UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

EL CONCEPTO DE CONFUSION EN EXPERIMENTACION AGRICOLA

S E M I N A R I O

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTA

GILBERTO RAFAEL MENDOZA BARRERA

MONTERREY, N. L. MAYO DE 1979

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

EL CONCEPTO DE CONFUSION EN EXPERIMENTACION AGRICOLA

SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTA
GILBERTO RAFAEL MENDOZA BARRERA

MONTERREY, N. L. MAYO DE 1979

A mis Padres:

Sr. Gilberto Mendoza Sigoña

Sra. Francisca Barrera de Mendoza

Por su gran Cariño, Comprensión y Apoyo

A mi Querida Tía:

Srita. Herminia Yañez Avila

A mis Hermanos

Ricardo

Adrián Gerardo

Martha Patricia

Claudia Isabel

A mis Familiares, Compañeros y Amigos

A G R A D E C I M I E N T O S

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesor Sr. Ing. M.C. Emilio -- Olivares Saénz por sus valiosos consejos y enseñanzas al dirigirme en el presente seminario.

Agradezco también a la Srita. Delfina Cavazos Martínez por su colabora--- ción en la traducción de algunas de las citas bibliograficas incluidas en este trabajo.

Deseo agradecer a la Srita. Micaela Márquez Cabral su cooperación en el - trabajo mecanografico de este seminario.

CONTENIDO

PAGINA

PAGINA

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

PAGINA

PAGINA

PAGINA

INTRODUCCION

Una de las desventajas de los experimentos factoriales es que al estudiar varios factores al mismo tiempo el número total de tratamientos puede de ser muy grande, lo que dificulta el uso de diseños con bloques completos.

Esto se debe a que es difícil contar con grupos de unidades experimentales que sean homogenas para construir los bloques, puesto que en la experimentación de campo las unidades experimentales presentan cierta heterogeneidad debida a las características del suelo.

Si se planea un experimento factorial y si la variación entre las unidades experimentales es tal que los bloques completos violan la suposición de constancia de efectos de bloque, se recurre al principio de confusión.

Como uno de los propósitos del diseño experimental es presentar resultados no ambiguos, parecerá obvio que un buen diseño deba suprimir la confusión, sin embargo tal procedimiento no se sigue indistintamente. Cuándo se introduce la confusión en un diseño se hace por una buena razón y esa razón es la de disminuir el error experimental.

I.- EL PRINCIPIO DE CONFUSION

Basicamente el principio de confusión nos permite disminuir el tamaño de bloque, de tal manera que los efectos de mayor interés sean ortogonales con respecto a los bloques incompletos, y que sean confundidos con estos, aquellos efectos de poco interés que generalmente son las interacciones de alto orden.

Gracias a este método de confusión se reduce el error experimental y por consecuencia se estiman con mayor exactitud los efectos principales y las interacciones de menor orden.

I. 1.- Efectos de las Interacciones de Alto Orden

En los experimentos de agricultura, generalmente los efectos de las interacciones de alto orden son muy raros, ya que es muy dífícil que ocurra por ejemplo una interacción triple (ABC), así entre más alta sea la interacción, es más dífícil que tenga efectos significativos. Es por esta razón que generalmente son las que más se utilizan para confundirlas con efectos de bloque.

II.- CONFUSION EN ARREGLOS FACTORIALES 2^n

En los areglos factoriales 2^n se estudian n factores a dos niveles cada uno. En este tipo de experimentos es donde más facilmente se puede comprender el principio de confusión. Para su ilustración se toma como ejemplo el areglo factorial 2^3.

II. 1.- Confusión Total de la Interacción de Alto Orden en Arreglos Factoriales 2^3.

En un arreglo factorial 2^3 se prueban 3 factores a dos niveles cada uno. Las combinaciones de los niveles de los factores nos dan los si-- guientes tratamientos.

1.- $A_1B_1C_1$ 5.- $A_2B_1C_1$

2.- $A_1B_1C_2$ 6.- $A_2B_1C_2$

3.- $A_1B_2C_1$ 7.- $A_2B_2C_1$

4.- $A_1B_2C_2$ 8.- $A_2B_2C_2$

Los efectos principales y las interacciones para este experimento, se pueden obtener por medio de contrastes ortogonales.

En la tabla 1 se presentan los signos de los coeficientes de los totales de los tratamientos de los contrastes ortogonales para un arreglo factorial 2^3.

TABLA 1.- Signos de los coeficientes de los totales de los tratamientos en los contrastes para definir los efectos principales y las interacciones en un factorial 2^3.

	TRATAMIENTOS							
FACTOR	1	2	3	4	5	6	7	8
A	+	+	+	+	-	-	-	-
B	+	+	-	-	+	+	-	-
C	+	-	+	-	+	-	+	-
AB	+	+	-	-	-	-	+	+
AC	+	-	+	-	-	+	-	+
BC	+	-	-	+	+	-	-	+
ABC	+	-	-	+	-	+	+	-

Basándonos en esta tabla confundiremos la interacción de alto orden (ABC) con bloques. Al confundir esta intracción los otros efectos seguirán siendo ortogonales con respecto a bloques.

Para confundir esta interacción, se colacarán los tratamientos con - signo positivo (+) en un bloque y los tratamientos con signo negativo (-) en otro bloque, el conjunto de dos bloques incompletos nos da una repetición.

Según el contraste (ABC) los tratamientos que se colocarían en un -- bloque son el 1, 4, 6, y 7, ó sea los de signo positivo, y los que estarían en otro bloque son el 2, 3, 5 y 8, ó sea los de signo negativo. De este modo se elimina la ortogonalidad de (ABC) y se dice que el efecto de esta interacción esta confundido con bloques.

En la figura 1 se presenta el croquis de un experimento factorial 2^3 con confusión total de la interacción de alto orden (ABC) con 4 repeticiones.

Bloque	REP. 1			
I	4	1	7	6
II	3	5	8	2

Bloque	REP. 3			
V	6	7	1	4
VI	5	2	3	8

	REP. 2			
III	1	6	4	7
IV	8	5	2	3

	REP. 4			
VII	7	1	6	4
VIII	2	3	8	5

Figura 1.- Croquis de un experimento factorial 2^3 con confusión de la interacción ABC con 4 repeticiones.

De este modo quedarían con ortogonalidad con respecto a bloques los efectos principales y las interacciones de primer orden. Para mostrar -

esto tomaremos como ejemplo el contraste de la interacción AC.

En esta interacción los tratamientos con signo positivo son: 1, 3, - 6 y 8 y los de signo negativo son: 2, 4, 5 y 7. Ahora tomenos la repetición 1 del experimento para efectos de comprobación:

Bloque	REP. 1			
I	4^-	1^+	7^-	6^+
II	3^+	5^-	8^+	2^-

En el esquema se observa que quedan 2 signos positivos y 2 negativos en cada bloque, de tal manera que conserva la ortogonalidad, permitiendose así realizar la comparación y tener información de esta interacción. - Lo mismo sucede con los demas efectos e interacciones de primer orden.

Dentro del método de confusión es posible que los efectos principales y las interacciones de primer orden sean confundidas. Cuándo se confunde un efecto principal se genera el arreglo en parcelas divididas.

III.- CONFUSION PARCIAL EN ARREGLOS FACTORIALES 2^n

Si en algún experimento se considera que la interacción de alto orden pueda ser significativa y los datos que de ella se obtengan sean útiles, se puede utilizar la confusión parcial. Esta técnica consiste en -- confundir en cada repetición efectos diferentes. Por lo general se eligen las interacciones de más alto orden para la confusión.

Para ejemplificar la confusión parcial se utilizará el experimento - factorial 2^3 estudiado en la sección anterior.

El esquema de confusión será de la siguiente forma:

En la Repetición 1 la Interacción ABC

" " " 2 " " AB

En la Repetición 3 la Interacción AC

" " " 4 " " BC

Los signos para cada tratamiento en el contraste correspondiente a cada una de las interacciones son:

ABC	
+	-
1	2
4	3
6	5
7	8

AB	
+	-
1	3
2	4
7	5
8	6

AC	
+	-
1	2
3	4
6	5
8	7

AC	
+	-
1	2
4	3
5	6
8	7

Con esta información se construye el croquis para el experimento, -- quedando como se observa en la figura 2.

Bloque	REP. 1				
I	6	1	4	7	ABC
II	3	5	8	2	

Bloque	REP. 3				
V	3	6	1	8	AC
VI	5	2	7	4	

	REP. 2				
III	7	2	8	1	AB
IV	5	3	6	4	

	REP. 4				
VII	5	1	4	8	BC
VIII	6	7	3	2	

Figura 2.- Croquis de un experimento factorial 2^3 confusión parcial de las interacciones de 1º y 2º orden -- utilizando 4 repeticiones.

Al realizar esta técnica de confusión se tendrá información de todas las interacciones, esta información se obtendrá de las 3 repeticiones en donde no se confunde el efecto correspondiente. Por ejemplo si se desea obtener el efecto de la interacción AC se tendrá que utilizar los datos de las repeticiones 1, 2 y 4. En forma semejante se obtendrá el efecto de las demas interacciones.

Para determinar los efectos principales se podrán utilizar los datos de las 4 repeticiones, ya que estos no se encuentran confundidos.

IV.- CONFUSION DE INTERACCIONES GENERALIZADAS EN ARREGLOS FACTORIALES 2^n.

Cuando se tienen muchos tratamientos y existe una gran heterogeneidad del suelo, se hace necesario la utilización de bloques muy pequeños. Esto se puede lograr confundiendo varios efectos en un mismo bmoque.

Por las mismas razones de la confusión total solamente se confunden las interacciones dejando libres los efectos principales de los efectos de bloque.

Para confundir varios efectos en un mismo bloque se utiliza el concepto de interacciones generalizadas. Para ejemplificar este concepto consideremos los efectos de AB y ABC, la interacción generalizada resultante de estas sería el efecto principal C:

$$(AB) \times (ABC) = A^2B^2C$$

Esto nos dá a entender que cuando se necesiten bloques pequeños y se deseen confundir las interacciones AB y ABC, implicitamente se está confundiendo el efecto principal C.

Para comprobar esta interacción generalizada se multiplican los signos de los totales de los tratamientos de los contrastes de AB y ABC, esto nos dará como resultado los signos para el contraste C.

En la figura 3 se presenta un croquis para un experimento factorial

2^3 con confusión de las interacciones AB y ABC. En el croquis se observa claramente que al confundir estas interacciones conjuntamente se confunde el efecto principal C.

REP. 1	4 | 6	5 | 3	1 | 7	2 | 8
REP. 2	3 | 5	7 | 1	8 | 2	6 | 4
REP. 3	2 | 8	5 | 3	4 | 6	7 | 1
REP. 4	1 | 7	8 | 2	3 | 5	4 | 6

Figura 3.- Croquis de un experimento factorial 2^3 con confusión de la interacción generalizada AB X ABC.

Esta confusión puede ser útil cuándo se considera que los efectos de C y de las interacciones son de poco interés. Y además se desean tener bloques pequeños.

Cuándo se desea confundir solamente interacciones sin involucrar efectos principales, se puede hacer uso de la tabla Nº 2, en donde según sea el número de factores, se presentan las interacciones que se confunden con bloques sin afectar los efectos principales.

TABLA 2.- Interacciones generalizadas en las cuáles no se involucran efectos principales en la confusión de un arreglo factorial 2^n.

n	Nº DE TRATS.	EFECTOS CONFUNDIDOS	TAMAÑO DE BLOQUE
3	$2^3 = 8$	ABC	$4 = 2^2$
		AB, AC, BC	$2 = 2^1$
4	$2^4 = 16$	ABCD	$8 = 2^3$
		AB, CD, ABCD	$4 = 2^2$
		AB, AC, AD, BC, BD, CD, ABCD	$2 = 2^1$
5	$2^5 = 32$	ABC, CDE, ABDE	$8 = 2^3$
		AB, CD, ABCD, BDE, ADE, BCE, ACE	$4 = 2^2$
6	$2^6 = 64$	ACE, BDE, ABCD, BCF	
		ABEF, CDEF, ADF	$8 = 2^3$

Para mostrar el uso de la tabla consideremos la interacción generalizada con confusión en bloques de cuatro unidades experimentales en un arreglo factorial 2^4.

Al confundir la interacción AB y la interacción CD se reduce el tamaño de bloque a 4 unidades experimentales. Solamente que al realizar esta confusión de interacciones generalizadas, implicitamente se está confundiendo la interacción ABCD. Esto se comprueba de la siguiente forma:

$$(AB)\ (CD) = (ABCD)$$

V.- CONFUSION EN ARREGLOS FACTORIALES 3^n

V.1.- Confusión en Arreglos Factoriales 3^2

Como es conocido en los experimentos factoriales 3^2 se considera que los efectos principales están formados por dos componentes simples, y por lo tanto la interacción AB está formada por cuatro componentes.

Esto se encuentra basado en los grados de libertad, tanto A como B - tienen dos grados de libertad, debido a que cada factor tiene tres nive-- les.

Las bases para la confusión en un experimento factorial 3^n, son las propiedades del Cuadro Grecolatino, en este diseño, las hileras, las co- lumnas, así como las letras griegas y latinas son ortogonales entre si. - En la figura 4 se observa un Cuadro Grecolatino para un experimento fac- torial 3^2.

	b_0	b_1	b_2
a_0	(00) I_1J_1	(01) I_3J_2	(02) I_2J_3
a_1	(10) I_2J_2	(11) I_1J_3	(12) I_3J_1
a_2	(20) I_3J_3	(21) I_2J_1	(22) I_1J_2

Figura 4.- Cuadro grecolatino para un experimen to factorial 3^2

En este cuadro los totales de las hileras son las componentes del e- fecto principal A y los totales de las columnas son las componentes del e fecto B.

Los totales de las letras latinas I nos de como resultado dos compo- nentes de la interacción AB, esto se debe a que se comparan las sumas si- guientes:

$I_1 = (00) + (11) + (22)$ $\qquad$ $I_2 = (10) + (21) + (02)$

$I_3 = (20) + (01) + (12)$

Las comparaciones de estos resultados son ortogonales tanto para hileras como para columnas, o sea que también son ortogonales para A y B.

Por consecuencia se puede afirmar que las otras dos componentes de la interacción AB se derivan de la comparación de los totales de las letras griegas J, los cuales serían:

$J_1 = (00) + (21) + (12)$ $\qquad$ $J_2 = (10) + (01) + (22)$

$J_3 = (20) + (11) + (02)$

Basandonos en estas comparaciones, tanto de las de letras griegas como de las de letras latinas, se puede establecer una técnica de confusión para la interacción AB.

Esta técnica consiste en confundir las componentes de AB involucradas en las letras griegas, quedando las componentes de las letras latinas libres de la confusión, y viceversa, confundiendo las letras latinas quedando libres las griegas.

En este caso las repeticiones estarían formadas por tres bloques incompletos, confundiendo en cada bloque una letra griega o latina según sean las que se van a confundir.

V. 1. a. Confusión Total de dos Componentes de la interacción AB.

La confusión total de dos componentes de la interacción AB es poco usada ya que no proporciona una información completa del factor que se esta confundiendo ya que la información que pudiera obtener sería solamente de aquellas componentes que no estuvieran confundidas, restringiendo con esto una comparación de los efectos confundidos.

En la figura 5 se observa un croquis para la confusión total de los componentes I y los componentes J, pudiendose realizar con estos las repeticiones convenientes.

BLOQUE	PARA CONFUNDIR I			COMPONENTE CONFUNDIDA
I	(00)	(11)	(22)	I_1
II	(10)	(21)	(02)	I_2
III	(20)	(01)	(12)	I_3

BLOQUE	PARA CONFUNDIR J			COMPONENTE CONFUNDIDA
I	(00)	(21)	(12)	J_1
II	(10)	(01)	(22)	J_2
III	(20)	(11)	(02)	J_3

Figura 5.- Croquis para confundir los componentes I y J de la interacción AB en un arreglo factorial 3^2.

V.1.b. Confusión Parcial de las Componentes de la Interacción AB.

El metodo de confusión parcial nos permite obtener información completa de la interacción AB lo que no sucedía al confundir totalmente cualquiera de las dos componentes.

La técnica es muy simple, solo consiste en confundir dos componentes de la interacción AB en la mitad de las repeticiones del experimento y las otras dos componentes en la otra mitad. Se pueden utilizar los croquis de la figura 5 solamente que en este caso se utilizará el esquema donde esta confundida I para la mitad de las repeticiones y en donde está confundida J para la otra mitad.

De esta manera se pueden estimar tanto las componentes de I como las componentes de J en las repeticiones en que no esten confundidas, logrando se con esto la estimación de los efectos de la interacción AB.

V. 2.- Confusión en Arreglos Factoriales 3^3.

En el caso de un experimento factorial 3^3, el sistema de confusión es muy similar al de 3^2 solamente que en este caso el bloque estará formado por 9 tratamientos, confundiendo con bloques la interacción ABC.

Para confundir esta interacción se utiliza e' mismo croquis para la confusión AB en un arreglo factorial 3^2, en este caso cada croquis de AB se va a convinar con cada uno de los niveles de C. De esta forma el cuadro grecolatino quedaría igual que el de la figura 6.

	C_0	C_1	C_2
I_1	(000)+(110)+(220)	(001)+(111)+(221)	(002)+(112)+(222)
I_2	(100)+(210)+(020)	(101)+(211)+(021)	(102)+(212)+(022)
I_3	(200)+(010)+(120)	(201)+(011)+(121)	(202)+(012)+(122)

Figura 6.- Cuadro Grecolatino para un experimento factorial 3^3

Basados en este cuadro las componentes de I y de J que se utilizarán para confundirese con bloques son las formadas por los siguientes tratamientos:

Componentes de I

$I\text{-}I_1$ = (000)+(110)+(220)+(101)+(211)+(021)+(202)+(012)+(122)

$I\text{-}I_2$ = (100)+(210)+(020)+(201)+(011)+(121)+(002)+(112)+(222)

$I\text{-}I_3$ + (200)+(010)+(120)+(001)+(111)+(221)+(102)+(212)+(022)

Los Componentes de J

$I\text{-}J_1$ = (000)+(110)+(220)+(201)+(011)+(121)+(102)+(212)+(022)

$I\text{-}J_2$ = (100)+(210)+(020)+(001)+(111)+(221)+(202)+(012)+(122)

$I\text{-}J_3$ = (200)+(010)+(120)+(101)+(211)+(021)+(002)+(112)+(222)

Utilizando estas componentes se pueden confundir tanto I como J -- con bloques utilizando la misma metodología que en el factorial 3^2.

VI .- EJEMPLO DE UN EXPERIMENTO FACTORIAL 2^3 CON SISTEMA DE CONFUSION DE LA INTERACCION DE ALTO ORDEN (ABC).

Se probaron 2 variedades de sorgo en 2 densidades y con 2 niveles de nitrogeno. A continuación se mencionan los niveles de los factores, además se incluyen los subíndices correspondientes a cada nivel.

VARIEDADES	NIVELES DE NITROGENO	DENSIDADES
a_1 - Oro	c_1 - 0 Kg./Ha.	b_1 - 12 Kg./Ha.
a_2 - Rico	c_2 - 90 "	b_2 - 16 "

Los tratamientos que resultaron de las combinaciones de los niveles de los factores son los siguientes:

1.- $a_1b_1c_1$	5.- $a_2b_1c_1$
2.- $a_1b_1c_2$	6.- $a_2b_1c_2$
3.- $a_1b_2c_1$	7.- $a_2b_2c_1$
4.- $a_1b_2c_2$	8.- $a_2b_2c_2$

Estos tratamientos se probaron en un diseño de bloques al azar con confusión de la interacción de alto orden (ABC). Con este método se redujeron los bloques de 8 unidades experimentales, a bloques incompletos de 4 unidades experimentales. De acuerdo a la tabla Nº 1 de la página Nº 3 el croquis del experimento es el que se encuentra en la figura Nº 7.

	BLOQUES									BLOQUES
REP.1	I	5	3	8	2	6	4	7	1	II
REP.2	III	1	4	7	6	2	8	3	5	IV
REP.3	V	5	3	2	8	4	7	6	1	VI
REP.4	VII	2	8	5	3	6	1	7	4	VIII

Figura 7.- Croquis de un experimento factorial 2^3 con sistema de confusión de la inter-- acción de Alto Orden (ABC).

Los resultados obtenidos al cosechar el experimento se encuentran en la tabla Nº 3, expresados en Kg./Parcela.

TABLA 3.- Datos del experimento factorial 2^3 con sistema de confusión de la interacción de alto orden (ABC).

PARA LOS TRATAMIENTOS CON SIGNO POSITIVO

	BLOQUE INCOMPLETO				
TRATA.	II	III	VI	VIII	TOTAL
1	8	9	14	15	46
4	5	7	13	15	40
6	4	6	12	14	36
7	4	5	11	14	34
TOTAL	21	27	50	58	156

PARA LOS TRATAMIENTOS CON SIGNO NEGATIVO

	BLOQUE INCOMPLETO				
TRATA.	I	IV	V	VII	TOTAL
2	9	12	14	14	49
3	8	12	13	14	47
5	7	13	13	13	46
8	6	10	11	12	39
TOTAL	30	47	51	53	181

Las sumas de cuadrados para cada uno de los efectos son:

$$Myy = \frac{\left(\sum \sum Yij\right)^2}{32} = \frac{(337)^2}{32} = 3,549.0312$$

$$Byy = \frac{\sum_{i=1}^{8} Bi^2}{4} - Myy = \frac{(30)^2 + (21)^2 + \dots + (5\ 8)^2}{4} - Myy$$

$$Byy = 339.2188$$

$$SC\ (C_1) = \frac{C_1^{\,2}}{\sum_{i=1}^{8} C_{1i}^{2}} = \frac{\left(T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - T_5 - T_6 - T_7 - T_8\right)^2}{r\left[(1)^2+(1)^2+(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(-1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(46 + 49 + 47 + 40 - 46 - 36 - 34 - 39)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(27)^2}{32} = 22.7812$$

$$SC\ (C_2) = \frac{C_2^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{2i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_2 + T_5 + T_6 - T_3 - T_4 - T_7 - T_8\right)^2}{r\left[(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(46 + 49 + 46 + 36 - 47 - 40 - 34 - 39)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(17)^2}{32} = 9.0312$$

$$SC\ (C_3) = \frac{C_3^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{3i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_3 + T_5 + T_7 - T_2 - T_4 - T_6 - T_8\right)^2}{r\left[(1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2\right]} =$$

$$= \frac{-(46 + 47 + 46 + 34 - 49 - 40 - 36 - 39)^2}{4\ (8)}$$

$$= \frac{(9\ )^2}{32} = 2.5312$$

$$SC\ (C_4) = \frac{C_4^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{4i}^2} = \frac{-\left(T_1 + T_2 + T_7 + T_8 - T_3 - T_4 - T_5 - T_6\right)^2}{r\left[(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(1)^-\right]} =$$

$$= \frac{(46 + 49 + 34 + 39 - 47 - 40 - 46 - 36)^2}{4\ (8)} =$$

$$SC\ (C_4) = \frac{(-1)^2}{32} = 0.03125$$

$$SC\ (C_5) = \frac{C_5^{\ 2}}{r\sum_{i=1}^{8} C_{5i}^{\ 2}} = \frac{\left(T_1 + T_3 + T_6 + T_8 - T_2 - T_4 - T_5 - T_7\right)^2}{r\left[(1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(46 + 47 + 36 + 39 - 49 - 40 - 46 - 34)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(-1)^2}{32} = 0.03125$$

$$SC\ (C_6) = \frac{C_6^{\ 2}}{r\sum_{i=1}^{8} C_{6i}^{\ 2}} = \frac{\left(T_1 + T_4 + T_5 + T_8 - T_2 - T_3 - T_6 - T_7\right)^2}{r\left[(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(46 + 40 + 46 + 39 - 49 - 47 - 36 - 34)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(5)^2}{32} = 0.78125$$

$$SC_{\ Total} = \sum_{i=1}^{8} \sum_{j=1}^{4} Yij^2 - Myy = (7)^2 + (8)^2 + \cdots\cdots + (15)^2 - 3{,}549.0312$$

$$= 3{,}931 - 3{,}549.0312$$

$$= 381.9688$$

$$SC_{\ Error} = SC_{\ Tot.} - SC_{\ Bloques} - SC\ (C_1) - SC\ (C_2) - SC\ (C_3) - SC\ (C_4) -$$

$$- SC\ (C_5) - SC\ (C_6)$$

$$SC_{Error} = 381.9688 - 339.2188 - 22.78125 - 9.03125 - 2.53125 - 0.03125 - 0.03125 - 0.78125$$

$$= 7.5625$$

Estas sumas de cuadrados pasan a la siguiente Tabla de Análisis de --- Varianza, para probar las hipótesis correspondientes.

TABLA 4.- Análisis de Varianza de un experimento factorial 2^3 con confusión de la interacción de Alto Orden (ABC).

FV	GL	SC	CM	Fc.		F. Teórica 0.05	F. Teórica 0.01
Bloques	7	339.2188	48.4598	115.34	**	2.61	3.93
A	1	22.7812	22.7812	54.22	**	4.41	8.28
B	1	9.0312	9.0312	21.49	**	4.41	8.28
C	1	2.5312	2.5312	6.02	*	4.41	8.28
AB	1	0.0312	0.0312	0.07	NS	4.41	8.28
AC	1	0.0312	0.0312	0.07	NS	4.41	8.28
BC	1	0.7812	0.7812	1.85	NS	4.41	8.28
Error	18	7.5625	0.4201				
Total	31	381.9688					

* Diferencia Significativa — C.V.= 6.15%

** Diferencia Altamente Significativa — D.M.S.= 1.120

NS Diferencia No Significativa

VII .- EJEMPLO DE UN EXPERIMENTO FACTORIAL 2^3 CON SISTEMA - DE CONFUSION PARCIAL.

Se probaron 2 variedades con 2 niveles de nitrogeno y 2 niveles de -- fosforo. En el experimento se utilizaron 4 repeticiones, confundiendose en cada una de ellas una interacción.

De las combinaciones de los niveles de los factores se formaron los - siguientes tratamientos:

1.- $V_1N_1P_1$	5.- $V_2N_1P_1$
2.- $V_1N_1P_2$	6.- $V_2N_1P_2$
3.- $V_1N_2P_1$	7.- $V_2N_2P_1$
4.- $V_1N_2P_2$	8.- $V_2N_2P_2$

De acuerdo a la tabla Nº 1 de la página 3 se obtienen los signos de las interacciones a confundir en cada una de las repeticiones del experimento, quedando el croquis de este, como el de la figura 8.

	E.C.	BLOQUE									BLOQUE
REP.1	BC	I	1	8	5	4	3	6	2	7	II
REP.2	AB	III	7	1	8	2	4	6	3	5	IV
REP.3	AC	V	5	2	7	4	6	3	1	8	VI
REP.4	ABC	VII	8	5	2	3	1	4	6	7	VIII

Figura 8.- Croquis de unexperimento facto-- rial 23 con sistema de confusión parcial con 4 repeticiones.

Los datos obtenido en este experimento se encuentran en la tabla 5 - expresados en Kg/parcela.

TABLA 5.- Rendimientos obtenidos en el experimento factorial 2^3 con sistema de confusión parcial.

	REPETICIONES				
TRATA.	1	2	3	4	TOTAL
1	7	19	13	11	50
2	21	30	24	21	96
3	24	30	19	25	98
4	27	31	26	29	113
5	30	33	28	31	122
6	31	36	31	33	131
7	39	36	35	43	153
8	37	41	36	66	180
TOTAL	216	256	212	259	943

Los totales de los bloques incompletos son:

I = 101	V = 113
II = 115	VI = 99
III = 126	VII = 143
IV = 130	VIII = 116

Las sumas de cuadrados para cada uno de los efectos son:

$$Myy = \frac{\left(\sum \sum Yij\right)}{32} = \frac{(943)^2}{32} = 27789.031$$

$$Byy = \frac{\sum_{i=1}^{4} Bi^2}{4} - Myy = \frac{(101)^2 + (111)^2 + \ldots\ldots + (116)^2}{4} - Myy$$

$$Byy = 380.219$$

$$SC\ (C_1) = \frac{C_1^{\,2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{1i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - T_5 - T_6 - T_7 - T_8\right)^2}{r\left[(1)^2+(1)^2+(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(-1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(50 + 96 + 98 + 113 - 122 - 131 - 153 - 180)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(-229)^2}{32} = 1638.7812$$

$$SC\ (C_2) = \frac{C_2^{\,2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{2i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_2 + T_5 + T_6 - T_3 - T_4 - T_7 - T_8\right)^2}{r\left[(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(50 + 96 + 122 + 131 - 98 - 113 - 153 - 180)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(-145)^2}{32} = 657.0312$$

$$SC\ (C_3) = \frac{C_3^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{3i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_3 + T_5 + T_7 - T_2 - T_4 - T_6 - T_8\right)^2}{r\left[(1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(50 + 98 + 122 + 153 - 96 - 113 - 131 - 180)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(-97)^2}{32} = 294.0312$$

Las siguientes sumas de cuadrados de los contrastes seran calculadas - con las repeticiones en que no esten confundidas las interacciones que sean representadas por el contraste a calcularse.

$$SC\ (C_4) = \frac{C_4^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{4i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_2 + T_7 + T_8 - T_3 - T_4 - T_5 - T_6\right)^2}{r\left[(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(31 + 126 + 117 + 139 - 68 - 82 - 89 - 95\ )^2}{3\ (8)} =$$

$$= \frac{(79)^2}{24} = 260.0416$$

$$SC\ (C_5) = \frac{C_5^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{5i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_3 + T_6 + T_8 - T_2 - T_4 - T_5 - T_7\right)^2}{r\left[(1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(87 + 79 + 100 + 144 - 72 - 87 - 94 - 118)^2}{3\ (8)} =$$

$$= \frac{(-11)^2}{24} = 5.0416$$

$$SC\ (C_6) = \frac{C_6^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{6i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_4 + T_5 + T_8 - T_2 - T_3 - T_6 - T_7\right)^2}{r\left[(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(43 + 86 + 92 + 143 - 75 - 74 - 100 - 114)^2}{3\ (8)} =$$

$$= \frac{(1)^2}{24} = 0.0416$$

$$SC\ (C_7) = \frac{C_7^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{7i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_4 + T_6 + T_7 - T_2 - T_3 - T_5 - T_8\right)^2}{r\left[(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(1)^2+(1)^2+(-1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(39 + 84 + 98 + 110 - 75 - 73 - 91 - 114)^2}{3\ (8)} =$$

$$= \frac{(22)^2}{24} = 20.\ 1666$$

$$SC_{\ Total} = Yij^2 - Myy = (7)^2 + (37)^2 + \ldots\ldots + (43)^2 - 27{,}789.031$$

$$= 3{,}571.969$$

$$SC_{Error} = SC_{total} - SC_{Bloques} - SC\ (C_1) - SC\ (C_2) - SC\ (C_3) - SC\ (C_4) - SC\ (C_5) - SC\ (C_6) - SC\ (C_7)$$

$$= 3,571.969 - 380.219 - 1,638.7812 - 657.0312 - 294.0312 - 260.0416 - 5.0416 - 0.0416 - 20.1666 =$$

$$= 316\ .\ 6146$$

Estas sumas de cuadrados se presentan en la tabla Nº 6, para probar las hipótesis correspondientes.

TABLA 6.- Analísis de Varianza de un experimento factorial 2^3 con sistema de confusión parcial.

FV	GL	SC	CM	Fc.		F. teórica	
						0.05	0.01
Bloques	7	380.219	54.317	2.916	*	2.61	3.39
A	1	1638.7812	1638.7812	87.991	**	4.45	8.40
B	1	657.0312	657.0312	35 278	**	4.45	8.40
C	1	294.0312	294.0312	15.787	**	4.45	8.40
AB	1	260. 0416	260.0416	13.962	**	4.45	8.40
AC	1	5.0416	5.0416	0.270	NS	4.45	8.40
BC	1	0.0416	0.0416	0.002	NS	4.45	8.40
ABC	1	20.1666	20.1666	1.082	NS	4.45	8.40
Error	17	316.6146	18.6243				
Total	31	3571.969					

* Diferencia Significativa C.V.= 14.64 %

** Diferencia Altamente Significativa D.M.S.= 7.50

NS Diferencia No Significativa

VIII.- EJEMPLO DE UN EXPERIMENTO FACTORIAL 2^3 CON SISTEMA DE CONFUSION GENERALIZADA DE LAS INTERACCIONES AB y ABC.

En un lote en el cual la heterogeneidad del suelo era muy marcada - se decidió utilizar el metodo de confusión generalizada de las interacciones AB y ABC para reducir el bloque de 8 unidades experimentales a 2 unidades experimentales.

Se probaron 2 variedades, 2 densidades y 2 niveles de nitrogeno, de las combinaciones de los niveles de estos factores resultaron los siguientes tratamientos:

1.- $V_1D_1N_1$	5.- $V_2D_1N_1$
2.- $V_1D_1N_2$	6.- $V_2D_1N_2$
3.- $V_1D_2N_1$	7.- $V_2D_2N_1$
4.- $V_1D_2N_2$	8.- $V_2D_2N_2$

De acuerdo a la tabla Nº 1 de la página 3 y al metodo de interacciones generalizadas el croquis del experimento seria el que representa la - figura 9.

REP. 1	1	7	4	6	5	3	2	8
REP. 2	7	1	6	4	3	5	8	2
REP. 3	1	7	6	4	3	5	2	8
REP. 4	7	1	4	6	5	3	8	2

Figura 9.- Croquis de un experimento factorial 2^3 con sistema de interacciones generalizadas.

Los datos obtenido en este experimento se encuentran en la tabla 7 - expresados en Kg/parcela.

TABLA 7.- Rendimientos obtenidos en el experimento factorial 2^3 con sistema de confusión de interacciones generalizadas.

	REPETICIONES				
TRATA.	1	6	3	4	TOTAL
1	92	42	59	58	251
2	57	40	83	78	258
3	88	37	75	65	285
4	68	45	84	91	288
5	76	50	78	69	273
6	91	33	89	88	301
7	76	44	66	63	249
8	84	52	78	74	288
TOTAL	632	363	612	586	2,193

Los totales de bloques incompletos son:

I.- 168	V.- 86	IX.- 125	XIII.- 121
II.- 159	VI.- 78	X.- 173	XIV.- 179
III.- 164	VII.- 107	XI.- 153	XV.- 134
IV.- 141	VIII.- 92	XII.- 161	XVI.- 152
			2,193

Las sumas de cuadrados bajo este esquema son:

$$Myy = \frac{\left(\sum\sum Y_{ij}\right)^2}{32} = \frac{(2193)^2}{32} = 150,289.03$$

$$Byy = \frac{\sum_{i=1}^{8} B_i^{\ 2}}{2} - Myy = \frac{(168)^2 + \ldots + (152)^2}{2} - 7{,}861.47$$

$$= 7{,}861.47$$

$$SC\ (C_1) = \frac{C_1^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{1i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - T_5 - T_6 - T_7 - T_8\right)^2}{\left[r \quad (1)^2+(1)^2+(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(-1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(251 + 258 + 285 + 288 + 273 + 301 + 249 + 288)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(-29)^2}{32}$$

$$= 26.28125$$

$$SC\ (C_2) = \frac{C_2^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{2i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_2 + T_5 + T_6 - T_3 - T_4 - T_7 - T_8\right)^2}{r \left[(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(251 + 258 + 273 + 201 + 285 + 288 + 249 + 288)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(-27)^2}{32}$$

$$= 22.78125$$

$$SC\ (C_5) = \frac{C_5^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{5i}^2} = \frac{\left(T_1 + T_3 + T_6 + T_8 - T_2 - T_4 - T_5 - T_7\right)^2}{r \left[(1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(-1)^2+(1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(251 + 285 + 301 + 288 + 258 + 288 + 273 + 249)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(57)^2}{32}$$

$$= 101.53125$$

$$SC\ (C_6) = \frac{C_6^{\ 2}}{r \sum_{i=1}^{8} C_{6i}^{\ 2}} = \frac{\left(T_1 + T_4 + T_5 + T_8 - T_2 - T_3 - T_6 - T_7\right)^2}{r\left[(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2+(1)^2+(-1)^2+(-1)^2+(1)^2\right]} =$$

$$= \frac{(251 + 288 + 273 + 288 + 258 + 285 + 301 + 249)^2}{4\ (8)} =$$

$$= \frac{(7)^2}{32}$$

$$= 1.53125$$

$$SC_{Total} = \quad Y_{ij}^{\ 2} - Myy = (92)^2 + (76)^2 + \ldots + (78)^2 - 150{,}289.03$$

$$= 8{,}947.97$$

$$SC_{Error} = SC_{Total} - SC\ (C_1) - SC_{Bloques} - SC\ (C_2) - SC\ (C_5) - SC\ (C_6)$$

$$= 8{,}947.97 - 7{,}861.47 - 26.28125 - 22.78125 - 101.53125 - 1.53125$$

$$= 934.375$$

Estas sumas de cuadrados pasan a la siguiente tabla de analísis de varianza.

TABLA 8.- Analísis de varianza de un experimento factorial 2^3 con sistema de confusión de interacciones generalizadas.

FV	GL	SC	CM	Fc		F. Teórica 0.05	F. Teórica 0.01
Bloques	15	7861.47	524.066	6.734	**	2.62	4.01
A	1	26.28125	26.281	.337	NS	4.75	9.33
B	1	22.78125	22.781	.292	NS	4.75	9.33
AC	1	101.53125	101.531	1.303	NS	4.75	9.33
BC	1	1.53125	1.531	.019	NS	4.75	9.33
Error	12	934.375	77.864				
Total	31	8947.97					

** Diferencia Altamente Significativa C.V. = 12.87 %

NS Diferencia no Significativa D.M.S. = 15.97

B I B L I O G R A F I A

1.- Cochran G.W. y G.M. Cox. Diseños Experimentales. Trad. de la 2ª Ed. - en Ingles por el Centro de Estadística y Cálculo del Colegio de Postgraduados de la Escuela Nacional de Agricultura. México, D. F. Editorial Trillas, .965. 644 p.

2.- Kempthorne, O. The Design and Analysis of Experiments. New York. Jhon Wiley & Sons, Inc. 1952. 631 p.

3.- Mendez, I. Apuntes de Diseños Experimentales, Colegio de Postgraduados de Chapingo. 1975 Apuntes sin Publicar.

4.- Quenouille, M.H. The Design and Analysis de Experiments. London ----- Charles Griffin & Co. Ltd. 1953. 356 p.