

**SEMINARIO**

**ACTUALIZACION PARA TECNICOS DEL MAG**

**MAG - COSTA RICA , Dic., 1980**

**// DISEÑOS EXPERIMENTALES  
EN PRODUCCION ANIMAL**

**Fernando Mujica, Ph.D.**

**CATIE**

# Diseños Experimentales

Método científico: consiste en la búsqueda de hechos, la formulación de hipótesis y la obtención de principios y leyes que rigen tales hechos.

Experimento: experiencia científica en la cual se provoca deliberadamente algún cambio y se observa e interpreta sus resultados con la finalidad de conocer y explicar algún fenómeno.

## Características de un Experimento:

- Simplicidad (selec. trat. y dis. exper)
- Ausencia de Error Sistemático  
(Unidades Experim. iguales)
- Amplio rango de validez de las conclusiones
- Cálculo del grado de incertidumbre o validez de las conclusiones  
(No. de Unid. Exper. y/o No. de Repeticiones)

## Procedimiento para realizar investigación:

- planteamiento del problema
- determinación de los objetivos
- selección de los tratamientos
- selección del material experimental (representativo de población)
- selección del diseño experimental
- selección de la unidad de observación y No. de repeticiones
- considerar datos que se van a recibir (evaluar efectos de tratam.)
- conducción del experimento
- interpretación de los resultados
- elaboración del informe de investigación

Unidad Experimental (UE): Unidad del material experimental sobre el cual se aplica un tratamiento. Ejem.: un animal, grupo de animales, área de terreno (parcela), hojas, etc...

Tamaño y Forma de parcela (extensión y calidad terreno disponible, objetivo de seguridad, método de cultivo, tipo de planta...)

## Diseños Experimentales (D.E)

Difer. principal entre los D.E. radica en la forma en que se agrupan o clasifican las Unidades Experimentales:

1. Completamente al azar
2. Bloques completos al azar
3. Bloques al azar generalizado
4. Cuadro Latino
5. Cuadro Grecolatino
6. Lattice (bloques incompletos)
7. Diseños para Experimentos de Sobrecambio

### Arreglo de los tratamientos:

1. Factorial
2. Parcelas divididas (Split Plot)
3. Arreglo en Franjas o Bloques Divididos (Strip Plot)

## Diseno Completamente al azar

- asignación aleatoria de tratamientos a un conjunto de unidades experimentales
- es el más sencillo
- pueden probarse cualquier No. de tratamientos y repeticiones
- el No. de U.E. asignados a los dif. tratam. puede ser diferente
- asegura el máximo No. de G.L. para el error experimental
- Condición: Ambiente homogéneo
- Uso: laboratorio
  - invernadero
  - algunos ensayos con animales.

## Modelo Estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}, \text{ donde}$$

$Y_{ij}$  = variable bajo estudio

$\mu$  = efecto de la media general

$T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratam.

$E_{ij}$  = error exper. (aleatorio)  
(efecto factores no controlados en el diseño)

# Ejemplo Diseño Completam. al azar.

Efecto de tres tipos dif. de hormo-  
no sobre el aum. de peso de oveja  
(libras/animal, por 100 días)

tratam.	Repeticiones				Total	
					Total	Med
(control)	47	52	62	51	212	53
	50	54	67	57	228	57
	57	53	63	57	230	57.5
	54	65	74	59	252	63
	Total principal				928	58
	Media principal					58

$$\pi_{yy} (= F.C.) = \frac{\sum y_i^2}{r \cdot t} = \frac{328^2}{4 \cdot 4} = 53824$$

$$T_{yy} = \frac{\sum y_i^2}{r} - \pi_{yy} = 54032 - \pi_{yy} = 208$$

$$S.C._{1-1} = \sum y_{ij}^2 - \pi_{yy} = 54678 - \pi_{yy} = 854$$

fuente de variación	G.L.	S.C.	CM	F(0.05)
tratamientos	3	208	69.3	1.23
Error	12	646	53.8	
Total	15	854		
$\chi^2_{200} = T(0.05)$	5%	1%		
	3.49	5.95		

## Diseño Bloques completos al azar

- las U.E. se distribuyen en bloques
- U.E. dentro de un bloque: homogéneas
- tratamientos se asignan al azar a las U.E. dentro de cada bloque
- No. de U.E. en cada bloque es igual al No. de tratamientos
- datos perdidos deben estimarse
- efectos de variables "molestas" (criterio por bloques) no debe interactuar con efectos de tratamientos

## Modelo Estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

$T_i$ : efecto del  $i$ -ésimo tratam.

$B_j$ : " "  $j$ - " " bloque

Ejemplo: el mismo anterior (ovejas) pero se bloquea según la procedencia (difer. fincas) de las ovejas consideradas en el experimento

# Ejemplo de Bloques comp. al azar

tratam.	Bloques				Total (Tr.)
D	47	52	62	51	212
B	50	54	67	57	228
C	57	53	63	57	230
D	54	65	74	59	252
Total (Bl.)	208	224	272	224	928

$$T_{yy} = \frac{Y_{..}^2}{b \cdot t} = \frac{928^2}{16} = 53824$$

$$T_{yy} = \frac{Y_{..}^2}{b} - T_{yy} = 208$$

$$B_{yy} = \frac{Y_{.j}^2}{t} - T_{yy} = 576$$

$$S.C_{tot} = Y_{ij}^2 - T_{yy} = 854$$

fuente de varian.	G.L.	S.C.	C.M.	F (cal.)
tratamiento	3	208	69.3	8.8**
bloques	3	576	192.0	246**
error	9	70	7.8	
total	15			



# Arreglo factorial de los tratam.

Si estos se forman por la combinación de niveles de varios factores, siendo

Factor: una variable independiente.

Niveles: diversos valores de los factor

<u>cm.</u>	<u>Factores</u> :	<u>Niveles</u> :
	nitrogeno (N)	0 y 40 kg/ha
	fósforo (P)	0 y 30 "
	potasio (K)	0 y 20 "

(es un factorial  $2^3$ )

## Ventajas:

economía del mater. experim. (un nivel de un factor se estudia varias veces con varios niveles de otros factores)  
se amplia rango de validez del experimento (difer. condiciones)  
permite el estudio de interacciones (grado y forma como se modifica el efecto de un factor al cambiar los niveles de los otros factores)

## Desventajas:

si se usa bloques completos, es difícil encontrar grupos homogéneos para asignar todos los tratamientos → principio de confusión  
costo del experimento: mayor si muchos U.E.

# Rendimiento y Plan Experm. del Ejem<sup>t</sup>

Diseño: bloques al azar

Modelo Estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

$$T_i = \mu_k + P_r + K_m + (PK)_{kr} + (PK)_{rm} + (PK)_{km} + (PK)_{krm}$$

Bloque

I	pk(011)	k(001)	pk(101)	p(100)
	36.3	31.4	43.6	33.8
II	pk(110)	(1)(000)	p(010)	pk(111)
	43.3	28.1	31.9	41.8
III	pk	(1)	pk	p
	41.0	31.8	36.5	33.0
IV	pk	pk	pk	pk
	42.8	35.2	35.9	35.4
V	pk	pk	pk	pk
	35.0	28.6	38.0	36.5
VI	p	p	(1)	pk
	32.1	38.3	34.2	41.5
				285.2

los Tratamientos:

	(00)	(100)	(010)	(001)	(110)	(101)	(011)	(111)
		p	p	pk	pk	pk	pk	pk
1.1	107.5	97.0	96.9	113.5	122.9	111.4	124.3	124.3
								6427 Total: 867.6

CALCULO DE LA SUMA DE CUADRADOS DE TRATAMIENTOS (TY)LL.

2- Por medio de Contrastes Ortogonales

Efecto	Totales de Tratamientos										Suma de cuadrados	
	(000)	(100)	(010)	(001)	(110)	(101)	(011)	(111)	Suma de	total		
	94.1	107.5	97.0	96.9	113.5	122.9	111.4	124.3	-	-	Suma de	cuadrados
N	-1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	468.2	399.4	68.8	197.23
P	-1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	446.2	421.4	24.8	25.63
K	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	455.5	412.1	43.4	78.48
NP	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	428.8	438.8	-10.0	4.17
NK	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	438.3	429.3	9.0	3.38
PK	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	437.3	430.3	7.0	2.04
NPX	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	425.7	441.9	-16.2	10.94

Notese que:

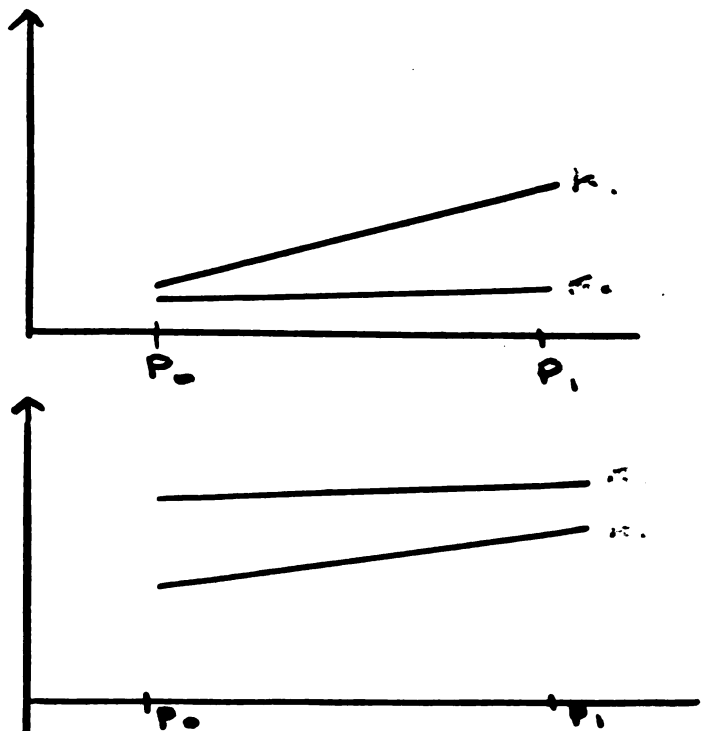
$$TY = SC(N) + SC(P) + SC(K) + SC(NP) + SC(NK) + SC(PK) + SC(NPK)$$

# Tabla de Analisis de Varianza

Fuente de variación	G.L.	S. C.	C. M.	F(2,1)
Logos	2	3.04	1.52	0.17 <sup>2</sup>
Tratamiento	3	21.85	45.38	5.16 <sup>2</sup>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 5px; margin-right: 5px;">                     1 1 1 1 1 1                 </div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px;">                     1 1 1 1 1 1                 </div> </div>	1	97.23	↑	22.15 <sup>2</sup>
	1	25.63	↑	2.88 <sup>2</sup>
	1	78.48	↑	8.82 <sup>2</sup>
	1	4.17	↑	0.47 <sup>2</sup>
	1	3.38	↑	0.38 <sup>2</sup>
	1	2.04	↑	0.23 <sup>2</sup>
14	124.63	↑	1.23 <sup>2</sup>	
24	449.52	8.9		

## Gráfica de las Interacciones:

- 60 P.  $\pi_0 = 94.1$
- 60 P.  $\pi_1 = 96.9$
- 22 P.  $\pi_0 = 97.0$
- 22 P.  $\pi_1 = 111.4$
- 22 P.  $\pi_0 = 107.5$
- 22 P.  $\pi_1 = 122.9$
- 22 P.  $\pi_0 = 113.5$
- 22 P.  $\pi_1 = 124.3$



# Diseño en Parcelas Divididas

- asignación de tratamientos de un factor a parcelas principales dispuestas en un diseño. completam. al azar
  - . bloques al azar
  - . cuadro latino;los tratamientos del segundo factor se asignan a sub-parcelas (parcelas chicas) dentro de cada parcela principal
- se sacrifica la precisión en la estimación de los efectos promedios de los tratamientos asignados a las parcelas principales, pero aumenta la precisión de los tratam. asignados a las sub-parcelas y los efectos de interacción

Ejcm. parcela principal: invernadero, método de irrigación o manejo de terreno, cuartos de refrigeración un animal, un árbol

Uso: en experimentos factoriales, en los que la naturaleza del material experimental o las operaciones dificultan el manejo de todas las combinaciones de factores en una misma forma.

**Ejemplo numérico:**

Se ensayaron 2 factores simultáneamente en un arreglo en parcelas divididas para evaluar su efecto sobre el rendimiento de caña. El diseño experimental es bloques completos al azar.

Parcelas		a <sub>1</sub> = compuesto orgánico, 20 ton/ha
Grandes	(Factor A)	a <sub>2</sub> = sin compuestos orgánicos
(o principal)		

Parcelas		b <sub>1</sub> = sin cal
Chicas	(Factor B)	b <sub>2</sub> = 1.5 ton/ha de cal
		b <sub>3</sub> = 3.0 ton/ha de cal
		b <sub>4</sub> = 4.5 ton/ha de cal

La distribución de las parcelas en el campo y el rendimiento en kg de caña/parcela de 100 m<sup>2</sup>, se presentan a continuación:

	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> = 960	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> = 690
	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> = 898	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub> = 1055
B <sub>I</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> = 920	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> = 767
	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub> = 877	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> = 857
	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> = 989	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> = 721
	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub> = 1020	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> = 889
B <sub>II</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> = 948	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub> = 994
	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> = 848	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> = 764
	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub> = 701	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub> = 811
	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> = 741	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> = 993
B <sub>III</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> = 931	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> = 901
	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> = 833	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> = 1058

	$a_2 b_2 = 574$	$a_1 b_1 = 817$
$B_{IV}$	$a_2 b_3 = 758$	$a_1 b_4 = 771$
	$a_2 b_1 = 584$	$a_1 b_3 = 918$
	$a_2 b_4 = 994$	$a_1 b_2 = 874$

Para realizar el Análisis de Varianza primero se ordenan los datos como sigue:

Niveles A	I		II		III		IV		Totales	
Niveles B	$a_1$	$a_2$	$a_1$	$a_2$	$a_1$	$a_2$	$a_1$	$a_2$	$a_1$	$a_2$
$b_1$	920	767	989	764	901	741	817	584	3627	2856
$b_2$	898	690	948	889	1058	833	874	574	3778	2986
$b_3$	960	857	848	721	993	931	918	758	3719	3267
$b_4$	877	1055	1020	994	811	701	771	994	3479	3744 (y.j)
Totales $\sum Y_{ij}$										(y..b)
(Parc. grandes)	3655	3369	3805	3368	3763	3206	3380	2910	14603	12853 (y.j)
Bloques										6
$\sum Y_{i..}$	7024		7173		6969		6290		27456	(y...)

Modelo Estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + M_{ij} + \beta_k + (T\beta)_{jk} + e_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = característica en estudio

$\mu$  = efecto general

$B_i$  = efecto del bloque completo i

$T_j$  = efecto del tratamiento j sobre la parcela grande (ij)

$M_{ij}$  = error de parcela grande (ij)

$\beta_k$  = efecto del subtratamiento k dentro de la parcela grande (ij)

$(T\beta)_{jk}$  = interacción entre el tratamiento j y el subtratamiento k.

$e_{ijk}$  = error de parcela chica.

# Cálculo de Sumas de Cuadrados:

$$T_{yy} = \frac{Y^2 \dots}{b p q} = \frac{27456^2}{4 \cdot 2 \cdot 4} = 23557248$$

$$SC_{tot} = \sum y_{ijk}^2 - T_{yy} = 494100$$

$$B_{yy} = \frac{\sum y_{i..}^2}{p q} - T_{yy} = 57698$$

$$A_{yy} = \frac{\sum y_{.j.}^2}{b q} - T_{yy} = 95703$$

$$P_{G_{yy}} = SC_{total}(P_G) = \frac{\sum y_{k..}^2}{q} - T_{yy} = 158187$$

$$E(a)_{yy} = P_{G_{yy}} - A_{yy} - B_{yy} = 4786$$

$$B_{yy} = \frac{\sum y_{.i.}^2}{b p} - T_{yy} = 37366$$

$$(A B)_{yy} = \frac{\sum y_{ij.}^2}{b} - A_{yy} - B_{yy} - T_{yy} = 91326$$

$$P_{Ch_{yy}} = SC_{total}(P_{Ch}) = SC_{tot} - P_{G_{yy}} = 335913$$

$$E(b)_{yy} = P_{Ch_{yy}} - B_{yy} - (A B)_{yy} = 207221$$



# Tabla de ANOVA:

Fuente de variación	G.L.	S.C	C.M	F (cal)	T(Alfa)	
					5%	1%
Tratamientos	3	57698	19233	12.06	3.28	23.4
A	1	35703	35703	60	10.13	34.1
Error (a)	3	4786	1595			
<b>Total (Pa)</b>	<b>7</b>	<b>158187</b>				
B	3	37366	12455	1.08	3.16	5.0:
A x B	3	31326	30442	2.64	3.16	5.0:
<del>Total (Pch)</del>						
Error (b)	18	207221	11512			
<b>Total (Pch)</b>	<b>24</b>	<b>335913</b>				
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>494100</b>				

## Comparación de Medias

Tipo de Comparación	Error Estándar
Entre factor A: $A_1 - A_2$	$EE = \sqrt{\frac{CM E(a)}{b \cdot p}}$
Entre factor B: $B_1 - B_2$ $B_2 - B_3$ , etc	$EE = \sqrt{\frac{CM E(b)}{b \cdot a}}$
Factor B y A (id. tral): $A_1 B_1 - A_1 B_2$ $A_1 B_1 - A_2 B_1$	$EE = \sqrt{\frac{CM E(b)}{r}}$
Factor B y B (dif. tral: A, B): $A_1 B_1 - A_2 B_1$ $A_1 B_1 - A_1 B_2$	$EE = \sqrt{\frac{CM E(b) (p-1) + CM E(a)}{b \cdot p}}$

# Analisis de Covarianza

Evaluación de seis tipos de raciones alimentarias, bajo un diseño de bloques al azar. Los datos son: peso a los 180 días (y) y peso inicial (x) (en libras).

Raciones	I		II		III		IV		TOTAL	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A	28	202	22	165	27	191	19	134	96	692
B	23	145	26	201	28	203	24	180	101	729
C	27	188	24	185	27	185	28	220	106	778
D	24	201	28	231	30	238	30	261	112	931
E	30	202	26	178	26	198	29	226	111	804
F	30	228	25	221	27	207	24	204	106	860
<b>TOTAL</b>	<b>162</b>	<b>1166</b>	<b>151</b>	<b>1181</b>	<b>165</b>	<b>1222</b>	<b>154</b>	<b>1225</b>	<b>632</b>	<b>4794</b>
<b>TOTAL</b>	<b>31791</b>		<b>29917</b>		<b>33713</b>		<b>32306</b>	<b>127727</b>	<b>126242</b>	

CALCULO DE SUMA DE CUADRADOS (SC) Y PRODUCTOS CRUZADOS (PC)

$$M_{xx} = \frac{X^2_{..}}{t} = \frac{632^2}{24} = 16642.667 \quad \begin{matrix} r = 4 \\ t = 6 \end{matrix}$$

$$M_{yy} = \frac{X..Y..}{bt} = \frac{4794^2}{24} = 957601.5$$

$$M_{xy} = \frac{Y^2_{..}}{bt} = \frac{632 \times 4794}{24} = 126242$$

$$E_{xx} = R_{xx} = \frac{\sum_{j=1}^r X^2_{.j}}{t} - M_{xx} = \frac{162^2 + \dots + 154^2}{6} - M_{xx} = 21.67$$

$$E_{xy} = R_{xy} = \frac{\sum_{j=1}^r X_{.j} Y_{.j}}{t} - M_{xy} = \frac{162 \times 1166 + \dots + 154 \times 1225}{6} - M_{xy} = 8.5$$

$$E_{yy} = R_{yy} = \frac{\sum_{j=1}^r Y^2_{.j}}{t} - M_{yy} = \frac{1166^2 + \dots + 1225^2}{6} - M_{yy} = 436.17$$

$$T_{xx} = \frac{\sum_{i=1}^t X^2_{i.}}{b} - M_{xx} = \frac{96^2 + \dots + 106^2}{4} - M_{xx} = 45.83$$

$$T_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^t X_{i.} Y_{i.}}{b} - M_{xy} = \frac{96 \times 692 + \dots + 106 \times 860}{4} - M_{xy} = 559.25$$

$$T_{yy} = \frac{\sum_{i=1}^t Y^2_{i.}}{t} - M_{yy} = \frac{692^2 + \dots + 860^2}{4} - M_{yy} = 9490$$

$$VE_{xx} = G_{xx} - M_{xx} - R_{xx} = 28^2 + \dots + 24^2 - M_{xx} (-R_{xx}) = 159.66$$

$$VE_{xy} = G_{xy} - M_{xy} - R_{xy} = 28 \times 202 + \dots + 24 \times 204 - M_{xy} (-R_{xy}) = 1476.5$$

$$VE_{yy} = G_{yy} - M_{yy} - R_{yy} = 202^2 + \dots + 204^2 - M_{yy} (-R_{yy}) = 18242.33$$

$$E_{xx} = VE_{xx} - T_{xx} = 159.66 - 45.83 = 113.83$$

$$E_{xy} = VE_{xy} - T_{xy} = 1476.5 - 559.25 = 917.25$$

$$E_{yy} = VE_{yy} - T_{yy} = 18242.33 - 94,90 = 8752.33$$

$$o_{j0}: F_{cal} = \frac{7391.26}{8752.33} = 0.845$$

$$E_{yy} - \frac{(E_{xy})^2}{E_{xx}} = 8752.33 - \frac{(917.25)^2}{113.83} = 1361.066164$$

$$\hat{B} = \frac{E_{xy}}{E_{xx}} = \frac{917.25}{113.83} = 8.06$$

$$S_{yy} - \frac{(S_{xy})^2}{S_{xx}} = 18242.33 - \frac{(1476.5)^2}{159.66} = 4587.98796$$

$$S_{yy} - \frac{(S_{xy})^2}{S_{xx}} - \left[ E_{yy} - \frac{(E_{xy})^2}{E_{xx}} \right] = 4587.988 - 1361.066 = 3226.9218$$

$$SC_{reg} = \frac{(E_{xy})^2}{E_{xx}} = \frac{(917.25)^2}{113.83} = 7391.26$$

$$F_{cal} = \frac{7391.26}{97.219} = 76.03^{**}$$

Por lo tanto, si es necesario hacer ajuste por covarianza, o sea, comparación de medias ajustadas.

$$H_0 : B = 0 \text{ vs } H_1 : B \neq 0$$

$$F_{0.1} = \frac{645.33}{97.22} = 6.64$$

Hay diferencia significativa entre los tratamientos ajustados.

$$H_0 : T_{0j} = T_{1j} = T_{2j}$$

H<sub>1</sub>: al menos hay una diferencia entre efectos de los tratamientos.

**TABLA DE ANALISIS DE COVARIANZA, DISEÑO BLOQUES AL AZAR**

P.V.	G.L.	S.C y P.C.			Desviaciones respecto a la regresión		
		$\sum X^2$	$\sum XY$	$\sum Y^2$	$\frac{(\sum XY)^2}{\sum X^2}$	G.L.	C.M.
Bloques	3	21.67	0.50	436.17			
Variedades	5	45.83	559.25	9490.00			
Errores	15	113.83	917.25	8752.33	1361.056164	14	97.2190117
Variedades +	20	150.66	1476.50	18242.33	4587.987961		
Errores							
Variedades ajustadas					3226.921797	5	645.3843594 (Fvalor 6,64**)

$$B = \frac{917.25}{113.83} = 8.05804905 \quad \bar{X} = 25.3333$$

- A= 173-8.0581 (24-25.3333) = 191.8
- B= 182.25-8.0581 (25.25-25.3333) = 191.0
- C= 194.50-8.0581 (26.50-25.3333) = 193.1
- D= 232.75-8.0581 (28.00-25.3333) = 21.3
- E= 201.00-8.0581 (27.75-25.3333) = 189.6
- F= 215.00-8.0581 (26.50-25.3333) = 213.6