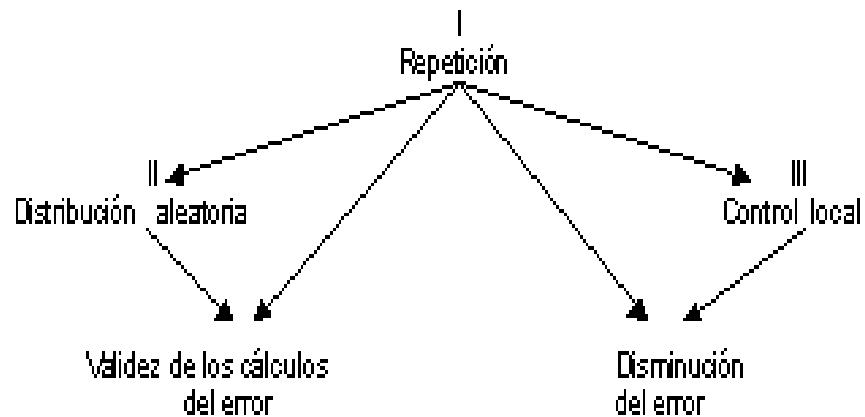
---

**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.**

**Fisher ilustra las relaciones generales de repetición con el error experimental en la siguiente figura**

## Fisher ilustra las relaciones generales



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 replicaciones para lograr resultados confiables así como medir satisfactoriamente las diferencias.

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



## Algunas sugerencias para el número de repeticiones

---

El número de replicaciones 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 replicaciones en los experimentos del 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**



## 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 contiene 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.



La variabilidad entre las repeticiones es irrelevante a la prueba experimental cuando cada tratamiento ocurre solo una vez en una repetición.

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**



## 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,

mientras un tercer experimento separado 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 factoriales

---

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 métodos de la preparación de suelo,
- b) la relación entre el fecha de plantar y la fecha de la madurez para producir, 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 suelos y las condiciones del clima.

En consecuencia, la prueba de la variedad es probablemente el tipo más común de experimento del campo.



## Otras pruebas de rendimiento

---

La densidad y fechas de siembra a veces se combinan con ensayos de la variedad, o pueden conducirse por separado. La prueba combinada permite un estudio de la respuesta de la variedad diferencial a las diferentes densidades y las fechas.

**Para el fitopatólogo, los experimentos del campo incluyen pruebas de rendimiento de los tratamientos de semillas o de líquidos pulverizables y en polvo.**




## 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 sus dosis.

Al rociar y espolvorear químicos en el material experimental, es importante 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.



## Experimentos culturales y de fertilizante

---

Los experimentos culturales incluyen

- Estaciones del año,
- Métodos de preparación de siembra,
- Aplicación del agua de riego,
- Manejo del cultivo versus el uso de los herbicidas para el control de malezas, etc.

**A menudo se mide en el rendimiento.**



## Sugerencia de diseño

---

El bloque completo y los diseños cuadrados latinos aleatorizados en general son satisfactorios para las pruebas de esta clase.

**En aquellos ensayos que se usa maquinaria agrícola o riego, es aconsejable usar algún tipo de diseño de parcela o bloque dividido**



## En la prueba de Fertilizantes es necesario incluir:

---

- a) el efecto de ciertas formulaciones sobre el rendimiento,
- b) las dosis de diferentes formulaciones en el rendimiento,
- c) el efecto del tiempo de sembrado y los niveles de fertilización en el rendimiento y
- d) el efecto de todas las combinaciones en el rendimiento



### Diseños apropiados para fertilizantes serian:

---

Los diseños de bloques y cuadrados latinos aleatorizados son generalmente útiles en los experimentos de fertilizante donde el número de factores interesados es razonablemente pequeño.

**Para las pruebas de fertilizante donde 2 o más fertilizantes se aplican a 2 o más niveles, el experimento factorial es particularmente apropiado**




### Experimentos en pastizales

#### Interes del investigador en:

---

- a) determinar la cantidad de pasto producido en un área por mezclas diferentes de pastizal-gramíneas,
- b) determinar la influencia de los fertilizantes en los pastizales en cuanto al rendimiento y la supervivencia de la especie de sabor agradable,
- c) **evaluar el efecto de algunos tipos de manejo de pastizales en el rendimiento de diferentes mezclas de forraje**



## Los diseños apropiados para experimentos con pastizales serian:

---

- Experimentos con factoriales.
- Diseños alternados se han encontrado útiles para:
  - a) el rendimiento los estudios sobre los pastizales anuales no resiembra, es decir, los cereales y ciertas leguminosas; y
  - b) los estudios de valor nutritivo para animales mayores.



## Experimentos de rotación de cultivos

---

**En rotación de cultivos u otros experimentos en los cuales se hace un estudio de los efectos residuales,**

**Es necesario cultivar todos los cultivos en la rotación de un año para obtener resultados fiables.**

**Así, cada cosecha o fase de rotación se debe muestrear y ordenar los datos por cultivo y por fase de rotación o años.**




## Experimentos con árboles

---

Los cultivos arbóreos son de larga vida y están expuestos a mayor accidente que los cultivos anuales.

**Debido a los requisitos extensos de espacio, el número de árboles por parcela es limitado, los resultados de las diferencias entre árboles individuales son con frecuencia muy variables, teniendo una fuente grande de error experimental.**



## Información en el tiempo

---

**Algunas respuestas pueden obtenerse en el mismo año al igual que los cultivos transitorios, pero en general se dispone de información acumulada para un análisis en el tiempo, esta es una característica de los cultivos arbóreos.**



## **Consideraciones**

---

**Debido a las condiciones anteriores así como la posibilidad de tala o eliminación de árboles, el tipo de diseño experimental debe mantenerse sencillo, es decir tener un solo factor variable de estudio.**



## **Diseño recomendado**

---

**La experiencia ha indicado que el diseño aleatorizado de bloques completos es sumamente útil con cultivos arbóreos**



## **Asociación con cultivos transitorios.**

---

La experimentación con cultivos transitorios asociado al desarrollo de árboles o arbustos en áreas tropicales pueden ser tratados como experimentos formales,

**Asumir el tamaño de parcela lo correspondiente al cultivo, la distribución de los árboles debe ser tal que el efecto sea estudiado en la forma que tenga beneficios tanto en la producción de los cultivos transitorios como la explotación de los árboles**



## **Algunos ejemplos de experimentos**

---

Efecto de sombra en la protección de la humedad del suelo para un cultivo;

La producción de semilla de arroz en rotación de stylosantes guianensis en asociación con árboles;

**Efecto de especies arbustivas y leguminosas sobre la producción anual de arroz;**



## Algunos ejemplos de experimentos

---

Barbechos mejorados para la producción de arroz, etc.

**El uso de algunas leguminosas para mejorar la fertilidad del suelo, también es una práctica que puede experimentarse.**

