

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

INGENIERÍA EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

“DISEÑO ESTADÍSTICO EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE LA RESPUESTA DEL MAIZ (ZEA MAYS L.) A LA APLICACION EDAFICA COMPLEMENTARIA DE TRES TIPOS DE ABONO SINTETICO A DOS DOSIS EN LA COMUNIDAD DE PEÑAS, CANTON TIWINTZA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO”.

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de

INGENIERA EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

Presentado por:

ALEXANDRA BELÉN VIÑÁN ANDINO

Riobamba – Ecuador
2012

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado la capacidad y la fortaleza para alcanzar mis metas.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas a un mundo lleno de esfuerzo y satisfacciones.

A la Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática, Carrera de Ingeniería en Estadística Informática por brindarme las herramientas necesarias para defenderme en el ámbito profesional.

De manera especial al Dr. Luis Vera Rojas Director de mi Tesis y Mat. Marcelo Cortez Asesor de mi Tesis, por ser quienes con sus conocimientos brindaron el asesoramiento oportuno en la realización del proyecto.

A todos mis maestros con su paciencia y dedicación fueron los guías durante toda mi carrera y a cada una de las personas que me apoyaron y me dieron palabras de aliento porque sin saberlo se han convertido en mi fuente de inspiración.

Alexandra Viñán Andino

DEDICATORIA

A Dios mi guía espiritual por regalarme un maravilloso hogar del cual he recibido amor, apoyo y felicidad.

A mis padres Wilson y Claudina que con su ejemplo y esfuerzo supieron regalarme la herencia más valiosa para poder defenderme en la vida.

A mis hermanos Diego, Hna. Ma. Augusta y Clarita por ser el modelo de lucha y realización personal.

A mis sobrinitas Maite y Guadalupe que son mi alegría para continuar.

Y a toda mi familia de la cual recibo siempre la fuerza para no rendirme jamás.

Alexandra Viñán Andino

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dra. Yolanda Díaz
DECANA FACULTAD CIENCIAS

Dr. Richard Pachacama
**DIRECTOR ESCUELA DE
FÍSICA Y MATEMÁTICA**

Dr. Luis Vera Rojas
DIRECTOR DE TESIS

Mat. Marcelo Cortéz
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Tec. Carlos Rodríguez
**DIRECTOR CENTRO DE
DOCUMENTACIÓN**

Yo, Alexandra Belén Viñán Andino soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual de la tesis de grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Alexandra Belén Viñán Andino

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	2
DEDICATORIA.....	3
HOJA DE FIRMAS	4
HOJA DE RESPONSABILIDAD.....	5
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	6
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE GRÁFICAS ESTADÍSTICAS.....	16
ÍNDICE DE ANEXOS.....	17
INTRODUCCIÓN.....	18
ANTECEDENTES.....	20
JUSTIFICACIÓN.....	23
OBJETIVOS.....	25
i. OBJETIVO GENERAL.....	25
ii. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
CAPÍTULO I.....	26
1.- MARCO TEÓRICO.....	27
1.1 EL MAÍZ.....	27
1.1.1 HISTORIA	29
1.1.2 GENÉTICA	30
1.1.3 ESTRUCTURA DEL GRANO DE MAÍZ.....	31
1.1.4 CONDICIONES DEL CULTIVO PARA EL MAÍZ.....	33
➤ EXIGENCIAS CLIMÁTICAS.....	33
➤ PLUVIOMETRÍA Y RIEGOS.....	33
➤ EXIGENCIAS EN SUELO.....	34
1.1.5 SIEMBRA, COSECHA Y SECADO DEL MAÍZ.....	35
➤ SIEMBRA.....	35

➤	COSECHA.....	35
➤	SECADO.....	37
1.1.6	USOS DEL MAÍZ.....	38
1.1.7	MAÍZ HÍBRIDO	39
1.1.8	VARIEDAD 5.5.3 DE MAÍZ (HÍBRIDO INIAP)	40
1.1.9	ABONOS.....	42
1.1.9.1	ABONOS SINTÉTICOS (ó fertilizantes químicos)	43
▪	NITRÓGENO.....	44
▪	FÓSFORO	45
▪	POTASIO	47
1.1.9.2	APLICACIÓN DE LOS ABONOS.....	48
1.2	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	50
1.2.1	ETAPAS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	52
1.2.2	PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	55
1.2.3	CLASIFICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	57
1.2.4	FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN AGRÍCOLA	59
1.2.4.1	DEFINICIONES BÁSICAS EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL	59
1.2.5	ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)	66
	VALOR p	68
1.2.6	ANÁLISIS DE RESIDUOS	69
	COMPARACIÓN DOS A DOS DE LOS TRATAMIENTOS EN CUANTO A SU VARIABILIDAD	70
1.2.7	VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS	71
1.2.7.1	NORMALIDAD.....	72
a)	MÉTODO GRÁFICO.....	73
b)	MÉTODO ANALÍTICO	74
1.2.7.2	VARIANZA CONSTANTE	77
a)	MÉTODO GRÁFICO.....	78
b)	MÉTODO ANALÍTICO	80
1.2.7.3	INDEPENDENCIA.....	82
a)	MÉTODO GRÁFICO.....	82

1.2.8	DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (D.B.C.A).....	84
1.2.8.1	DATOS MUESTRALES.....	85
1.2.8.2	FÓRMULAS PARA EL EXPERIMENTO.....	86
1.2.8.3	MODELO ESTADÍSTICO PARA EL DISEÑO.....	87
1.2.8.4	HIPÓTESIS DEL MODELO.....	87
1.2.8.5	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DBCA:.....	88
1.2.9	DISEÑO FACTORIAL ²	88
1.2.9.1	DATOS MUESTRALES Y MATRIZ DE DISEÑO.....	89
1.2.9.2	CONTRASTES Y EFECTOS DEL DISEÑO.....	91
1.2.9.3	FÓRMULAS PARA EL EXPERIMENTO.....	93
1.2.9.4	MODELO ESTADÍSTICO.....	95
1.2.9.5	HIPÓTESIS DEL MODELO.....	96
1.2.9.6	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA UN DISEÑO FACTORIAL ²	97
1.2.10	ANÁLISIS DE REGRESIÓN.....	98
1.2.10.1	ANÁLISIS DE REGRESIÓN SIMPLE.....	100
1.2.10.2	ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE.....	102
1.2.10.2.1	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL MODELO DE REGRESIÓN.....	105
1.2.10.3	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN Y DETERMINACIÓN AJUSTADO.....	109
1.2.10.4	INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LOS COEFICIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN.....	110
CAPÍTULO II.....		113
2.	PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	114
2.1.	LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN.....	114
➤	Características del Sitio Experimental.....	114
➤	Características Climáticas.....	114
➤	Características Edafológicas.....	114
2.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	115
2.2.1	MATERIALES.....	115
2.2.1.1	Abonos Sintéticos.....	115
2.2.2	Otros Materiales.....	115

2.2.2.3 Equipo	116
2.2.2 FACTORES EN ESTUDIO.....	116
2.2.2.1 Tipos de Abonos sintéticos	116
2.2.2.2 Niveles de Eficiencia ²⁷	117
2.2.3 TRATAMIENTOS.....	118
2.2.4 UNIDAD EXPERIMENTAL.....	119
2.2.4.1 Unidad Experimental.....	119
2.2.4.2 Unidad Experimental Neta.....	119
2.2.4.3 Número de Repeticiones.....	119
2.2.6 MÉTODOS DE MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	120
2.2.6.1 ANÁLISIS DE SUELO	120
2.2.6.2 LIMPIEZA DEL TERRENO	120
2.2.6.3 DISTRIBUCIÓN DE PARCELAS EXPERIMENTALES.....	121
2.2.6.4 SIEMBRA.....	121
2.2.6.5 PREPARACIÓN DE TRATAMIENTOS	122
2.2.6.6 APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	122
2.2.6.7 DESHIERBAS.....	122
2.2.6.8 FUMIGACIÓN.....	123
2.2.6.9 COSECHA	123
2.2.6.10 SECADO.....	123
2.2.6.11 RENDIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN	124
CAPÍTULO III.....	125
3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO, INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y DIAGNÓSTICO DEL MODELO.....	126
3.1. DATOS EXPERIMENTALES	126
3.2 DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR	128
3.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	128
3.2.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	131
3.2.3 DIAGNÓSTICO DEL MODELO.....	132

i.	NORMALIDAD PARA EL D.B.C.A.:	134
	MÉTODO GRÁFICO.....	134
	MÉTODO ANALÍTICO.....	136
ii.	VARIANZA CONSTANTE PARA EL D.B.C.A.:	140
	MÉTODO GRÁFICO.....	140
	MÉTODO ANALÍTICO.....	142
iii.	INDEPENDENCIA PARA EL D.B.C.A.:	145
	MÉTODO GRÁFICO.....	145
iv)	HIPÓTESIS ADICIONAL:	147
3.3	DISEÑO FACTORIAL 2^3	149
3.3.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	149
3.3.2	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	156
	GRÁFICAS DE INTERACCIÓN	157
❖	GRÁFICAS DE EFECTOS PRINCIPALES:	158
❖	GRÁFICAS DE INTERACCIÓN DOBLE	160
❖	GRÁFICAS DE INTERACCIÓN TRIPLE	164
❖	TRATAMIENTO GANADOR.....	167
3.3.3	DIAGNÓSTICO DEL MODELO.....	168
i.	NORMALIDAD PARA EL DISEÑO FACTORIAL 2^3 :	170
	MÉTODO GRÁFICO.....	170
	MÉTODO ANALÍTICO.....	172
ii.	VARIANZA CONSTANTE PARA EL DISEÑO FACTORIAL 2^3 :	177
	MÉTODO GRÁFICO.....	177
	MÉTODO ANALÍTICO.....	179
iii.	INDEPENDENCIA PARA EL DISEÑO FACTORIAL 2^3 :	181
	MÉTODO GRÁFICO.....	181
3.4	FACTORIAL vs. TRATAMIENTO CONTROL O TESTIGO.....	184
3.5	ANOVA PARA EL DISEÑO EN BLOQUES AL AZAR CON ARREGLO FACTORIAL 2^3+1	186
3.6	ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE	188
3.6.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	188

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN Y DETERMINACIÓN AJUSTADO	191
INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LOS COEFICIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN	192
RESPUESTA PREDICHA POR EL MODELO DE REGRESIÓN PARA EL RENDIMIENTO NETO DEL MAÍZ EN LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.....	199
COMPARACIÓN DOS A DOS DE LOS TRATAMIENTOS EN CUANTO A SU VARIABILIDAD ...	201
3.6.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	223
3.6.3 DIAGNÓSTICO DEL MODELO	223
i. NORMALIDAD PARA EL MODELO DE REGRESIÓN:.....	225
ii. VARIANZA CONSTANTE PARA EL MODELO DE REGRESIÓN:	226
iii. INDEPENDENCIA PARA EL MODELO DE REGRESIÓN:	228
CAPÍTULO IV	231
4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	232
4.1 CONCLUSIONES	232
4.2 RECOMENDACIONES	234
RESUMEN.....	237
SUMMARY.....	238
BIBLIOGRAFÍA.....	239
ANEXOS.....	241

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1-1: Ilustración del Maíz (Zea Mays L.).....	27
Figura 1-2: Ilustración Plantación de Maíz (Zea Mays L.)	30
Figura 1-3: Estructura del grano de maíz: corte longitudinal aumentado aproximadamente 30 veces.....	32
Figura 1-4: Ilustración de los instrumentos de cosecha.....	37
Figura 1-5: Ilustración de la semilla del INIAP variedad 5.5.3.	41
Figura 1-6: Ilustración de la Urea.....	44
Figura 1-7: Ilustración de la Fósforo.....	46
Figura 1-8: Ilustración de la Nitrato potasico.....	48
Figura 1-9: Ilustración de aplicación de abono.....	48
Figura 1-10: Proceso de generación de aprendizaje y conocimiento como un ciclo de retroalimentación	51
Figura 1-11: Variables de un proceso al diseñar un experimento.....	64
Figura 1-12: Ilustración para la toma de decisión para del valor p.....	68
Figura 1-13: Ilustración del cumplimiento del supuesto de Normalidad.....	74
Figura 1-14: Ilustración de la región de rechazo de H_0	77
Figura 1-15: Ilustración del cumplimiento del supuesto de Homocedasticidad.	79
Figura 1-16: Ilustración del cumplimiento del supuesto de Independencia.....	83
Figura 1-17: Cubo formado por los factores en estudio.....	89
Figura 1-18: Tipología de los Modelos de Regresión.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Rendimiento neto del maíz medido en libras.....	126
Tabla 3-2: Rendimiento neto del maíz medido en quintales por hectárea.....	127
Tabla 3-3: Matriz de Datos del Rendimiento Neto (qq/ha).....	129
Tabla 3-4: Tabla De ANOVA Para El Diseño De Bloques Completo Al Azar.....	131
Tabla 3-5: Predichos para el rendimiento neto de la producción de maíz.....	133
Tabla 3-6: Residuos para el rendimiento neto de la producción de maíz.....	133
Tabla 3-7: Datos para la verificación del supuesto de normalidad para el D.B.C.A.	134
Tabla 3-8: Cálculos para formar límites de clase para el D.B.C.A.	136
Tabla 3-9: Límites de Clase para el D.B.C.A.	136
Tabla 3-10: Tabla de Frecuencias para el D.B.C.A.	137
Tabla 3-11: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el primer intervalo en el D.B.C.A.	138
Tabla 3-12: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el segundo intervalo en el D.B.C.A.	139
Tabla 3-13: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el tercer intervalo en el D.B.C.A.	139
Tabla 3-14: Tabla de cálculo para el valor chi cuadrado en el D.B.C.A.	139
Tabla 3-15: Tabla definitiva para el cálculo del valor chi cuadrado en el D.B.C.A.	140
Tabla 3-16: Datos para la verificación del supuesto de homocedasticidad para el D.B.C.A.	141
Tabla 3-17: Cálculos de varianzas para encontrar el valor del estadístico de prueba en el D.B.C.A.	144
Tabla 3-18: Datos para la verificación del supuesto de independencia para el D.B.C.A.	146
Tabla 3-19: Pesos del rendimiento neto de maíz para un diseño factorial 2^3 con cuatro observaciones por celda.....	150

Tabla 3-20: Pesos totales según Yates.....	153
Tabla 3-21: Tabla De ANOVA para el Diseño Factorial 2^3	156
Tabla 3-22: Predichos para el rendimiento neto de la producción de maíz en el diseño factorial 2^3	169
Tabla 3-23: Predichos para el rendimiento neto de la producción de maíz en el diseño factorial 2^3	169
Tabla 3-24: Datos para la verificación del supuesto de normalidad en el diseño factorial 2^3	170
Tabla 3-25: Cálculos para formar límites de clase el diseño factorial 2^3	172
Tabla 3-26: Límites de Clase el diseño factorial 2^3	172
Tabla 3-27: Tabla de Frecuencias el diseño factorial 2^3	173
Tabla 3-28: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el primer intervalo el diseño factorial 2^3	175
Tabla 3-29: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el segundo intervalo el diseño factorial 2^3	175
Tabla 3-30: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el tercer intervalo el diseño factorial 2^3	175
Tabla 3-31: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el cuarto intervalo el diseño factorial 2^3	175
Tabla 3-32: Tabla de cálculo para el valor chi cuadrado el diseño factorial 2^3	176
Tabla 3-33: Tabla definitiva para el cálculo del valor chi cuadrado el diseño factorial 2^3	176
Tabla 3-34: Datos para la verificación del supuesto de homocedasticidad en el diseño factorial 2^3	177
Tabla 3-35: Cálculos de varianzas para encontrar el valor del estadístico de prueba en el diseño factorial 2^3	180
Tabla 3-36: Datos para la verificación del supuesto de independencia en el diseño factorial 2^3	181
Tabla 3-37: Tabla de datos para el Tratamiento Control o Testigo.....	185
Tabla 3-38: Tabla de Comparación Factorial vs. Testigo.....	185

Tabla 3-39: Tabla De ANOVA para el Diseño de Bloques Completo al azar con arreglo Factorial 2^3+1	187
Tabla 3-40: Tabla De ANOVA Para El Modelo De Regresión.....	191
Tabla 3-41: Tabla resumen para los coeficientes estimados del modelo de regresión.....	199
Tabla 3-42: Tabla resumen de los tratamientos para el estudio en notación de Yates.....	200
Tabla 3-43: Rendimiento neto predichos por el modelo de regresión.....	200
Tabla 3-44: Rendimiento neto predichos por el modelo de regresión.....	201
Tabla 3-45: Predichos para el rendimiento neto de la producción de maíz en el modelo de regresión.....	224
Tabla 3-46: Residuos para el rendimiento neto de la producción de maíz en el modelo de regresión.....	224
Tabla 3-47: Datos para la verificación del supuesto de normalidad en el modelo de regresión.....	225
Tabla 3-48: Datos para la verificación del supuesto de homocedasticidad en el modelo de regresión.....	227
Tabla 3-49: Datos para la verificación del supuesto de independencia en el modelo de regresión.....	229

ÍNDICE DE GRÁFICAS ESTADÍSTICAS

Gráfica 3-1: Gráfico de dispersión para la normalidad para el D.B.C.A.	135
Gráfica 3-2: Gráfico de dispersión para la homocedasticidad para el D.B.C.A.	142
Gráfica 3-3: Gráfico de dispersión para la independencia para el D.B.C.A.	147
Gráfica 3-4: Gráfico de interacción para el peso neto del maíz para el D.B.C.A.	148
Gráfica 3-5: Gráfico del efecto principal para el nitrógeno en el D.F.2 ³	158
Gráfica 3-6: Gráfico del efecto principal para el fósforo en el D.F.2 ³	159
Gráfica 3-7: Gráfico del efecto principal para el potasio en el D.F.2 ³	160
Gráfica 3-8: Gráfico de interacción doble entre el nitrógeno y fósforo.	161
Gráfica 3-9: Gráfico de interacción doble entre el nitrógeno y potasio.	162
Gráfica 3-10: Gráfico de interacción doble entre el fósforo y potasio.	163
Gráfica 3-11: Gráfico interacción triple entre los nitrógeno, fósforo y potasio a 100 kg/ha.....	165
Gráfica 3-12: Gráfico interacción triple entre los nitrógeno, fósforo y potasio a 200 kg/ha.....	166
Gráfica 3-13: Gráfico de dispersión para la normalidad para el D.F. 2 ³	171
Gráfica 3-14: Gráfico de dispersión para la homocedasticidad para el D.F. 2 ³	178
Gráfica 3-15: Gráfico de dispersión para la independencia para el D.F. 2 ³	183
Gráfica 3-16: Gráfico de dispersión para la normalidad para el modelo de regresión.....	226
Gráfica 3-17: Gráfico de dispersión para la homocedasticidad para el modelo de regresión.....	228
Gráfica 3-18: Gráfico de dispersión para la independencia para el modelo de regresión.....	230

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A

PANORAMA DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES Y DE LOS TRATAMIENTOS PARA LA HECTÁREA DE TERRENO	243
--	-----

ANEXO B

ANÁLISIS DEL SUELO REALIZADO EN LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.....	246
---	-----

ANEXO C

FOTOGRAFÍAS DE LA PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	249
---	-----

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea Mays L.*), es un cultivo de gran importancia en Ecuador, ya que constituye una fuente principal en la alimentación así como por su aporte económico para el desarrollo agropecuario de la nación; puesto que es sembrado en varias provincias entre ellas Manabí, Loja, Chimborazo y parte del Guayas ocupando un 70 u 80% de mano de obra durante la labor del cultivo, generando así una cantidad considerable de empleo para las zonas mencionadas.

En lo que concierne a las industrias es notorio palpar la movilización de gran cantidad de dinero para la adquisición del grano de maíz ya que es la materia prima para la elaboración de balanceados para las áreas: Avícola en un 80%, camaroneras 15% y el restante 5% para ganadería bovina, ovina, etc.

Ecuador es un proveedor significativo de maíz amarillo ya que hace varios años atrás se generó divisas por 49 millones de dólares siendo Colombia el principal adquisidor de la gramínea, esto por encontrarse en una ubicación geográfica estratégica en el planeta ya que cuenta con regiones de excepcionales características edafo-climáticas que le permiten desarrollar una amplia diversidad de cultivos.

La investigación se ha desarrollado en el ámbito agrícola puesto que es la búsqueda de nuevas fuentes de ingreso es una prioridad para las Comunidades Indígenas del Cantón Tiwintza que con un alto sentido ecológico y ambiental pretenden maximizar su producción.

Al ser la agricultura el inicio hacia una serie de posibles experimentos o pruebas los resultados obtenidos que en su mayor parte ha sido basados en la experiencia e intuición de las personas llegando a presentar conclusiones únicamente perceptibles pero sin un fundamento claro que demuestre la idoneidad del estudio

Es por lo cual el “Diseño Experimental” que con sus rigurosas y confiables técnicas nos conduce y garantiza un correcto análisis *Estadístico* optimizando tiempo y recursos para lograr una maximización en el cultivo logrando así emitir conclusiones favorables en vía de no cometer errores en las tomas de decisiones.

Así tras evaluar estadísticamente un tratamiento ganador que maximice la producción de maíz en la Comunidad de Peñas se procederá a emitir conclusiones que validen los objetivos plantados al inicio de la investigación.

ANTECEDENTES

Desde los albores de la humanidad la actividad agrícola ha sido practicada. El inicio de la agricultura se encuentra en el período Neolítico, cuando la economía de las sociedades humanas evolucionó desde la recolección, la caza y la pesca a la agricultura y la ganadería. Las primeras plantas cultivadas fueron el trigo y la cebada. Con la revolución industrial y la consecuente necesidad del incremento de alimentos, la agricultura, que hasta ese momento había sido de carácter tradicional, se transforma progresivamente.

El maíz es, probablemente, la planta cultivada en la que mejor se ve la evolución natural e intereses agronómicos. La producción del cereal data desde la civilización Azteca, es lógico concluir que el maíz constituyó para los primitivos habitantes una fuente importante de alimentación. Aún se pueden observar en las galerías de las pirámides pinturas, grabados y esculturas que representan al maíz. Las grandes civilizaciones mesoamericanas no habrían surgido sin la agricultura, y sin un sistema de medición del tiempo que organizaba sus actividades cotidianas y rituales de los pueblos.

El 15 de noviembre de 1492 dos mensajeros de Colón, al regresar de una exploración a Cuba, declararon haber visto "una clase de grano, que llaman maíz, de buen sabor cocinado, seco y en harina". El maíz se fue encontrando luego sucesivamente en toda América, desde Chile hasta Canadá. Aunque los conquistadores no llegaron a darse cuenta

de ello, este grano dorado nativo de América era de mayor importancia para el mundo que todo el oro y la plata de México y el Perú. En las tierras bajas del trópico se pueden producir varias cosechas al año; en otras regiones se da una, por lo general. Los principales países productores son: China, la U.R.S.S., Brasil, México, Francia, Yugoslavia, Rumania, Italia, Rep. Sudáfrica y Argentina. ^(a)

En la actualidad el maíz constituye junto con el arroz y el trigo, uno de los principales alimentos cultivados en el mundo. Su uso no sólo se centra en la alimentación humana sino que forma parte de la alimentación animal, así mismo como en la elaboración de bebidas no alcohólicas.

Es por lo cual que a través de estudios técnicos agrícolas se trata de optimizar y maximizar la producción de este cereal para lo cual el Diseño Estadístico Experimental es de gran ayuda en cuanto nos permite analizar información e interpretar los resultados para sacar conclusiones válidas y objetivas del sistema de producción.

^(a) <http://www.monografias.com/trabajos/elmaiz/elmaiz.shtml>

Específicamente el Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) con un Arreglo Factorial 2^3+1 , proporcionará los resultados para la correcta toma de decisiones en lo referente a la máxima producción agrícola puesto que existen estudios realizados anteriormente que nos da la pauta para aplicarlo, tales como:

- Respuesta del Espárrago (*Asparagus Officinalis*) Híbrido Uc157 a la Aplicación de Tres Dosis de Materia Orgánica y Dos Niveles de Fertilización Nitrogenada. GUAYLLABAMBA – PICHINCHA.
- Respuesta del Cultivo de Remolacha (*Beta Vulgaris*) a la Fertilización Complementaria con Tres Bioestimulantes Foliares Naturales a Dos Dosis. TUMBACO, PICHINCHA
- Respuesta del Cultivo de Fréjol (*Phaseolus Vulgaris* L.) a la Aplicación Foliar Complementaria con Tres Bioestimulantes. PUEMBO, PICHINCHA.

Cabe recalcar que no se registra un antecedente de algún estudio en la producción de maíz, efectuado en el cantón Tiwintza por lo cual este será un Estudio Estadístico Experimental Base para la elaboración de estudios posteriores.

JUSTIFICACIÓN

El presente estudio estadístico experimental está planteado para determinar el mejor tratamiento compuesto por los tres tipos de abono sintético en sus respectivas dosis sobre el cultivo de maíz, lo cual se conseguirá mediante el análisis de los efectos que tendrá su aplicación al valorar la producción, puesto que se pretende incentivar la siembra de este cereal en las respectivas Comunidades del Cantón Tiwintza, así como abordar la importancia socioeconómica que se trata de alcanzar a través de esta actividad en el sector en el cual será desarrollada.

Los abonos se componen de tres elementos básicos: Nitrógeno, Fósforo y Potasio; a estos tres elementos se les denomina elementos mayores o fundamentales, porque siempre está presente al menos uno de los tres en cualquier fórmula de fertilizante.

Cobra mayor interés el estudio al darnos cuenta que la agricultura genera grandes fuentes de ingreso y que lastimosamente no está siendo explotada correctamente aun sabiendo que en un futuro la *AGRICULTURA* llegará a ser unos de los principales indicadores económicos en el adelanto y por ende en el tan ansiado progreso de los países subdesarrollados, esto se confirma con las estadísticas del precio de los granos en los mercados internacionales que continuarán con la tendencia alcista por lo cual es necesaria la optimización en la producción como vía de desarrollo para los agricultores.

El presente proyecto es factible por cuanto se cuenta con el apoyo del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Tiwintza, así como con el apoyo de quienes dirigirán este proyecto de investigación. Además que los conocimientos adquiridos en los años de estudio permitirán una honesta y ética evaluación de los datos y correctas interpretaciones en la investigación.

Cabe resaltar que la elaboración del proyecto de tesis beneficiará en primer lugar a la Comunidad de Peñas, y en segundo al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal, quienes conociendo el mejor tratamiento aplicado sobre el cultivo de maíz para la maximización de producción impulsarán proyectos y emprenderán acciones para el desarrollo de esta actividad.

OBJETIVOS

i. OBJETIVO GENERAL

Implementar un Diseño Estadístico Experimental para el estudio de la respuesta del Maíz (Zea Mays L.) a la aplicación edáfica complementaria de tres tipos de abono sintético a dos dosis en la Comunidad de Peñas, Cantón Tiwintza, Provincia de Morona Santiago.

ii. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar las dosis para cada uno de los tres abonos sintéticos a estudiarse.
- ✓ Determinar los Diseños Experimentales adecuados a la situación experimental.
- ✓ Realizar el trabajo experimental.
- ✓ Recolectar la información para su Análisis Estadístico e interpretación de resultados.

CAPÍTULO I

1.- MARCO TEÓRICO

1.1 EL MAÍZ



Figura 1-1: Ilustración del Maíz (Zea Mays L.)

El Maíz (*Zea Mays L.*), comúnmente llamada maíz, choclo, millo o elote, es una planta gramínea originaria de América introducida en Europa en el siglo XVII. Actualmente, es el cereal con mayor volumen de producción en el mundo, superando al trigo y al arroz.

Zea Mays L. es una planta monoica; sus inflorescencias masculinas y femeninas se encuentran en la misma planta. Si bien la planta es anual, su rápido crecimiento le permite alcanzar hasta los 2,5 m de altura, con un tallo erguido, rígido y sólido; algunas variedades silvestres alcanzan los 7 m de altura.

El tallo está compuesto a su vez por tres capas: una epidermis exterior, impermeable y transparente, una pared por donde circulan las sustancias alimenticias y una médula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azúcares.

Las hojas toman una forma alargada íntimamente arrollada al tallo, del cual nacen las espigas o mazorcas. Cada mazorca consiste en un tronco u olote que está cubierta por filas de granos, la parte comestible de la planta, cuyo número puede variar entre ocho y treinta.

Es una planta de noches largas y florece con un cierto número de días grados $> 10^{\circ}\text{C}$ (50°F) en el ambiente al cual se adaptó. Esa magnitud de la influencia de las noches largas hace que el número de días que deben pasar antes que florezca está genéticamente prescrito y regulado por el sistema-fitocromo.

En apariencia el grueso recubrimiento de brácteas de su mazorca, la forma en que los granos se encuentran dispuestos y están sólidamente sujetos, impedirían que la planta pueda hacer germinar sus granos. Su simbiosis con la especie humana aparentaría ser total, a tal punto que algunos investigadores lo llaman un "artefacto cultural", aunque estos son conceptos mágicos, alejados de la realidad.

Cuando una espiga cae al suelo, las brácteas son consumidas por hongos, y no lo son sus cariopses que logran germinar, generándose una competencia fortísima, que hará solo sobrevivir a unos pocos de cada espiga. Cualquier sujeto rural lo ha experimentado, por lo que se trata por todos los medios de no dejar espigas sin cosechar, para que no se autogenera el maíz "guacho".

Existen maíces en estado silvestre, y su negación es otra de las afirmaciones mágicas, sin contraste científico, de que el maíz se resiembraba sin la intervención humana. Las plantas caídas y con sus espigas en contacto con la tierra, y condiciones de humedad, aseguran la perpetuación de esta especie anual.

Por su gran masa de raíces superficiales, es susceptible a las sequías, intolerancia a suelos deficientes en nutrientes, y a caídas por severos vientos. ⁽¹⁾

1.1.1 HISTORIA

El centro geográfico de origen y dispersión se ubica en el Municipio de Coxcatlán en el valle de Tehucán, Estado de Puebla, en la denominada Mesa Central de México a 2.500m sobre el nivel del mar.

⁽¹⁾ Ref. Bibliogr. http://es.wikipedia.org/wiki/Zea_mays#cite_ref-2

En este lugar el antropólogo norteamericano Richard Stockton MacNeish encontró restos arqueológicos de plantas de maíz que, se estima, datan del 7.000 a. C. Teniendo en cuenta que ahí estuvo el centro de la civilización Azteca es lógico concluir que el maíz constituyó para los habitantes una fuente importante de alimentación.

Aún se pueden observar en las galerías de las pirámides (que todavía se conservan) pinturas, grabados y esculturas que representan al maíz. Las grandes civilizaciones americanas no habrían surgido sin la agricultura, y sin un sistema de medición del tiempo que organizaba sus actividades cotidianas y rituales de los pueblos americanos.⁽²⁾

1.1.2 GENÉTICA



Figura 1-2: Plantación de Maíz (Zea Mays L.)

⁽²⁾ http://es.wikipedia.org/wiki/Zea_mays

Tiene 10 cromosomas ($n = 10$). Su longitud combinada es de 1500 cM. Algunos de sus cromosomas están altamente repetidos, en dominios heterocromáticos que producen razas de granos oscuros. Esas "alteraciones" individuales son polimórficas tanto entre razas de maíz como teosinte. Barbara McClintock ha usado esas alteraciones como marcadores para probar su teoría del transposón de «genes saltadores», con la que ganó en 1983 el Premio Nobel en Fisiología o Medicina.

1.1.3 ESTRUCTURA DEL GRANO DE MAÍZ

Los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Esta estructura puede contener de 300 a 1 000 granos según el número de hileras y el diámetro y longitud de la mazorca. El peso del grano puede variar mucho, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos. Durante la recolección, las panojas de maíz son arrancadas manual o mecánicamente de la planta. Se pelan las brácteas que envuelven la mazorca y luego se separan los granos a mano o, más a menudo, mecánicamente.

El grano de maíz se denomina en botánica cariósipide o cariopsis; cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal, y la semilla.

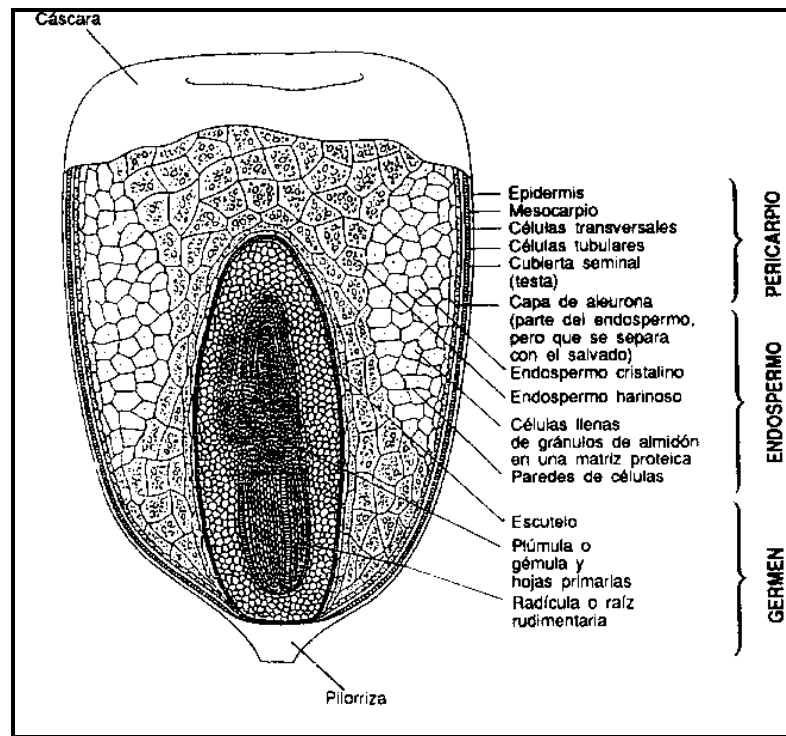


Figura 1-3: Estructura del grano de maíz: corte longitudinal aumentado aproximadamente 30 veces.

En la figura se muestran también las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cáscara, o salvado; el endospermo; el germen o embrión; y la piloriza (tejido inerte en que se unen el grano y el carozo). Wolf et al. (1952) y Wolf, Koo y Seckinger (1969) han descrito adecuadamente la anatomía general y la estructura microscópica de estos elementos anatómicos.

También han estudiado la estructura del maíz opaco-2 mejorado y han determinado que se diferencia del común en lo tocante al endospermo: su matriz proteica es más delgada y presenta menos y más pequeños cuerpos proteicas, pues en el maíz opaco-2 se da una

limitación de la síntesis de zeína. Robutti, Hoseny y Deyoe (1974) y Robutti, Hoseny y Wasson (1974) han estudiado la distribución proteica, el contenido de aminoácidos y la estructura del endospermo del maíz opaco-2. ⁽³⁾

1.1.4 CONDICIONES DEL CULTIVO PARA EL MAÍZ

➤ EXIGENCIAS CLIMÁTICAS

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C. Requiere bastante incidencia de luz solar y en aquellos climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C

El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir de los 30°C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua. Para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C.

➤ PLUVIOMETRÍA Y RIEGOS

⁽³⁾ <http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#Tipos%20de%20maiz>

PLUVIOMETRÍA

Las aguas en forma de lluvia son muy necesarias en periodos de crecimiento en unos contenido de 40 a 65 cm.

RIEGOS

El maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día. Los riegos pueden realizarse por aspersión y a manta. El riego más empleado últimamente es el riego por aspersión. Las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua pero sí mantener una humedad constante.

➤ EXIGENCIAS EN SUELO

El maíz se adapta muy bien a todos tipos de suelo pero suelos con pH entre 6 a 7 son a los que mejor se adaptan. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular. ⁽⁴⁾

⁽⁴⁾ http://www.fenalce.org/pagina.php?p_a=46

1.1.5 SIEMBRA, COSECHA Y SECADO DEL MAÍZ

➤ SIEMBRA

El maíz se siembra en Agosto o Septiembre en el hemisferio sur. Al sembrar en siembra directa se deben implantar 60 mil a 70 mil semillas por hectárea. Los surcos se ubican a 52 cm o a 70 cm.

En la siembra también se fertiliza el maíz con fosfato diamónico, el cual aporta fósforo y nitrógeno. El fósforo es un nutriente que numerosos cultivos necesitan al momento de la emergencia, por ello se llama a este tipo de fertilizantes "arrancadores". Cuando el maíz posee una altura de 15 a 20 cm respecto el suelo y 2 a 3 hojas se fertiliza nuevamente con urea granulada o UAN. ⁽⁵⁾

➤ COSECHA

Por lo general en nuestro país, se opta por una cosecha manual, que es una práctica común dejando el maíz en el campo adherido a las plantas por un tiempo variable; que

⁽⁵⁾ http://es.wikipedia.org/wiki/Zea_mays

depende de diversos factores como 105 ya mencionados, durante el cual el grano se seca en forma gradual.

Entre las prácticas más comúnmente usadas se podrían mencionar:

- a)** Dejar las plantas enteras en pie tal como se desarrollaron.
- b)** Cortar la parte superior de las plantas (espiga o flor masculina), para permitir una mayor exposición de las mazorcas al sol.
- c)** Doblado o quebrado. Este procedimiento consiste en doblar la parte superior de la planta o solamente la mazorca, para que la punta quede hacia abajo. Con esta práctica se pretende evitar que el agua de lluvia penetre al interior de la mazorca y disminuir el daño de los pájaros.

En el caso que la separación de las mazorcas se procluzca sin quitarle las hojas, su posterior deshojadura se puede efectuar con otro instrumento manual llamado "clavija"

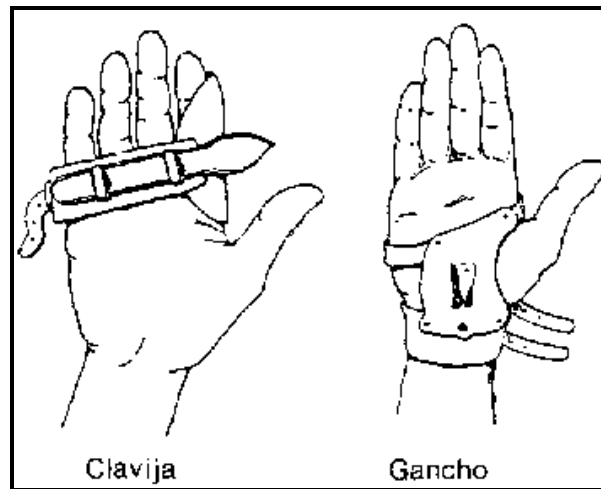


Figura 1-4: Ilustración de los instrumentos de cosecha.

Una vez cortadas las mazorcas, dependiendo del contenido de humedad, se acostumbra:

- a) Continuar el proceso de secado que se inició en el campo después de la madurez fisiológica
- b) Almacenarlas con o sin las hojas que las cubren
- c) Desgranarlas.⁽⁶⁾

➤ SECADO

⁽⁶⁾ <http://www.fao.org/docrep/x5051s/x5051s03.htm>

El secado es una medida importante para obtener un grano de buena calidad, exento de hongos y de microorganismos y que ofrezca las características cualitativas adecuadas para su comercialización y uso final.

1.1.6 USOS DEL MAÍZ

El maíz tiene tres usos posibles: alimento, forraje y materia prima para la industria.

Como alimento, se puede utilizar todo el grano, maduro o no, o bien se puede elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un número relativamente amplio de productos intermedios.

Como forraje, en los países desarrollados más del 60 por ciento de la producción se emplea para elaborar compuestos para aves de corral, cerdos y rumiantes; en los últimos años, aun en los países en desarrollo en los que el maíz es un alimento fundamental, se utiliza un porcentaje más elevado de la producción como ingrediente para la fabricación de piensos.

Como molienda húmeda produce almidón de maíz y subproductos entre los que figura el gluten que se utiliza como ingrediente alimenticio, mientras que el germen de maíz elaborado para producir aceite da como subproducto harina de germen; ha habido

algunos intentos de emplear dichos subproductos para el consumo humano en distintas mezclas y formulaciones alimenticias.

El aumento de los precios del petróleo ha impulsado la intensificación de las investigaciones sobre la fermentación del maíz para producir alcohol combustible, el cual tiene un uso muy difundido en algunas partes de los Estados Unidos. Con maíz fermentado se elaboran también algunas bebidas alcohólicas.⁽⁷⁾

1.1.7 MAÍZ HÍBRIDO

El desarrollo del maíz híbrido es indudablemente una de las más refinadas y productivas innovaciones en el ámbito del fito-mejoramiento. Esto ha dado lugar a que el maíz haya sido el principal cultivo alimenticio a ser sometido a transformaciones tecnológicas en su cultivo y en su productividad, rápida y ampliamente difundidas; ha sido también un catalizador para la revolución agrícola en otros cultivos.

⁽⁷⁾ <http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#Tipos%20de%20maiz>

El maíz tropical ha solo tardíamente utilizado los altos rendimientos generados por la heterosis y la investigación para el desarrollo de híbridos superiores y el uso del maíz híbrido en los trópicos está recibiendo ahora más atención. En algunas zonas subtropicales y otros ambientes favorables en los trópicos con condiciones para una alta productividad del maíz, los maíces híbridos han sido bien aceptados. En grandes áreas se obtienen rendimientos medios de 5-6 t/ha, pero esto, sin embargo, no sucede en la mayoría de los ambientes tropicales en que se cultiva maíz.

Los híbridos mezclados tienen un mayor espacio en los ambientes tropicales y deben ser críticamente analizados y explotados.⁽⁸⁾

1.1.8 VARIEDAD 5.5.3 DE MAÍZ (HÍBRIDO INIAP)

Los híbridos y variedades de maíz duro generados y puestos a disposición de los productores por parte del INIAP, cubrieron en promedio del 23,43% de la superficie cultivada durante el período de estudio comprendido entre 2000 y 2008, observándose una tendencia creciente.

⁽⁸⁾ <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s16.htm>



Figura 1-5: Ilustración de la semilla del INIAP variedad 5.5.3.

Así en el 2008 esta cobertura representó el 33,69 % de la superficie cultivada, lo cual demuestra una muy buena participación de mercado por la aceptación de los materiales generados por el INIAP, misma que es notoria principalmente en pequeños y medianos productores, esto inició en el desplazamiento, de la curva de oferta por incremento en rendimiento, debido principalmente a la adopción por parte de los productores de las tecnologías generadas a través de la investigación realizada por el INIAP.

Refiriéndose a la variedad 5.5.3 es un maíz híbrido pero más se lo maneja en el centro del litoral u oriental, con un buen manejo este por hectárea rinde 180 qq, la altura de planta es de 2,40 cm en el tiempo de 115 días para cosechar la producción.

Adaptable a cualquier condición de riego aunque no es tan recomendable en la región oriental puesto que es una zona lluviosa.

Es de buena mazorca color amarillo cristalino, en conclusión es híbrido que se adapta bien al clima cálido y por su calidad es de mayor rendimiento con poca inversión. ⁽⁹⁾

1.1.9 ABONOS

La definición de abono según el reglamento de abonos de la Unión Europea es "material cuya función principal es proporcionar elementos nutrientes a las plantas". La acción consistente en aportar un abono se llama fertilización. Los abonos, junto a las enmiendas, forman parte de los productos fertilizantes. Los abonos han sido utilizados desde la Antigüedad, cuando se añadían al suelo, de manera empírica, los fosfatos de los huesos (calcinados o no).

Los abonos aportan:

- **Elementos de base**, nitrógeno (símbolo químico N), fósforo (P), potasio (K). Se habla de abonos de tipo NPK si los tres están asociados juntos. Si no se habla igualmente de N, NP, NK, PK.

⁽⁹⁾ Ref. Bibliogr. Transferencia de Tecnologías generadas por el INIAP-ECUADOR. Págs. 50

- **Elementos secundarios**, calcio (Ca), azufre (S), magnesio (Mg),² oligoelementos tales como el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el molibdeno (Mo), el cobre (Cu), el boro (B), el zinc (Zn), el cloro (Cl), el sodio (Na), el cobalto (Co), el vanadio (V) y el silicio (Si).

Estos elementos secundarios se encuentran habitualmente en cantidad suficiente en el suelo, y son añadidos únicamente en caso de carencia.

Las plantas tienen necesidad de cantidades relativamente importantes de los elementos de base. El nitrógeno, el fósforo y el potasio son pues los elementos que es preciso añadir más corrientemente al suelo. ⁽¹⁰⁾

1.1.9.1 ABONOS SINTÉTICOS (ó fertilizantes químicos)

Hay tres sustancias principales en la composición de los fertilizantes sintéticos, el nitrógeno, el fósforo y el potasio, estas sustancias son las más importantes en el crecimiento vigoroso de las plantas, y a su vez son las que más se agotan en el suelo.

Es necesario hacer una referencia más profunda de los tipos de abono sintético utilizado en la realización del proyecto, mismos que son:

⁽¹⁰⁾ <http://es.wikipedia.org/wiki/Abono>

▪ **NITRÓGENO**

Las plantas además de vitaminas o aminoácidos necesitan elementos químicos entre ellos, uno de los más importantes es el N, el cual se administra en forma de urea, nitratos, complejos de amonio o amoniaco puro, por medio de los fertilizantes.

Los fertilizantes nitrogenados más importantes son: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NaNO_3 , KNO_3 y NH_4NO_3 .



Figura 1-6: Ilustración de la Urea

El nitrógeno supone el mayor gasto dentro de la fertilización de los cultivos y son la fuente principal de contaminación de las aguas debido a su gran solubilidad en agua,

los nitratos bajan hacia las capas inferiores del suelo cuando existe exceso de agua y ascienden a la superficie por efecto de capilaridad cuando hay escasez de agua, lo que supone un doble contaminación a nivel superficial y subterráneo.

IMPORTANCIA DEL NITRÓGENO EN LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS.

El nitrógeno es uno de los macronutrientes indispensables para el desarrollo y crecimiento de las plantas. El nitrógeno es muy abundante en el suelo y depende del contenido en materia orgánica. Existe entre 0.02 - 0.4 % de N en suelo del cual el 98% está en forma orgánica. Solo una pequeña fracción resulta asimilable por las plantas.

El nitrógeno sirve a las plantas para la formación de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y constituye más del 20% del peso seco de la planta. Y el contenido en el suelo depende de varios factores como el clima, tipo de vegetación, tipo de suelo.

Para la fertilización se debe tener en cuenta varios factores:

1. La respuesta del cultivo
2. Condiciones climáticas de temperatura y pluviometría de la zona
3. Condiciones de drenaje del suelo
4. Cantidad de fertilizante
5. Cubierta de residuos
6. Textura
7. Estructura
8. Control dinámica del nitrógeno

▪ **FÓSFORO**

El fósforo es un componente esencial de los vegetales, cuya riqueza media en P_2O_5 es del orden del 0,5 al 1 % de la materia seca. Se encuentra, en parte, en estado mineral, pero principalmente formando complejos orgánicos fosforados con lípidos, proteínas y glúcidos, como la lecitina, las nucleoproteínas (componentes del núcleo celular) y la fitina (órganos de reproducción).

El fósforo interviene activamente en la mayor parte de las reacciones bioquímicas complejas de la planta que son la base de la vida: respiración, síntesis y descomposición de glúcidos, síntesis de proteínas, actividad de las diastasas, etc.



Figura 1-7: Ilustración del Fósforo

El papel fundamental del fósforo en las transferencias de energía ha sido bien comprobado. Los iones fosfóricos son capaces de recibir energía luminosa captada por la clorofila y transportarla a través de la planta. También tiene una gran importancia en el metabolismo de diversas sustancias bioquímicas.

En términos generales, puede decirse que es un elemento regulador de la vegetación y, por tanto, un factor de calidad. Favorece precisamente los periodos de vegetación que son críticos para el rendimiento del cultivo: fecundación, maduración y movimiento de las reservas.

Una alimentación insuficiente en fósforo se manifestará en el análisis de la planta por un contenido menor de fósforo en los órganos verdes y en el grano. Para el agricultor supondrá un retraso del crecimiento, fecundación defectuosa, movimiento anormal de las reservas y retraso de la maduración, lo que determina en conjunto una reducción más o menos pronunciada de la cosecha y menor calidad de la misma.

▪ **POTASIO**

El potasio es absorbido intensamente durante la etapa juvenil de la planta de maíz. En la mayor parte de los suelos las pérdidas de potasio son relativamente pequeñas. A menos que se trate de suelos con texturas muy gruesas, se recomienda la aplicación de fertilizantes potásicos totalmente en la siembra, en forma de bandas enterradas a un lado y por debajo de la semilla.



Figura 1-8: Ilustración del cloruro de potasio

El cloruro de potasio se utiliza principalmente en mezclas fertilizantes. Sirve también como material de partida para la manufactura de otros compuestos de potasio.

El potasio es un elemento muy abundante y es el séptimo entre todos los elementos de la corteza terrestre; el 2.59% de ella corresponde a potasio en forma combinada. El agua de mar contiene 380 ppm, lo cual significa que el potasio es el sexto más abundante en solución.

1.1.9.2

APLICACIÓN DE LOS ABONOS



Figura 1-9: Ilustración de aplicación de abono

Generalmente los abonos son incorporados al suelo, pero pueden ser también aportados por el agua de riego. Una técnica particular, el cultivo hidropónico, permite alimentar las plantas con o sin sustrato. Las raíces se desarrollan gracias a una solución nutritiva – agua más abonos - que circula en contacto con ellas. La composición y la concentración de la solución nutritiva deben ser constantemente reajustadas.

En ciertos casos, una parte de la fertilización puede ser realizada por vía foliar, en pulverización. En efecto, las hojas son capaces de absorber abonos, si son solubles y la superficie de la hoja permanece húmeda bastante tiempo. Esta absorción queda siempre limitada en cantidad. Son, pues, muchos los oligoelementos que pueden ser aportados así, teniendo en cuenta las pequeñas cantidades necesarias a las plantas.

Los abonos deben ser utilizados con precaución: Generalmente se sugiere.

- Evitar los excesos, pues fuera de ciertos umbrales los aportes suplementarios no solamente no tiene ningún interés económico, sino que pueden ser tóxicos para las plantas (en particular los oligoelementos), y de dañar el entorno.
- Controlar sus efectos sobre la acidez del suelo. Tener en cuenta las interacciones posibles entre los elementos químicos.⁽¹¹⁾

(11) <http://es.wikipedia.org/wiki/Abono>

1.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño de experimentos es fundamental en la investigación científica, cuyo objetivo es ampliar el conocimiento que sobre la naturaleza y la humanidad se tiene.

En el caso de la ciencia, el objetivo es producir conocimiento y soluciones fundamentales, por tanto aquí es más necesario recurrir a estrategias bien planeadas que lleven a responder con mayor seguridad y amplitud las interrogantes planteadas. También en este campo encuentra el obstáculo de la estrategia tradicional de la prueba y error.

El objetivo de los métodos estadísticos es lograr que el proceso de generar conocimiento y aprendizaje sea tan eficiente como sea posible. Este proceso ha demostrado, a lo largo de la historia de la humanidad, ser un proceso secuencial en el cual interactúan dos polos por un lado la teoría, modelos, hipótesis, conjeturas, supuestos y por el otro la realidad, hechos, fenómenos, evidencia, datos.

EL proceso interactivo de aprendizaje puede visualizarse con un ciclo de retroalimentación:

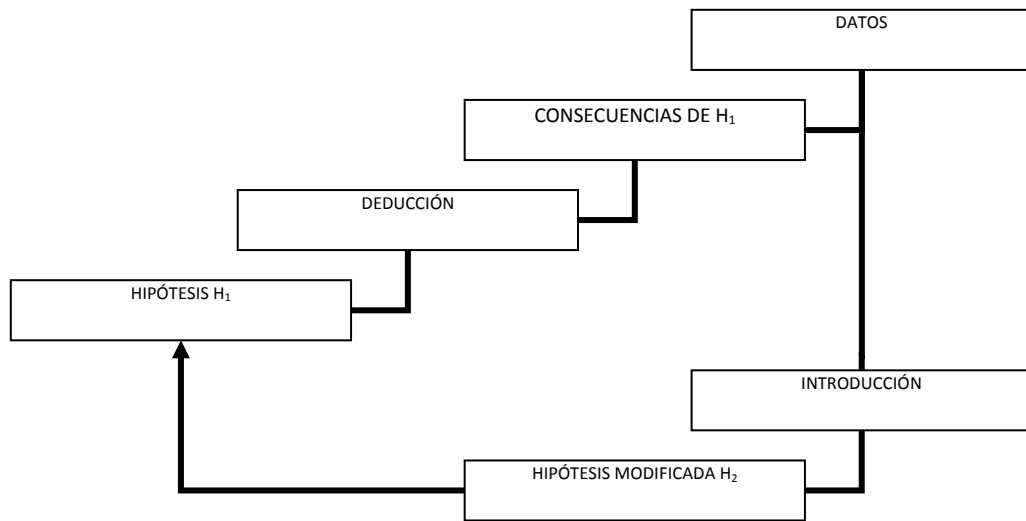


Figura 1-10:Proceso de generación de aprendizaje y conocimiento como un ciclo de retroalimentación

En el cual las discrepancias entre los datos y las consecuencias de la hipótesis H_1 , lleva a una hipótesis modificada H_2 , y de la verificación de ésta, además de conocimiento, se llega a una modificación de la modificación (hipótesis H_3), y así sucesivamente.

La dirección del aprendizaje es: conocimiento, conjeturas, imaginación, experimentación, análisis y reflexión; y esto de forma repetida se transforma en aprendizaje. Para establecer conjeturas se requiere conocimiento previo, para que tales conjeturas sean más concretas. ⁽¹²⁾

⁽¹²⁾ Ref. Bibliogr. Análisis y Diseño de Experimentos. Págs. 7-9

1.2.1 ETAPAS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Un diseño experimental es algo más que un conjunto de condiciones de prueba; más bien es una secuencia de etapas o actividades que deben realizarse para cumplir con éxito los objetivos que se persiguen.

A continuación se describen de manera breve las etapas del diseño de experimentos con objeto de dar una visión global de lo que implica su correcta aplicación.

PLANEACIÓN

1. *Encontrar un problema de calidad*

Es el primer paso en cualquier esfuerzo por entender el problema. Es fundamental además tener un conocimiento inicial sobre el proceso donde se ubica el problema; tener idea de cuáles variables de respuesta son más importantes y cuáles factores de proceso o variables pueden influir en su desempeño.

2. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse

A través de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta. No se trata de que el experimentador tenga que saber a priori cuáles factores influyen, puesto que precisamente para eso es el experimento, pero sí de que utilice toda la información disponible al respecto.

3. Elegir la(s) variable(s) de respuesta que serán medidas en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.

La elección de esta(s) variable(s) es vital, ya que son el objetivo del experimento, y son las que se pretende mejorar. Es frecuente que haya más de a variable de respuesta.

4. Seleccionar el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.

Este paso también implica determinar cuántas re-peticiones se harán para cada tratamiento, tomando en cuenta el tiempo, costo y la precisión deseada.

5. Planear y organizar el trabajo experimental.

Con base en el diseño seleccionado, organizar y planear con detalle el trabajo experimental, por ejemplo las personas que van a intervenir, la forma operativa en que se harán las cosas, etcétera.

6. Realizar el experimento.

Seguir al pie de la letra el plan previsto en la etapa anterior, y en caso de algún imprevisto no contemplado, señalar la persona a la que se le reportaría y lo que se haría.

ANÁLISIS

Se debe determinar el modelo de análisis de varianza ANOVA (es su acrónimo en inglés) o la técnica estadística que mejor describa el comportamiento de los datos. En algunos experimentos el análisis de varianza que arrojan directamente los sistemas computacionales no es el más adecuado y el experimentador debe refinarlo, para lo cual se recomienda utilizar técnicas gráficas de apoyo.

INTERPRETACIÓN

Aquí se debe ir más allá del análisis estadístico formal, y se debe analizar con detalle lo que ha pasado en el experimento, desde contrastar las conjeturas iniciales con los resultados del experimento, hasta observar los nuevos aprendizajes que sobre el proceso se lograron, verificar supuestos y elegir el tratamiento ganador.

CONCLUSIONES FINALES

Para concluir el proyecto se recomienda decidir qué medidas implementar para generalizar el resultado del estudio y para garantizar que las mejoras se mantengan.

Además organizar una presentación para difundir los logros. ⁽¹³⁾

1.2.2 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El punto de partida para una correcta planeación es aplicar los principios básicos del diseño de experimentos: aleatorización, repetición y bloqueo, los cuales tienen que ver directamente con que los datos obtenidos sean útiles para responder a las preguntas planteadas, es decir, la validez del análisis de los datos se apoya en estos principios.

ALEATORIZACIÓN

Consiste en hacer las corridas experimentales en orden aleatorio y con material seleccionado también aleatoriamente. Este principio aumenta la probabilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla, que es un requisito para la validez de las pruebas de estadísticas que se realizan.

⁽¹³⁾ Ref. Bibliogr. Análisis y Diseño de Experimentos. Págs. 14-16

También es una manera de asegurar que las pequeñas diferencias provocadas por materiales, equipo y todos los factores no controlados, se repartan de manera homogénea en todos los tratamientos.

REPETICIÓN

Es correr más de una vez un tratamiento o combinación de factores dada. No confundir este principio con medir varias veces el mismo producto o artículos fabricados de una sola vez en cierta combinación de factores. Repetir es volver a correr el proceso, partir desde volver a fijar las condiciones de operación, para obtener un nuevo producto, hasta el medir resultado de esta otra corrida del proceso.

Las repeticiones permiten distinguir mejor qué parte de la variabilidad total de los datos se debe al error aleatorio y cuál a los factores. Cuando no se hacen repeticiones no hay manera de estimar la variabilidad natural o error aleatorio y esto dificulta la construcción de estadísticas realistas en el análisis de los datos. El repetir aumenta la confiabilidad de las mediciones, ya que las repeticiones en el mismo tratamiento se esperan razonablemente parecidas, en particular cuando el proceso está en control estadístico.

BLOQUEO

Es nulificar o tomar en cuenta en forma adecuada todos factores que puedan afectar la respuesta observada. El nombre de E principio se deriva de experimentos agrícolas en los cuales se controla el efecto de la parcela (bloque) al comparar varios tratamientos. Al bloquear se supone que el subconjunto de datos que se obtengan dentro de cada bloque (nivel particular del factor bloqueado), deben resultar más homogéneos que el conjunto total de datos. Con el principio de bloqueo se logra mayor precisión del experimento al eliminar variabilidad no explica»: que provocaría el error aleatorio. ⁽¹⁴⁾

1.2.3 CLASIFICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

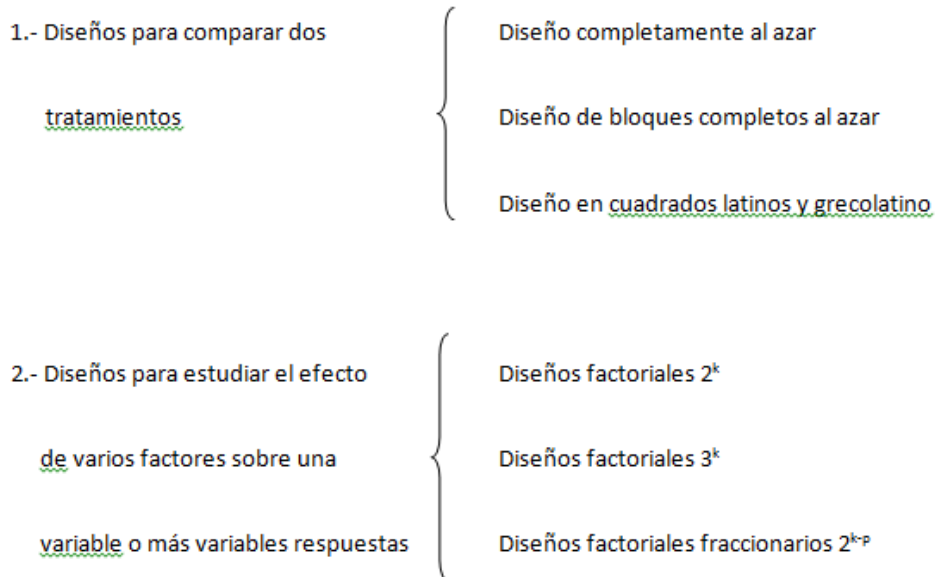
Se han inventado y propuesto muchos diseños experimentales para poder estudiar la gran diversidad de problemas o situaciones que ocurren en la práctica. Esta cantidad de diseños hace necesario saber cómo elegir el más adecuado para el problema que se quiere resolver, y por ende, conocer cómo es que se clasifican los diseños de acuerdo a su objetivo y a su alcance dentro del objetivo en cuestión.

⁽¹⁴⁾ Ref. Bibliogr. Análisis y Diseño de Experimentos. Págs. 17-18

Los cinco aspectos que más influyen en la selección de un diseño experimental, en el sentido de que cuando cambian nos llevan generalmente a cambiar de diseño, son:

1. El objetivo del experimento.
2. El número de factores a controlar.
3. El número de niveles que se prueban en cada factor.
4. Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta).
5. El costo del experimento, tiempo y precisión deseada. ^(xxx)

A continuación se muestra de manera resumida la aplicación de los diseños:



1.2.4 FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN AGRÍCOLA

La estadística es uno de los elementos básicos de la experimentación agrícola, ya que mediante ella se pueden obtener algunas conclusiones acerca de tales experimentos.

El desarrollo agrícola de un país se basa en las investigaciones que se realizan en ese campo, valiéndose de la experimentación. Cualquier modalidad en las técnicas de cultivo, al introducirse por primera vez a una región, necesita de la experimentación para poder adaptarlo y divulgarlo entre los agricultores. Esto se debe a que las condiciones de clima y suelo varían en cada región, estación y año.

Para el aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles, los experimentos se deben diseñar de acuerdo con los principios estadísticos que permiten al experimentador llegar a conclusiones correctas acerca de un problema específico. Los experimentadores y estadísticos deben planear los experimentos conjuntamente. Para ello el estadista debe tener un criterio práctico y el experimentador un criterio estadístico.

1.2.4.1 DEFINICIONES BÁSICAS EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL

TRATAMIENTO

Es una de las formas que, en cantidad o calidad, el factor a estudiar toma durante el experimento. Los tratamientos a estudiar durante el experimento pueden ser una combinación de varios factores simples.

UNIDAD EXPERIMENTAL

Es el material experimental al que se aplica un tratamiento de manera uniforme. Puede ser un animal, un conjunto de semillas, una parcela, una maceta, un árbol, un tubo de ensayo, etcétera.

TRATAMIENTO TESTIGO

Es un tratamiento que se compara. Por ejemplo, si se quiere probar en una región el grado de adaptación y rendimiento de una variedad nueva de plátano, se planeará el ensayo de tal manera que se incluyen variedades locales como testigos. Si la nueva variedad presenta mayor resistencia a enfermedades, insectos, vientos, precipitación, etc., y en consecuencia produce mayor rendimiento por hectárea, esa variedad se recomendará para la zona.

REPETICIÓN

Cuando en un experimento se tiene un conjunto de tratamientos para poder estimar el error experimental, es necesario que dichos tratamientos aparezcan más de una vez en el experimento, para así aumentar la precisión de éste, controlar el error experimental y disminuir la desviación estándar de la media. Por lo tanto, se entenderá por repetición al número de veces que un tratamiento aparece en el experimento.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Es el procedimiento que se sigue para asignar los tratamientos a las unidades experimentales. Es un método aleatorio, o sea, de asignación al azar, porque se decide el tratamiento que corresponde a cada unidad experimental mediante un sorteo o por medio de una Cuadro de números aleatorios.

BLOQUE

Es un conjunto de unidades experimentales lo más homogéneas posibles, en el cual aparecen todos los tratamientos una sola vez; dicho bloque se debe colocar perpendicular al gradiente para tratar de minimizar el error.

ERROR EXPERIMENTAL

Los resultados experimentales varían no sólo por la acción de los tratamientos. Sino también por variaciones ambientales que tienden a enmascarar el efecto de los tratamientos. Por lo general, para expresar estas variaciones se usa el término error experimental. Pero el término error no quiere decir equivocación, sino que incluye todo tipo de variación externa ajena al material experimental.

El error experimental es la medida de variación que existe entre las observaciones de unidades experimentales en el mismo tratamiento, es decir, la variación no proveniente de los tratamientos.

Existen dos clases de variaciones: la variación inherente al material experimental, al que se aplican los tratamientos, y la que proviene de la falta de uniformidad en la realización física del experimento. Si los resultados obtenidos tienen la precisión necesaria para llegar a conclusiones válidas, ninguna de las dos fuentes de variación deben preocupar al investigador.

Durante la realización del experimento debe quedar claro que todas las labores se harán con uniformidad para todo el lote experimental, excepto las que estén en estudio. Cuando se efectúan experimentos de abonamiento, variedades, etc., es importante conocer el

origen de cada tratamiento, las características de las variedades y el análisis de los abonos. Los materiales para aplicarlos tratamientos se deben conseguir y preparar oportunamente hasta el día del inicio del experimento.

La siembra, abonamiento, labores culturales y otras, se deben realizar el mismo día para todo el experimento. Lo anterior es necesario en los lugares lluviosos, porque las labores realizadas antes y después de llover encuentran el terreno en condiciones diferentes, lo cual puede causar variabilidad en la germinación, efecto de los abonos, etc. Si no es posible realizar la labor completa en un día se debe evitar dejar bloques sin terminar.

Cuando se trabaja con varios obreros de campo es importante cuidar que ninguno se dedique a un mismo tratamiento en todas las repeticiones del experimento. Ya que, un obrero puede trabajar mejor que otro y en consecuencia, el tratamiento que realice estará en ventaja. ⁽¹⁵⁾

VARIABLES, FACTORES Y NIVELES

Es todo proceso intervienen distintos tipos de variables o factores como los que se definen a continuación:

⁽¹⁵⁾ Ref. Bibliogr. Diseños Experimentales con Aplicación a la Agricultura y la Ganadería. Págs. 9-12

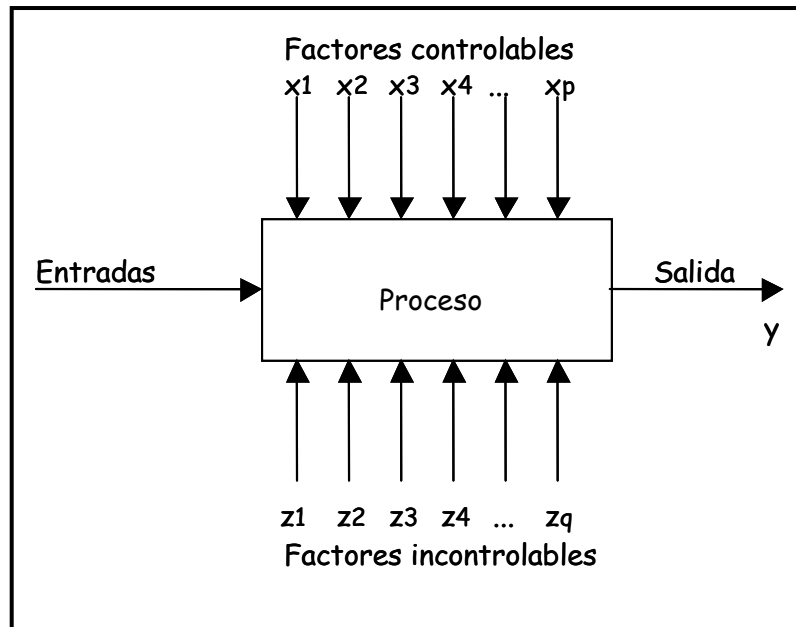


Figura 1-11: Variables de un proceso al diseñar un experimento

VARIABLE DE RESPUESTA

Es la característica, variable de salida o propiedad del producto, cuyo valor interesa mejorar). Por lo general el valor de dicha característica determina algún aspecto de la calidad del producto. La conjetura típica para utilizar diseño experimental existe otra manera de operar el proceso en la cual el comportamiento de una o varias variables de respuesta sería mejor que el actual.

FACTORES CONTROLABLES

Son variables de proceso o variables de entrada que se pueden fijar en un punto o en un nivel de operación. Algunos de éstos son los que usualmente se controlan durante la operación normal del proceso y se distinguen porque para cada uno de ellos existe la manera o el mecanismo para cambiar o manipular su nivel de operación.

FACTORES NO CONTROLABLES O DE RUIDO

Son variables que no se pueden controlar durante la operación normal del proceso. Por ejemplo, algunos factores que suelen ser no controlables son las variables ambientales (luz, humedad, temperatura, partículas, ruido, etc.), el ánimo de los operadores, la calidad del material que se recibe del proveedor (interno o externo) y los diversos usos que el cliente pueda dar al producto. Un factor que ahora es no controlable puede convertirse en controlable, cuando se tenga el mecanismo o tecnología para ello.

NIVELES Y TRATAMIENTOS

Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores se llama tratamiento o punto de diseño.

De acuerdo con estas definiciones, en el caso de experimentar con un solo factor, la combinación de niveles es a la vez un tratamiento. ⁽¹⁶⁾

1.2.5 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

La hipótesis de interés es la misma para todos los diseños comparativos, y está dada por:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k = \mu$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \quad \text{para algún } i \neq j$$

La afirmación a probar es que la respuesta media poblacional lograda con cada tratamiento es la misma para los k tratamientos, y que por tanto cada respuesta media μ_i es igual a la media global poblacional, μ .

Por tanto la hipótesis anterior se prueba con un *Análisis de Varianza*.

⁽¹⁶⁾ Ref. Bibliogr. Análisis y Diseño de Experimentos. Págs. 10-11

El análisis de la varianza (ANOVA cuyas siglas significan Analysis Of Variance, según terminología inglesa) es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas.

NOTA HISTÓRICA

Las técnicas iniciales del análisis de varianza fueron desarrolladas por el estadístico y genetista R. A. Fisher en los años 1920 y 1930 y es algunas veces conocido como "Anova de Fisher" o "Análisis de Varianza de Fisher", debido al uso de la distribución F de Fisher como parte del contraste de hipótesis.

La lógica de un contraste en un análisis de varianza es sencillo puesto que se compara dos cálculos independientes de la varianza (dependiendo del modelo en el cual se efectúe) para la variable independiente:

- *SUMA DE CUADRADOS DEL ERROR* refleja la variabilidad a los efectos del tratamiento

- *SUMA DE CUADRADOS DEL TRATAMIENTO* representa la variabilidad existente entre los grupos que se atribuyen a los efectos del tratamiento

Estas varianzas se detallarán más adelante en el respectivo estudio de los modelos utilizados en el proyecto.

VALOR p

Es conveniente citar el valor p porque es una medida (cuantitativa) de la fuerza de la evidencia en contra de la Hipótesis nula.

Es conocido que, mientras más pequeño sea el valor P , más fuerte es la evidencia en contra de la hipótesis nula.

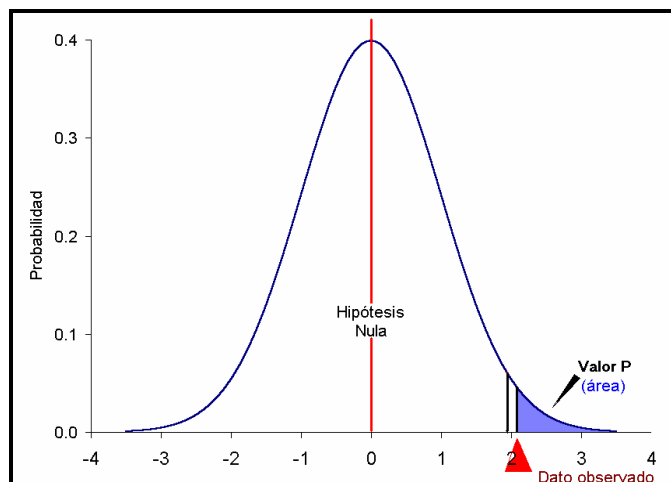


Figura 1-12: Ilustración para la toma de decisión para del valor p

Cabe recalcar que si las observaciones en la muestra soportan la Hipótesis nula, entonces es más probable que esta Hipótesis sea cierta.

Donde v es el valor del estadístico de prueba.

Finalmente la decisión se toma;

– Si valor p es menor que Alfa (α), se rechaza H_0

– Si valor p es mayor que Alfa (α), se acepta H_0

1.2.6 ANÁLISIS DE RESIDUOS

Al ajustar cualquier modelo lineal, el análisis de residuos es necesario para determinar la idoneidad del ajuste.

Los residuos son la diferencia entre los valores observados y los valores predichos por el modelo ajustado.

$$e_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_{ij}$$

Ecuación 1

Resulta útil examinar una gráfica de probabilidad normal, una gráfica de los residuos contra los valores ajustados y una gráfica de los residuos contra cada variable de regresión.

Además, los residuos deben graficarse contra las variables potencialmente importantes que no fueron incluidas en el modelo. Cualquier estructura en dicha gráfica indicaría que el modelo puede mejorarse agregando este factor.

COMPARACIÓN DOS A DOS DE LOS TRATAMIENTOS EN CUANTO A SU VARIABILIDAD

La desviación estándar de los residuos en cada combinación, indica el tratamiento que tiene mayor variabilidad. El tratamiento ganador presentará la menor variabilidad muestral.

Una prueba estadística para probar la hipótesis de igualdad de varianza en los tratamientos diferentes:

$$H_0: \sigma^2_{(i,j)} = \sigma^2_{(i,j)'} \quad \text{con } (i,j) \neq (i,j)'$$

Se basa en el siguiente estadístico de prueba:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{S_{(i,j)}^2}{S_{(i,j)'}^2} \right)$$

Ecuación 2

El cual se compara con los cuantiles de una distribución normal estándar. Por tanto la regla de decisión será:

Se rechaza H_0 sí, el módulo $|Z_0^*| > Z_{1-\alpha}$

1.2.7 VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS

La validez de los resultados obtenidos en cualquier análisis de varianza queda supeditada a que los supuestos del modelo se cumplan. Estos supuestos del modelo de ANOVA son: *normalidad, varianza constante (o varianza de los tratamientos) e independencia*. Esto es, la respuesta (Y) debe provenir de una distribución normal, con la misma varianza en cada tratamiento y las mediciones deben ser independientes.

Estos supuestos sobre Y se traducen en supuestos sobre el término error (ϵ) en los diferentes modelos.

Los residuos, e_{ij} , se definen como la diferencia entre la respuesta observada (Y_{ij}) y la respuesta predicha por el modelo (\hat{Y}_{ij}), lo que permite hacer un diagnóstico más directo de la calidad del modelo, ya que su magnitud señala qué tan bien describe los datos el modelo.

De aquí se debe cumplir:

1. Los e_{ij} siguen una distribución normal con media cero
2. Los e_{ij} son independientes entre sí
3. Los tratamientos tienen una varianza constante δ^2

Para comprobar cada supuesto existen pruebas analíticas y gráficas, que se detallan a continuación.

1.2.7.1 NORMALIDAD

Un procedimiento para verificar el cumplimiento del supuesto de normalidad de los residuos.

a) MÉTODO GRÁFICO

Sirve para verificar visualmente si los datos siguen o no una distribución específica, se dice que existe normalidad en los datos cuando al ser graficados de tal modo que se presente una línea recta; si los puntos no se alinean claramente se puede concluir que no se cumple con este supuesto de normalidad.

Los pasos en la construcción de la gráfica de probabilidad normal para los residuos son los siguientes:

1. Ordenar los N valores del menor al mayor y asignarles rangos de 1 a N . Sean r_i , $i=1, 2, \dots, N$, los datos en orden creciente.
2. Calcular una posición de grafica para cada dato en función de su rango y del total de observaciones como $(i - 0.5)/N$, $i=1, 2, \dots, N$
3. El papel de probabilidad normal es un formato para realizar u gráfica del tipo X - Y , donde una de las escalas es lineal y otra es logarítmica. Sobre el papel de probabilidad normal se dibujan las parejas $(r_i (i - 0.5)/N)$, la primera entrada $((i - 0.5)/N)$ sobre la escala logarítmica del papel y la segunda (r_i) sobre la escala lineal.

4. Dibujar una línea recta sobre los puntos para tratar de dilucidar se ajustan a ella o no. La interpretación de la gráfica es sur pero muchas veces es suficiente para llegar a una conclusión razonable sobre la distribución que siguen los datos.⁽¹⁷⁾

Para ilustrar se presenta:

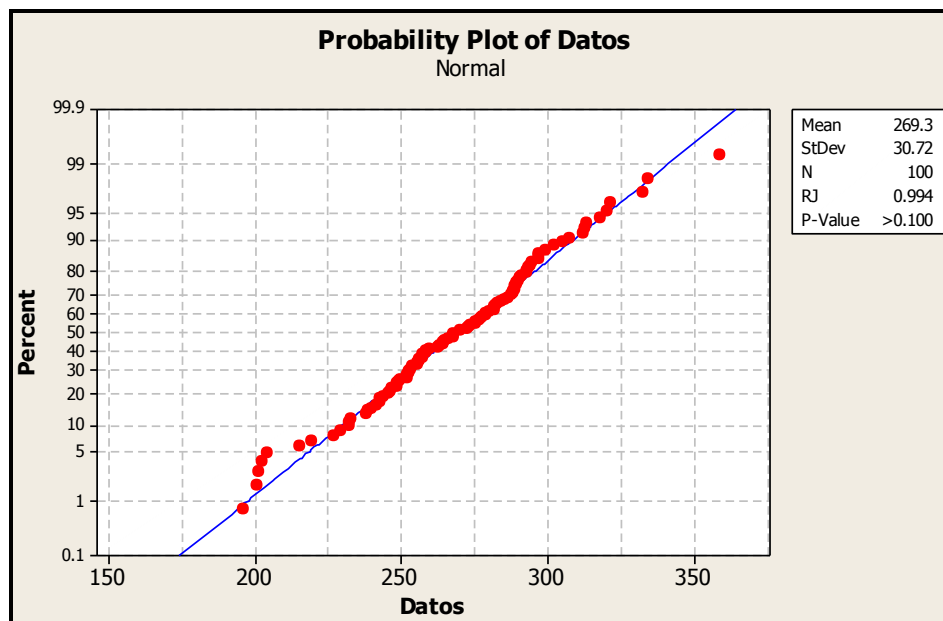


Figura 1-13: Ilustración del cumplimiento del supuesto de Normalidad

b) MÉTODO ANALÍTICO

⁽¹⁷⁾ Ref. Bibliogr. Análisis y Diseño de Experimentos. Pág. 102

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE

Estas pruebas permiten verificar que la población de la cual proviene una muestra tiene una distribución especificada o supuesta.

Sea: X : variable aleatoria poblacional

$f_0(x)$ la distribución (o densidad) de probabilidad especificada o supuesta para X

Se desea probar la hipótesis:

$$H_0: f(x) = f_0(x)$$

en contraste con la hipótesis alterna:

$$H_a: f(x) \neq f_0(x) \text{ (negación de } H_0)$$

PRUEBA CHI-CUADRADA DE BONDAD DE AJUSTE

Esta prueba es aplicable para variables aleatorias discretas o continuas.

La teoría estadística demuestra que una prueba de bondad de ajuste entre las frecuencias observadas y esperadas se basa en la cantidad

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Ecuación 3

donde χ^2 es un valor de una variable aleatoria cuya distribución muestral se aproxima muy cerca con la distribución chi cuadrada con $v=k-1$ grados de libertad. Los símbolos o_i y e_i representan la frecuencia observada y esperada respectivamente, para i -ésima celda.

El número de grados de libertad que se asocia con la distribución chi cuadrada que se utiliza aquí es igual a $k-1$, pues hay sólo $k-1$ frecuencias de celdas libremente determinadas. Es decir, una vez que se determinan las frecuencias de $k-1$ celdas queda determinada la frecuencia para la k -ésima celda.

Si las frecuencias observadas están cerca de las frecuencias esperadas correspondientes, el valor χ^2 será pequeño, lo cual indica un buen ajuste.

Si las frecuencias observadas difieren de manera considerable de las frecuencias esperadas, el valor χ^2 será grande y el ajuste deficiente. Un buen ajuste conduce a la aceptación de $H_0: f(x) = f_0(x)$; mientras que un ajuste deficiente conduce a un rechazo.

La región crítica caerá por tanto, en la cola derecha de la distribución chi cuadrada. Para un nivel de significancia igual a α , encontramos el valor crítico de χ^2_α , entonces, $\chi^2 > \chi^2_\alpha$ constituye la región crítica.

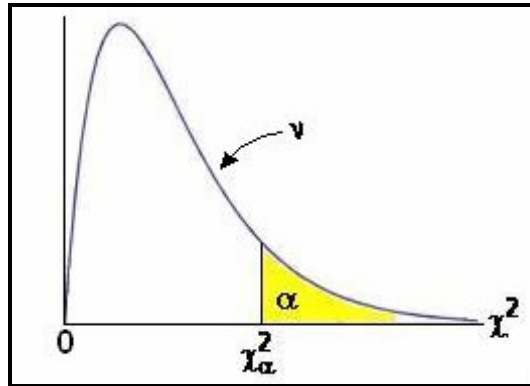


Figura 1-14: Ilustración de la región de rechazo de H_0 .

El criterio de decisión que aquí se describe no se debería utilizar, a menos que $\forall i, e_i \geq 5$, es decir, cada una de las frecuencias esperadas sea al menos iguala 5. Esta restricción podría requerir la combinación de celdas adyacentes, lo que tiene como resultado una reducción en el número de grados de libertad.⁽¹⁸⁾

1.2.7.2 VARIANZA CONSTANTE

⁽¹⁸⁾ Ref. Bibliogr. Probabilidad y Estadística. Págs. 450

Uno de los pasos previos a la comprobación de si existen diferencias entre las medias de varias muestras es determinar si las varianzas en tales muestras son iguales (es decir, si se cumple la condición de homogeneidad de varianzas o homoscedasticidad), ya que de que se cumpla o no esta condición dependerá la formulación que empleemos en el contraste de medias.

a) MÉTODO GRÁFICO

Una forma de verificar el supuesto de varianza constante (o que los tratamientos tienen la misma varianza) es graneando los predichos contra los residuos (\hat{Y}_{ij} vs. e_{ij}), generalmente \hat{Y}_{ij} va en el eje X (horizontal) y los residuos en el eje vertical.

Si los puntos en la gráfica de residuos contra los predichos se distribuyen aleatoriamente en una banda horizontal (sin ningún patrón claro y contundente), entonces es señal de que se cumple el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.

Por el contrario, si se distribuyen con algún patrón claro y contundente, por ejemplo si se comportan con una forma muy clara y contundente de "corneta o embudo", entonces es señal de que no se está cumpliendo el supuesto de varianza constante.

En particular, si la parte estrecha del "embudo" está orientada para donde se quiere llevar la respuesta (ya sea minimizar o maximizar), entonces lo que nos indica esa gráfica es que en esos niveles predichos para la respuesta, se espera una menor variabilidad, por lo que se debe ver cómo esto afecta las conclusiones.

Otra gráfica que ayuda a verificar el supuesto es la gráfica de niveles de factor contra residuos. En el eje X de esta gráfica se ponen los tratamientos o los niveles de un factor, y en el eje vertical se agregan los residuos correspondientes a cada tratamiento o nivel de factor. Si se cumple el supuesto de varianza constante, se espera que la amplitud de la dispersión de los puntos en cada nivel de factor tenderá a ser similar; y no se cumplirá el supuesto si hay diferencias fuertes en esta amplitud. ⁽¹⁹⁾

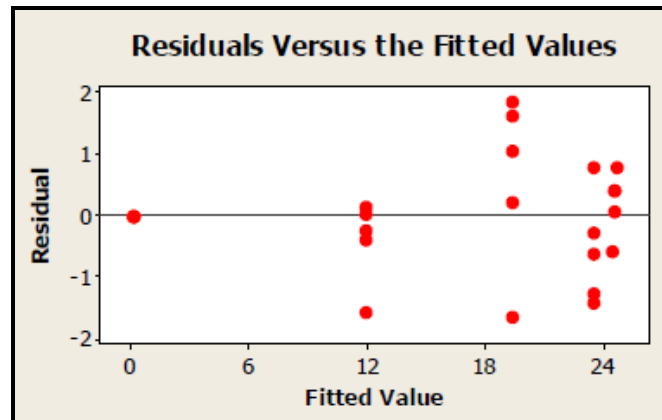


Figura 1-15: Ilustración del cumplimiento del supuesto de Homocedasticidad.

⁽¹⁹⁾ Ref. Bibliogr. Análisis y Diseño de Experimentos. Pág. 105

b) MÉTODO ANALÍTICO

PRUEBA DE BARTLETT PARA HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

Aparte de las gráficas de residuos que frecuentemente se usan para diagnosticar la igualdad en las variancias, se han propuesto algunas pruebas estadísticas. Éstas son pruebas formales para la hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_a^2 = \sigma^2$$

$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 = \text{ para algún } i \neq j$$

Una técnica ampliamente usada es la prueba de Bartlett. Este procedimiento consiste en calcular una estadística cuya distribución muestral es, aproximadamente, chi cuadrada con $a - 1$ grados de libertad cuando las a muestras aleatorias provienen de poblaciones normales independientes.

La estadística de prueba es:

$$\chi^2 = 2.3026 \frac{q}{c}$$

Ecuación 4

donde

$$q = (N - a) \log_{10} S_p^2 - \sum_{i=1}^a (n_i - 1) \log_{10} S_i^2$$

Ecuación 5

$$c = 1 + \frac{1}{3(a-1)} \left(\sum_{i=1}^a (n_i - 1)^{-1} - N - a \right)^{-1}$$

Ecuación 6

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^a (n_i - 1) S_i^2}{N - a}$$

Ecuación 7

y S_i^2 es la variancia muestral de la i -ésima población.

El valor de q es grande cuando hay una gran diferencia entre las variancias muéstrales S_i^2 y es igual a cero si todas las S_i^2 son iguales. Por lo tanto, debe rechazarse H_0 para valores grandes de χ^2 ; en otras palabras, se rechaza H_0 , sólo si:

$$\chi^2 > \chi_{\alpha, a-1}^2$$

en donde $\chi_{\alpha, a-1}^2$ es el punto α porcentual superior de la distribución chi cuadrada con $a - 1$ grados de libertad.

Varios estudios indican que la prueba de Bartlett es muy sensible a la suposición de normalidad y no debe ser aplicada cuando exista alguna duda en cuanto a esta suposición.

(20)

1.2.7.3 INDEPENDENCIA

Uno de los supuestos importantes que se hizo sobre los residuos, es que éstos son independientes.

a) MÉTODO GRÁFICO

La suposición de independencia en los residuos puede verificarse si se gráfica el orden en que se colectó un dato contra el residuo correspondiente.

Así, si al graficar en el eje horizontal el tiempo (orden de corrida) en el eje vertical los residuos, se detecta una tendencia o patrón no aleatorio claramente definido, entonces es evidencia de que existe una correlación entre los errores y por lo tanto el supuesto de independencia no se cumple.

⁽²⁰⁾ Ref. Bibliogr. Diseño y Análisis de Experimentos. Pág. 91

Si el comportamiento de los puntos es aleatorio dentro de una banda horizontal, el supuesto se está cumpliendo.

La violación de este supuesto generalmente indica deficiencias en la planeación y ejecución del experimento, puede ser una indicación de que no se aplicó en forma correcta el principio de aleatorización, o que conforme se fueron realizando las pruebas experimentales fueron apareciendo factores que afectaron la respuesta observada. Por ello, en caso de tener problemas con este supuesto, las conclusiones que se pueden obtener del análisis son endebles, y por tanto es mejor revisar lo hecho y tratar de investigar por qué no se cumplió con ese supuesto de independencia, para reconsiderar la situación.

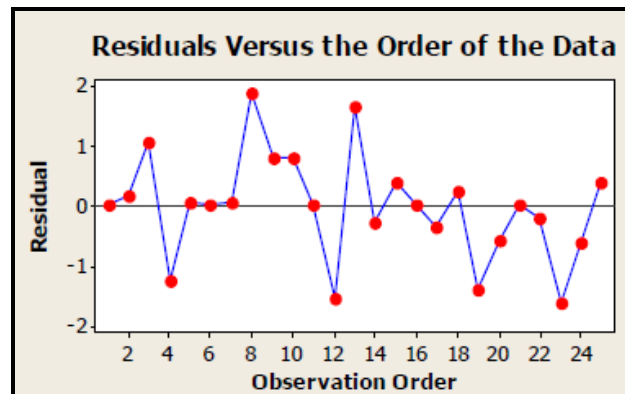


Figura 1-16: Ilustración del cumplimiento del supuesto de Independencia

1.2.8 DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (D.B.C.A)

En muchos problemas de investigación es necesario diseñar experimentos en los que pueda controlarse sistemáticamente la variabilidad producida por diversas fuentes extrañas.

La palabra "completo" indica que todos los tratamientos son probados en cada bloque. Si se usa este diseño, los bloques forman una unidad experimenta más homogénea con la cual compararlos. Esta estrategia de diseño mejora efectivamente la precisión en las comparaciones al eliminar la variabilidad entre las probetas.

El ordenen en cada bloque se determina aleatoriamente. Dicho diseño es quizás el diseño experimental más ampliamente utilizado. En la práctica las situaciones en las que este diseño se aplica son muy numerosas y pueden detectarse fácilmente. A menudo, las unidades de equipo de prueba o maquinaria son diferentes en sus características de operación y constituyen un factor típico que es necesario controlar. Lotes de materia prima, personas o tiempo, también constituyen fuentes de variabilidad en un experimento, las cuales pueden ser controladas sistemáticamente mediante el análisis por bloques.

CARACTERÍSTICAS:

- ✓ Las unidades experimentales son heterogéneas.
- ✓ Las unidades homogéneas están agrupadas formando los bloques.
- ✓ En cada bloque se tiene un número de unidades igual al número de tratamientos (bloques completos)
- ✓ Los tratamientos están distribuidos al azar en cada bloque.
- ✓ El número de repeticiones es igual al número de bloques.

1.2.8.1 DATOS MUESTRALES

DATOS MUESTRALES PARA UN DBCA				
BLOQUE				
TRATAMIENTO	1	2	.....	b
1	Y_{11}	Y_{12}	.....	Y_{1b}
2	Y_{21}	Y_{22}	.....	Y_{2b}
.
.
.
.
t	Y_{t1}	.	.....	Y_{tb}

Cuadro 1-1: Diseño de los datos muestrales para un D.B.C.A.

donde

Y_{ij} observaciones para el tratamiento i en el bloque j

t tratamientos

- b** número de bloques
- $Y_{i\cdot}$ total para las observaciones que reciben el tratamiento i
- $Y_{\cdot j}$ total para las observaciones que reciben el tratamiento j
- $Y_{\cdot\cdot}$ total para las observaciones muestrales
- $\hat{Y}_{i\cdot}$ media muestral para el bloque i
- $\hat{Y}_{\cdot j}$ media muestral para el bloque j

1.2.8.2 FÓRMULAS PARA EL EXPERIMENTO

$$TSS = \sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{bt}$$

Ecuación 9

$$SST = \sum_i \frac{Y_{i\cdot}^2}{b} - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{bt}$$

Ecuación 10

$$SSB = \sum_j \frac{Y_{\cdot j}^2}{t} - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{bt}$$

Ecuación 11

$$SSE = TSS - SST - SSB$$

Ecuación 12

1.2.8.3 MODELO ESTADÍSTICO PARA EL DISEÑO

Cada observación del experimento se describe a través del modelo de efectos siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$
$$i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, b$$

Ecuación 13

donde;

Y_{ij} = Observación en la unidad experimental para el tratamiento i en el bloque j

μ = Efecto medio global

α_i = Efecto debido al tratamiento i

β_j = Efecto debido al bloque j

ε_{ij} = error aleatorio asociado a la observación Y_{ij}

1.2.8.4 HIPÓTESIS DEL MODELO

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_t = 0 \\ H_1: \text{al menos un } \alpha_i \neq 0 \end{array} \right.$$
$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0 \\ H_1: \text{al menos un } \beta_i \neq 0 \end{array} \right.$$

1.2.8.5 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DBCA:

El ANOVA para un DBCA se resume a través del siguiente cuadro:

ANOVA PARA UN DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR					
FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	PRUEBA F	VALOR p
Tratamientos	SST	t-1	SST/GLT	CMT/CME	$P\{F>F_0\}$
Bloques	SSB	b-1	SSB/GLB	CMB/CME	$P\{F>F_0\}$
Error	SSE	(t-1)(b-1)	SSE/GLE		
Total	TSS	bt-1			

Cuadro 1-2: Diseño del ANOVA para un D.B.C.A.

1.2.9 DISEÑO FACTORIAL 2^3

Con un diseño factorial 2^3 se estudian factores tres factores en dos niveles cada uno, Consta de $2^3=8$ tratamientos diferentes.

Este diseño factorial es necesario cuando pueden haber interacciones presentes para evitar conclusiones engañosas, además que permiten estimar los efectos de un factor a varios niveles de los otros factores, generando conclusiones válidas sobre un rango de condiciones experimentales.

Si tenemos un diseño factorial con 3 factores cada uno con 2 niveles, entonces las posibles combinaciones de este experimento forman los vértices de un cubo como se muestra en la figura que sigue:

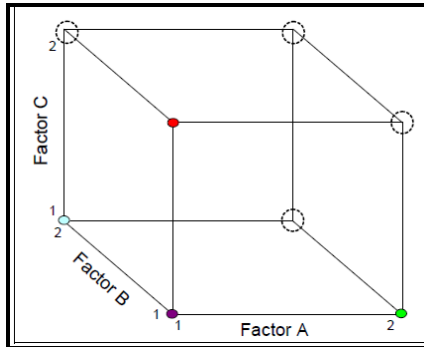


Figura 1-17: Cubo formado por los factores en estudio

1.2.9.1 DATOS MUESTRALES Y MATRIZ DE DISEÑO

DATOS MUESTRALES PARA UN DISEÑO 2³

		B ₁			B ₂			.....	B _b				
	C1	C2	.....	Cc	C1	C2	.....	Cc	.....	C1	C2	.....	C3
A ₁	Y1111	Y1121	.....	Y11c1	Y1211	Y1221	.....	Y12c1	.....	Y1b211	Y1b21	.....	Y1bc1
	Y1112	Y1122	.....	Y11c2	Y1212	Y1222	.....	Y12c2	.....	Y1b12	Y1b22	.....	Y1bc2

	Y111n	Y112n	.....	Y11cn	Y121n	Y122n	.....	Y12cn	.....	Y1b1n	Y1b2n	.....	Y1bcn
A ₂	Y2111	Y2121	.....	Y21c1	Y2211	Y2221	.....	Y22c1	.....	Y2b11	Y2b21	.....	Y2bc1
	Y2112	Y2122	.....	Y21c2	Y2212	Y2222	.....	Y22c2	.....	Y2b12	Y2b22	.....	Y2bc2

	Y211n	Y212n	.....	Y21cn	Y221n	Y222n	.....	Y22cn	.....	Y2b1n	Y2b2n	.....	Y2bcn
.
.
.
.
A _a	Ya111	Ya121	.....	Ya1c1	Ya211	Ya221	.....	Ya2c1	.....	Yab11	Yab21	.....	Yabc1
	Ya112	Ya122	.....	Ya1c2	Ya212	Ya222	.....	Ya2c2	.....	Yab12	Yab22	.....	Yabc2

	Ya11n	Ya12n	.....	Ya1cn	Ya21n	Ya22n	.....	Ya2cn	.....	Yab1n	Yab2n	.....	Yabcn

Cuadro 1-3: Diseño de los datos muestrales para un D.F. 2³

MATRIZ DE DISEÑO

A	B	C	YATES
-1	-1	-1	-1
1	-1	-1	a
-1	1	-1	b
1	1	-1	ab
-1	-1	1	c
1	-1	1	ac
-1	1	1	bc
1	1	1	abc

Cuadro 1-4: Diseño de la matriz de diseño según notación de Yates

1.2.9.2 CONTRASTES Y EFECTOS DEL DISEÑO ⁽²²⁾

Los efectos en este diseño se pueden calcular a partir de la cuadro de signos:

TABLA DE SIGNOS PARA EL DISEÑO FACTORIAL 2³

A	B	C	AB	AC	BC	ABC	YATES
-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1
1	-1	-1	-1	-1	1	1	a
-1	1	-1	-1	1	-1	1	b
1	1	-1	1	-1	-1	-1	ab
-1	-1	1	1	-1	-1	1	c
1	-1	1	-1	1	-1	-1	ac
-1	1	1	-1	-1	1	-1	bc
1	1	1	1	1	1	1	abc

Cuadro 1-5: Tabla de signos para el D.F.2³ según notación de Yates

Al multiplicar las columnas de signos de la Cuadro por la columna de totales representados por la notación de Yates, se obtienen los contrastes para los siete efectos:

$$\text{Contraste A} = [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

Ecuación 14

$$\text{Contraste B} = [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]$$

Ecuación 15

$$\text{Contraste C} = [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

Ecuación 16

$$\text{Contraste } AB = [(1) + ab + c + abc - a - b - ac - bc]$$

Ecuación 17

$$\text{Contraste } AC = [(1) + b + ac + abc - a - ab - c - bc]$$

Ecuación 18

$$\text{Contraste } BC = [(1) + a + bc + abc - b - ab - c - ac]$$

Ecuación 19

$$\text{Contraste } ABC = [a + b + c + abc - (1) - ab - ac - bc]$$

Ecuación 20

Si se hacen n réplicas de cada tratamiento, los efectos de un diseño 2^3 se estiman dividiendo los contrastes entre $4n$ así entonces:

$$\text{Efecto } A = \frac{\text{Contraste } A}{n2^{k-1}}$$

Ecuación 21

$$\text{Efecto } B = \frac{\text{Contraste } B}{n2^{k-1}}$$

Ecuación 22

$$\text{Efecto } C = \frac{\text{Contraste } C}{n2^{k-1}}$$

Ecuación 23

$$\text{Efecto } AB = \frac{\text{Contraste } AB}{n2^{k-1}}$$

Ecuación 24

$$\text{Efecto } AC = \frac{\text{Contraste } AC}{n2^{k-1}}$$

Ecuación 25

$$\text{Efecto } BC = \frac{\text{Contraste } BC}{n2^{k-1}}$$

Ecuación 26

$$\text{Efecto } ABC = \frac{\text{Contraste } ABC}{n2^{k-1}}$$

Ecuación 27

1.2.9.3 FÓRMULAS PARA EL EXPERIMENTO ⁽²³⁾

$$SC_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{n2^k}$$

Ecuación 28

$$SC_A = \frac{(\text{Contraste}_A)^2}{n2^k}$$

Ecuación 29

⁽²²⁾ Ref. Bibliogr. Notas estudiantiles. ELECTIVA III, ESPOCH, 2010.

$$SC_B = \frac{(\text{Contraste}_B)^2}{n2^k}$$

Ecuación 30

$$SC_C = \frac{(\text{Contraste}_C)^2}{n2^k}$$

Ecuación 31

$$SC_{AB} = \frac{(\text{Contraste}_{AB})^2}{n2^k}$$

Ecuación 32

$$SC_{AC} = \frac{(\text{Contraste}_{AC})^2}{n2^k}$$

Ecuación 33

$$SC_{CB} = \frac{(\text{Contraste}_{BC})^2}{n2^k}$$

Ecuación 34

$$SC_{ABC} = \frac{(\text{Contraste}_{ABC})^2}{n2^k}$$

Ecuación 35

$$SSE = TSS - SSA - SSB - SSC - SSAB - SSAC - SSBC - SSABC$$

Ecuación 36

1.2.9.4 MODELO ESTADÍSTICO

Cada observación del experimento se describe a través del modelo de efectos siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ij}$$
$$i = 1, 2, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, b \quad k = 1, 2, \dots, c$$

Ecuación 37

donde;

Y_{ijkl} = Observación l en la unidad experimental del tratamiento ijk

μ = Efecto medio global

α_i = Efecto debido al i-ésimo nivel del factor A

β_j = Efecto debido al j-ésimo nivel del factor B

γ_k = Efecto debido al K-ésimo nivel del factor C

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre los factores A y B en los niveles i y j

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = Efecto de interacción entre los factores A y C en los niveles i y k

$(\beta\gamma)_{jk}$ = Efecto de interacción entre los factores B y C en los niveles j y k

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = Efecto de interacción entre los factores A, B y C en los niveles i, j y k

ε_{ijkl} = Error aleatorio asociado a la observación Y_{ijkl}

1.2.9.5 HIPÓTESIS DEL MODELO

HIPÓTESIS PARA PRUEBAS DE EFECTOS PRINCIPALES

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0 \\ H_1: \text{al menos un } \alpha_i \neq 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0 \\ H_1: \text{al menos un } \beta_j \neq 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_c = 0 \\ H_1: \text{al menos un } \gamma_k \neq 0 \end{array} \right.$$

HIPÓTESIS PARA INTERACCIONES PARA LOS DOS FACTORES

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots \\ H_1: \text{al menos un } (\alpha\beta)_{ij} \neq 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: (\alpha\gamma)_{11} = (\alpha\gamma)_{12} = \dots = (\alpha\gamma)_{ac} = 0 \\ H_1: \text{al menos un } (\alpha\gamma)_{ik} \neq 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: (\beta\gamma)_{11} = (\beta\gamma)_{12} = \dots = (\beta\gamma)_{bc} = 0 \\ H_1: \text{al menos un } (\beta\gamma)_{jk} \neq 0 \end{array} \right.$$

HIPÓTESIS PARA INTERACCIONES PARA LOS TRES FACTORES

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: (\alpha\beta\gamma)_{111} = (\alpha\beta\gamma)_{112} = \dots = (\alpha\beta\gamma)_{abc} = 0 \\ H_1: \text{al menos un } (\alpha\beta\gamma)_{ijk} \neq 0 \end{array} \right.$$

1.2.9.6 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA UN DISEÑO FACTORIAL 2³:

El ANOVA para un Diseño Factorial 2³ se resume a través de la siguiente Cuadro:

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	PRUEBA F	VALOR p
A	SSA	a-1	SST/GLA	CMA/CME	P{F>Fo}
B	SSB	b-1	SSB/GLB	CMB/CME	P{F>Fo}
C	SSC	c-1	SSC/ GLC	CMC/CME	P{F>Fo}
AB	SSAB	(a-1)(b-1)	SSAB/GLAB	CMAB/CME	P{F>Fo}
AC	SSAC	(a-1)(c-1)	SSAC/ GLAC	CMAC/CME	P{F>Fo}
BC	SSBC	(b-1)(c-1)	SSBC/ GLBC	CMBC/CME	P{F>Fo}
ABC	SSABC	(a-1)(b-1)(c-1)	SSABC/ GLABC	CMABC/CME	
Error	SSE	(n-1)(abc)	SSE/GLE		
Total	TSS	nabc-1			

Cuadro 1-6: Diseño del ANOVA para el Diseño Factorial 2³

⁽²³⁾ Ref. Bibliogr. Notas estudiantiles. ELECTIVA III, ESPOCH, 2010.

1.2.10 ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Hablamos de un Modelo de Regresión, para referirnos a una función matemática que intenta modelar probabilísticamente una Variable Respuesta en estudio, en relación a uno o más predictores de interés.

En muchos problemas existen dos o más variables que están relacionadas y puede resultar importante modelar y explorar esta relación.

En general, supongamos que hay una *sola variable dependiente o de respuesta* y que depende de *k variables independientes o de regresión*, por ejemplo, x_1, x_2, \dots, x_k . La relación entre estas variables se caracteriza por un modelo matemático conocido como *ecuación de regresión*. El modelo de regresión se ajusta a un conjunto de datos muestrales.

En algunos casos, el experimentador conoce la forma exacta de la relación funcional real $y = \phi(x_1, x_2, \dots, x_k)$ entre y y x_1, x_2, \dots, x_k . Sin embargo, en la mayoría de los casos la verdadera relación funcional se desconoce y el investigador debe elegir una función apropiada para aproximar ϕ .

Frecuentemente, los métodos de regresión se utilizan para analizar datos que provienen de experimentos que no fueron diseñados. El análisis de variancia en un experimento diseñado ayuda a determinar qué factores son importantes, usándose el de regresión para construir un modelo cuantitativo que relaciona los factores importantes con la respuesta.

(24)

Para realizar una regresión adecuada, es importante verificar inicialmente que la variable dependiente tenga una relación lineal con las variables independientes. Por otro lado, es conveniente utilizar variables independientes que aporte nueva información a la regresión; para ello es necesario corroborar que la correlación entre las variables independientes sea baja o nula. Por estas razones es importante revisar la correlación lineal y graficar cada par de variables, así como verificar si no existen datos que se alejen demasiado del comportamiento global de las variables.

En caso de que exista relación entre la variable independiente y la dependiente, pero que dicha relación no sea lineal, es necesario realizar una modificación de dicha variable, de modo que la nueva variable si tenga una relación lineal con la variable dependiente. Esta modificación o cambio de variable debe realizarse antes de efectuar la regresión.

⁽²⁴⁾ Ref. Bibliogr. Diseño y Análisis de Experimentos. Págs. 429

Otro de los pasos importantes en el análisis de regresión es verificar si realmente las variables involucradas “contribuyen” en el comportamiento de la variable dependiente en forma significativa.

Una tipología simple de los modelos de regresión sería:

Situación	Variable Respuesta Cuantitativa	Variable Respuesta Cualitativa
Un predictor continuo	Regresión Lineal Simple	Regresión Logística
Múltiples Predictores	Regresión Lineal Múltiple	Regresión Logística Múltiple

Figura 1-18: Tipología de los Modelos de Regresión

1.2.10.1 ANÁLISIS DE REGRESIÓN SIMPLE

Cuando hablamos de regresión lineal simple, nos referimos a la relación entre una variable predictora y una variable respuesta, ambas de carácter cuantitativo continuo.

El modelo de regresión lineal es el más utilizado y por ser el matemáticamente más simple facilita entender otros modelos de regresión más generales (Taucher 1997).

El modelo se define por la siguiente expresión:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Ecuación 38

Donde:

Y = Variable Respuesta,

β_0 = Intercepto,

β_1 = Pendiente,

X = Variable predictora y

ε = componente aleatoria que representa la “parte” atribuible a elementos distintos al valor observado de X.

Si en n unidades de observación, independientes entre sí, hemos podido registrar los valores (x, y) podremos “estimar” los coeficientes de la ecuación (21) recurriendo a las funciones:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Ecuación 39

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X}$$

Ecuación 40

Donde:

Y_i : Valor de Y para cada observación

X_i : Valor de X para cada una de las observaciones

\bar{Y} : Valor promedio de la respuesta Y

\bar{X} : Valor promedio de la variable X

La expresión $\hat{\beta}_1$ calcula la pendiente muestral de la recta de regresión lineal. La expresión $\hat{\beta}_0$ es el intercepto muestral, es decir, el valor de Y cuando X es igual a cero.

Luego, podremos estimar para cada X un “valor predicho” para Y:

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$$

Ecuación 41

1.2.10.2 ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

En muchas situaciones prácticas existen variables independientes que se cree que influyen o están relacionadas con una variable de respuesta Y, y por tanto será necesario tomar en cuenta si se quiere predecir o entender el mejor el comportamiento de Y.

Sea X_1, X_2, \dots, X_k variables independientes o regresoras, y sea Y una variable de respuesta, entonces el *modelo de regresión lineal múltiple* con k variables independientes es el polinomio de primer orden:

El modelo se define por la siguiente expresión:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

Ecuación 42

donde

β_j son los parámetros del modelo, que se conocen como *coeficientes de regresión*

ε es el error aleatorio, con media cero, $E(\varepsilon) = 0$ y $V(\varepsilon) = \sigma^2$.

Si en la ecuación 41, $k = 1$, estamos en el caso de regresión lineal simple y el modelo es una línea recta; si $k=2$, tal ecuación representa un plano. En general, la ecuación 41 representa un hiperplano en el espacio de k dimensiones generado por las variables $\{X_j\}$.

Es frecuente que en la práctica se requieran modelos de mayor orden para explicar el comportamiento de Y en función de las variables regresoras. El modelo de regresión asociado para un *Diseño Factorial* 2^3 será:

$$Y_{ijkl} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_{12} + \beta_{13} x_{13} + \beta_{23} x_{23} + \beta_{123} x_{123} + \varepsilon_{ijkl}$$

Ecuación 43

donde

X_1 corresponde al factor A, X_2 al factor B, y X_3 al factor C

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}, \beta_{123}$ corresponde a los coeficientes de regresión de cada factor Y sus intersecciones que son desconocidos

Los valores para β se puede estimar utilizando los efectos vistos en el numeral 1.2.10, por tanto:

$$\hat{\beta}_0 = Y_{...}$$

Ecuación 44

$$\hat{\beta}_1 = \frac{A}{2}$$

Ecuación 45

$$\hat{\beta}_2 = \frac{B}{2}$$

Ecuación 46

$$\hat{\beta}_3 = \frac{C}{2}$$

Ecuación 47

$$\hat{\beta}_{12} = \frac{AB}{2}$$

Ecuación 48

$$\hat{\beta}_{13} = \frac{AC}{2}$$

Ecuación 49

$$\hat{\beta}_{23} = \frac{BC}{2}$$

Ecuación 50

$$\hat{\beta}_{123} = \frac{ABC}{2}$$

Ecuación 51

1.2.10.2.1 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL MODELO DE REGRESIÓN⁽²⁵⁾

La hipótesis global más importante sobre un modelo de regresión múltiple es ver si la regresión es significativa.

Esto se logra probando la siguiente hipótesis:

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_A : \beta_j \neq 0 \text{ para al menos un } j=1,2,\dots,k$$

Aceptar H_0 significa que ningún término o variable en el modelo tiene una contribución significativa al explicar la variable de respuesta, Y . Mientras que rechazar H_0 implica que por lo menos un término en el modelo contribuye de manera significativa al ajuste. El procedimiento para probar esta hipótesis es una generalización del procedimiento utilizado para probar la hipótesis es decir se descompone la suma total de cuadrados en la suma de cuadrados de regresión y en la suma de cuadrados del error:

$$S_{yy} = SC_R + SC_E$$

Ecuación 52

Si $H_0: \beta_j=0$ es verdadera, entonces SC_R/σ^2 tiene una distribución χ_k^2 , donde el número de grados de libertad, k , es igual al número de términos en el modelo de regresión. Además, $SC_E/\sigma^2 \sim \chi_{n-k-1}^2$ Y SC_E y SC_R son independientes.

Luego es natural que el estadístico de prueba para la significancia del modelo de regresión lineal múltiple esté dado por:

$$F_0 = \frac{\frac{SC_R}{k}}{\frac{SC_E}{(n-k-1)}} = \frac{CM_R}{CM_E}$$

Ecuación 53

que tiene una distribución $F_{(k,n-k-1)}$. Así, se rechaza H_0 :

$$F_0 > F_{(\alpha,k,n-k-1)}$$

Para completar el procedimiento anterior necesitamos una forma explícita para calcular SC_R . Una fórmula para calcular la suma de cuadrado del error es:

$$SC_E = y'y - \hat{\beta}'X'y$$

Ecuación 54

Además, como la suma total de cuadrados, S_{yy} , está dada por:

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n} = y'y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}$$

Ecuación 55

Por tanto SC_E puede expresarse como:

$$SC_E = \left[y'y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n} \right] - \left[\hat{\beta}'X'y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n} \right] = S_{yy} - SC_R$$

Ecuación 56

Así, hemos obtenido una forma explícita para la suma de cuadrados de la regresión:

$$SC_R = \hat{\beta}'X'y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n}$$

Ecuación 57

El procedimiento de análisis de varianza para el modelo de regresión lineal múltiple se sintetiza en el siguiente cuadro:

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	PRUEBA F	VALOR p
Regresión	SC _R	k	CM _R	CM _R /CM _E	P{F>F ₀ }
Error o residuo	SC _E	n-k-1	CM _E		
Total	S _{yy}	n-1			

Cuadro 1-7: Diseño del ANOVA para el Análisis de Regresión

(25) Ref. Bibliogr. Análisis y Diseño de Experimentos. Págs. 448-449

1.2.10.3 COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN Y DETERMINACIÓN AJUSTADO

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN

$$R^2 = \frac{SC_{TOTAL} - SC_{ERROR}}{SC_{TOTAL}} * 100$$

Ecuación 58

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN AJUSTADO

$$R_{aj}^2 = \frac{CM_{TOTAL} - CM_{ERROR}}{CM_{TOTAL}} * 100$$

Ecuación 59

Donde las ecuaciones deben cumplir:

$$0 \leq R_{aj}^2 \leq R^2 \leq 100$$

El modelo de regresión ajustado sirve para que los factores estudiados junto con su interacción expliquen un porcentaje de variabilidad observada en la variable de respuesta que está explicada por un modelo estadístico.

1.2.10.4 INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LOS COEFICIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN

Un aspecto clave en un análisis de regresión múltiple es valorar que tanto contribuyó cada término a la explicación de la variable de respuesta, para de esta forma eliminar los que tienen una contribución poco importante o quizá pensar en agregar otras variables no consideradas. Las hipótesis para probar la significancia de cualquier coeficiente individual, β_i , se especifica de la siguiente manera:

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_A : \beta_i \neq 0 \quad i=1,2,\dots,k$$

Como sabemos el estimador de mínimos cuadrados $\hat{\beta}$ es un vector aleatorio cuya distribución es normal con media β y matriz de covarianza $\sigma^2(X'X)^{-1}$, como se demuestra:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} y$$

$$(X'X)^{-1} X' (\sigma^2 I) ((X'X)^{-1} X')$$

$$(X'X)^{-1} X' \sigma^2 X ((X'X)^{-1})$$

$$(X'X)^{-1} X' \sigma^2 X (X'X)^{-1}$$

$$\sigma^2 (X'X)^{-1}$$

De aquí que la distribución de los coeficientes de regresión $\hat{\beta}_i$ es:

$$\hat{\beta}_i \approx N(\beta_i, \sigma^2 (X'X)^{-1})$$

$$\hat{\beta}_i \approx N(\beta_i, \sigma^2 m_{ii})$$

De donde es necesario conocer un estimador insesgado para σ^2 por lo que se procede:

$$\sigma^2 = ?$$

$$s^2 = \frac{1}{n-k} |r|^2$$

$$s^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n r_i^2$$

Ecuación 60

$$\frac{s^2}{\sigma^2}(n, k) \approx X^2(n, k)$$

$$E \left[\frac{s^2}{\sigma^2}(n, k) \right] = n - k$$

$$(n - k) E \left[\frac{s^2}{\sigma^2} \right] = n - k$$

$$E \left[\frac{s^2}{\sigma^2} \right] = 1$$

$$E [s^2] = \sigma^2$$

Con lo cual queda demostrado que s^2 (ecuación 60) es un estimador insesgado de σ^2 .

Por lo tanto, un intervalo de confianza del $(1 - \alpha)$ por ciento para un coeficiente β_i

cualquiera viene dado por:

$$\hat{\beta}_i \pm t_{\alpha/2} s \sqrt{m_{ii}}$$

Ecuación 61

Donde; $\sqrt{m_{ii}}$ es la raíz de la diagonal de la matriz inversa para cada uno de los β_i ,

$t_{\alpha/2}$ denota la distribución t de Student de $(N - K)$ grados de libertad tal que deja a la

derecha una probabilidad de $\alpha/2$, esto es $P(t > c) = \alpha/2$. Esto es válido para cualquiera de

los coeficientes $\beta_i, i = 1, 2, \dots, K$.

El cálculo de los intervalos de confianza para los coeficientes de regresión del modelo se conoce con el nombre de **estimación por intervalo**. Un intervalo de confianza nos dice que, con probabilidad $(1-\alpha)$ se estima que el parámetro β_i estará dentro de ese rango de valores.

Este intervalo puede ser demasiado amplio, y esto dependerá de la precisión con la que estimemos los parámetros. Es importante tener en cuenta que la validez de estos intervalos de confianza depende de que se satisfagan las hipótesis básicas.

CAPÍTULO II

2. PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

2.1. LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN

➤ Características del Sitio Experimental

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la finca del Sr. Eduardo Najamtaim,

ubicado en:

- Provincia: Morona Santiago
- Cantón: Tiwintza
- Parroquia: Santiago
- Comunidad: Peñas

➤ Características Climáticas²⁶

- Altitud: 300 msnm.
- Temperatura: 25,5°C
- Precipitación: 3749 mm.

➤ Características Edafológicas²⁷

- pH: 4.80

- Textura: Franco
- Contenido Materia orgánica: 4.37 %
- Fósforo: 103 kg/ha
- Nitrógeno total: 0.22 %
- Potasio: 169 kg/ha

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 MATERIALES

2.2.1.1 Abonos Sintéticos

- Sales Nitrógeno
- Sales Fósforo
- Sales Potasio

2.2.2.2 Otros Materiales

²⁶ Referencia: Estación Climatológica G.A.D.C.T.

- Superficie de terreno: 1 ha
- Machetes
- Piola
- Bomba de mochila de 20 litros
- Dos baldes plásticos con capacidad de 20 litros
- Sacos de Polietileno
- Balanza
- Dos pares de Guantes de goma
- Rótulos
- Fundas plásticas
- Libro de campo

2.2.2.3 Equipo

- Computadora
- Cámara fotográfica

2.2.2 FACTORES EN ESTUDIO

2.2.2.1 Tipos de Abonos sintéticos

²⁷ Lab. de Química Agrícola y Suelos "JULIO PEÑAHERRERA". U.C.E.

- A= Sales Nitrógeno
- B= Sales Fósforo
- C= Sales Potasio

2.2.2.2 Niveles de Eficiencia²⁷

a. Niveles de eficiencia de Nitrógeno (N)

Se utilizó eficiencias del 50 y 60 % respectivamente

Niveles n1 (60%) = 150 Kg. /ha N

 n2 (50%) = 300 Kg. /ha N

b. Niveles de eficiencia de Fósforo (P)

Se utilizó eficiencias del 10 y 20 % respectivamente

Niveles p1 (20%) = 40 Kg. /ha P₂O₅

 p2 (10%) = 80 Kg. /ha P₂O₅

c. Niveles de Potasio (K)

²⁸ Dosis sugeridas por el Ing. Agr. José Valarezo.

Para los niveles de potasio se partió de la relación calcio-magnesio-potasio, con el fin de equilibrar esta relación se tuvo que ajustar los niveles de potasio a cantidades que puedan ser útiles para la planta.

Niveles $k_1 = 100 \text{ Kg. /ha K}_2\text{O}$

$k_2 = 200 \text{ Kg. /ha K}_2\text{O}$

d. Testigo (sin fertilización)

2.2.3 TRATAMIENTOS

Se tendrá un total de nueve tratamientos que resultan de la combinación de los niveles de los factores en estudio más un adicional sin aplicación de abono sintético, utilizado por el agricultor.

Como se muestra en el cuadro 2-1:

Cuadro 2-1: Descripción de los tratamientos de la respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación edáfica complementaria de tres tipos de abonos sintéticos a dos dosis. Tiwintza, Morona Santiago. 2011

N° de Tratamientos	Tratamientos*	Significado niveles de fertilizante en Kg. /ha.
1	n0p0k0	Sin fertilización
2	n1p1k1	N 150 Kg./ha; P ₂ O ₅ ,40 Kg./ha; K ₂ O 100 Kg./ha.
3	n1p1k2	N 150 Kg./ha; P ₂ O ₅ 40 Kg./ha; K ₂ O 200 Kg./ha.
4	n1p2k1	N 150 Kg./ha; P ₂ O ₅ 80 Kg./ha; K ₂ O 100 Kg./ha.
5	n1p2k2	N 150 Kg./ha; P ₂ O ₅ 80 Kg./ha; K ₂ O 200 Kg./ha.
6	n2p1k1	N 300 Kg./ha; P ₂ O ₅ 40 Kg./ha; K ₂ O 100 Kg./ha.
7	n2p1k2	N 300 Kg./ha; P ₂ O ₅ 40 Kg./ha; K ₂ O 200 Kg./ha.
8	n2p2k1	N 300 Kg./ha; P ₂ O ₅ 80 Kg./ha; K ₂ O 100 Kg./ha.
9	n2p2k2	N 300 Kg./ha; P ₂ O ₅ 80 Kg./ha; K ₂ O 200 Kg./ha.

*: Todos los tratamientos recibirán el mismo manejo de labores culturales.

2.2.4 UNIDAD EXPERIMENTAL

2.2.4.1 Unidad Experimental

4 m x 7 m con un área de 28 m² (116 plantas a 0.8 x 0.3 m)

2.2.4.2 Unidad Experimental Neta

2.4 m x 6 m con un área de 14.4 m² (60 plantas)

2.2.4.3 Número de Repeticiones

En la experimentación se procedió a trabajar con cuatro repeticiones por cada tratamiento.

2.2.6 MÉTODOS DE MANEJO DEL EXPERIMENTO

2.2.6.1 ANÁLISIS DE SUELO

Al empezar la investigación, lo primero que se realizó fue un análisis de suelo de la finca donde se realizó la experimentación, para conocer la fertilidad del mismo.

Se tomaron cuatro sub-muestras de la hectárea en estudio para luego ser llevadas al Laboratorio de Química Agrícola y Suelos “Julio Peñaherrera” de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador (Anexo B).

2.2.6.2 LIMPIEZA DEL TERRENO

Al ser una hectárea en al cual por primera vez se iba a utilizar para la siembra se realizó una limpieza manual del terreno eliminando la maleza del sector y así disponer de las condiciones óptimas para realizar la experimentación. (Anexo C).

2.2.6.3 DISTRIBUCIÓN DE PARCELAS EXPERIMENTALES

Una vez limpio el terreno y teniendo en cuenta la del terreno posición del área experimental se procedió a medir las parcelas experimentales como se distribuyó en la aleatorización de bloques experimentales (Anexo A); colocando la respectiva rotulación de cada uno de los tratamientos y bloques para evitar errores posteriores en la aplicación del abono sintético en cada parcela experimental. (Anexo C).

2.2.6.4 SIEMBRA

Se utilizó la técnica agrícola del *“espequiado”*, la cual consiste en hacer un agujero en la tierra y proceder a colocar 2 semillas de maíz en cada uno de ellos, mismos que deben tener una distancia de 40cm entre sí, asegurando con ello el espacio suficiente para que se desarrolle normalmente la planta a posteriori.

Este procedimiento se repite por hileras hasta completar el número de plantas dichas anteriormente para cada tratamiento en cada uno de los bloques que fueron aleatorizados con anterioridad. (Anexo C).

2.2.6.5 PREPARACIÓN DE TRATAMIENTOS

Una semana antes de cada aplicación de abono se procedió a la dosificación para cada uno de los tratamientos en sus respectivos niveles de sales de nitrógeno, fósforo y potasio. (Anexo C).

2.2.6.6 APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Luego de que germinaron de las semillas se evaluó la altura de las plantas, siendo satisfactorio el resultado a la semana siguiente se procedió con la primera aplicación de los tratamientos en cada una de las parcelas experimentales.

Se aplicaron los tratamientos cada 15 días, hasta la conclusión del ciclo productivo es decir la cosecha. (Anexo C).

2.2.6.7 DESHIERBAS

Las deshierbas manuales del ensayo se realizaron con machete, cada 20 días, facilitando de esta manera la aplicación de los tratamientos.

2.2.6.8 FUMIGACIÓN

En el cronograma experimental no se contempló una fumigación de las plantas, lo cual representó un retraso en el experimento puesto que la hectárea fue afectada por el *gusano cogollero* por lo que se aplicó al área experimental productos biológicos y químicos permitidos por la agricultura orgánica, como es el macerado de barbasco, ortiga y detergente, mismo que controló la plaga. (Anexo C).

2.2.6.9 COSECHA

Terminado el ciclo de maduración de las mazorcas en la misma planta, se cosechó aleatoriamente 10 mazorcas de los diferentes tratamientos en producción y se procedió a pesar la producción total. (Anexo C).

2.2.6.10 SECADO

Para secar el maíz se utilizó tendales de madera cubiertos con plástico de polietileno (marquesina). (Anexo C).

2.2.6.11 RENDIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN

Al tener el grano seco se procede a obtener los datos definitivos del estudio para ello se pesa la producción de maíz para cada uno de los tratamientos así como de 10 granos para una posterior evaluación que solicito el técnico agrónomo del G.A.D.T. (Anexo C).

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO, INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y DIAGNÓSTICO DEL MODELO

3.1. DATOS EXPERIMENTALES

Los datos recolectados de la experimentación fueron medidos en libras por hectárea:

Tabla 3-1: Rendimiento neto del maíz medido en libras

MATRIZ DE DATOS DEL PESO DEL MAIZ EN LIBRAS				
TRATAMIENTOS	BLOQUES			
	I	II	III	IV
T1(CONTROL)	2	2.4	1.1	3.4
T2	2.12	2.4	2.9	4
T3	2.12	3.5	3	2.4
T4	3.12	2.5	2.4	3.2
T5	2.4	3.5	3.8	3.9
T6	2.1	2	2.12	2.12
T7	4.5	4.12	4.5	5
T8	2.5	2.5	2.5	3.4
T9	2.12	2.2	3.5	3.12

Fuente: Propia

Pero por cuestiones de interpretación agrícola fueron transformados a quintales por hectárea obteniéndose el rendimiento neto del matriz, como sigue:

Tabla 3-2: Rendimiento neto del maíz medido en quintales por hectárea

<i>RENDIMIENTO NETO</i>		
Rendimiento (10 plantas)	Rendimiento (parcela neta)	RENDIMIENTO NETO(Rend/pn)
2.4	14.4	5.45
2.4	14.4	6.55
2.4	14.4	3.00
2.4	14.4	9.27
2.4	14.4	5.78
2.4	14.4	6.55
2.4	14.4	7.91
2.4	14.4	10.91
2.4	14.4	5.78
2.4	14.4	9.55
2.4	14.4	8.18
2.4	14.4	6.55
2.4	14.4	8.51
2.4	14.4	6.82
2.4	14.4	6.55
2.4	14.4	8.73
2.4	14.4	6.55
2.4	14.4	9.55
2.4	14.4	10.36
2.4	14.4	10.64
2.4	14.4	5.73
2.4	14.4	5.45
2.4	14.4	5.78
2.4	14.4	5.78
2.4	14.4	12.27
2.4	14.4	11.24
2.4	14.4	12.27
2.4	14.4	13.64
2.4	14.4	6.82
2.4	14.4	6.82
2.4	14.4	6.82
2.4	14.4	9.27
2.4	14.4	5.78
2.4	14.4	6.00
2.4	14.4	9.55
2.4	14.4	8.51

Fuente: Ing. José Valarezo(G.A.D.T.)

3.2 DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR

Lo principal para empezar el desarrollo es tener claramente identificadas las variables y factores que intervienen en el diseño por tanto, se tiene:

VARIABLE RESPUESTA: Peso de la producción del maíz (qq/ka)

FACTOR DE INTERÉS: Combinación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (Tratamiento)

FACTOR DE BLOQUE: Parcela

3.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tras obtener el rendimiento neto del maíz (qq/ha) se diseña la matriz de datos con la cual se procede al estudio estadístico, misma que se presenta:

Tabla 3-3: MATRIZ DE DATOS DEL RENDIMIENTO NETO (qq/ha)

TRATAMIENTOS	BLOQUES			
	I	II	III	IV
T1(CONTROL)	5.45	6.55	3.00	9.27
T2	5.78	6.55	7.91	10.91
T3	5.78	9.55	8.18	6.55
T4	8.51	6.82	6.55	8.73
T5	6.55	9.55	10.36	10.64
T6	5.73	5.45	5.78	5.78
T7	12.27	11.24	12.27	13.64
T8	6.82	6.82	6.82	9.27
T9	5.78	6.00	9.55	8.51

Fuente: Propia

El Modelo Estadístico en función del problema, se define:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, b$$

donde;

Y_{ij} = Quintales por hectárea de maíz para el tratamiento i en el bloque j

μ = Peso promedio de producción de maíz

α_i = Efecto debido al tratamiento i

β_j = Efecto debido al bloque j

ε_{ij} = error aleatorio asociado a la observación Y_{ij}

Seguidamente se corre un análisis de varianza, mismo que necesita probar las siguientes

hipótesis del modelo:

- $\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{no hay un efecto de los tratamientos en el rendimiento neto del maíz} \\ H_1: \text{al menos hay un efecto de los tratamientos en el rendimiento neto del maíz} \end{array} \right.$
- $\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{no hay un efecto de los bloques en el rendimiento neto del maíz} \\ H_1: \text{al menos hay un efecto de los bloques en el rendimiento neto del maíz} \end{array} \right.$

DATOS:	
t=	9
b=	4
b*t=	36
t-1=	8
b-1=	3
(t-1)*(b-1)=	24

Se procede a calcular las fórmulas citadas en el numeral 1.2.8.2, y resulta:

$$TSS = \sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{bt}$$

$$TSS = 198.8709917$$

$$SST = \sum_i \frac{Y_{i.}^2}{b} - \frac{Y_{..}^2}{bt}$$

$$SST = 122.478843$$

$$SSB = \sum_j \frac{Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{bt}$$

$$SSB = 25,19495868$$

$$SSE = TSS - SST - SSB$$

$$SSE = 51,19719008$$

Con estos resultados calculamos la tabla de ANOVA para el D.B.C.A.:

Tabla 3-4: Tabla De ANOVA Para El Diseño De Bloques Completo Al Azar

ANOVA PARA EL DISEÑO DE BLOQUES COMPLETO AL AZAR					
Fuente de Variación	Suma De Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Prueba F	Valor p
TRATAMIENTOS	122.478843	8	15.30985537	7.176888582	0.000076
PARCELA	25.19495868	3	8.398319559	3.936928357	0.020394
ERROR	51.19719008	24	2.133216253		
TOTAL	198.8709917	35	5.682028335		

Fuente: Propia

3.2.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La conclusión a la que se llega a través del análisis de varianza en cada uno de los factores de estudio son que:

- Al comparar el valor p de los tratamientos con el nivel de significancia de 0.05 podemos decir que se rechaza la hipótesis nula para los tratamientos y se concluye que existe una diferencia significativa en cuanto a tratamientos, es decir los tratamientos si influyen en el peso de la producción del maíz.
- Al comparar el valor p de las parcelas con el nivel de significancia de 0.05 podemos decir que se rechaza la hipótesis nula para los bloques y se concluye que existe una diferencia significativa en cuanto a las parcelas, es decir las parcelas si influyen en el peso de la producción del maíz.

3.2.3 DIAGNÓSTICO DEL MODELO

Para realizar el diagnóstico del modelo se procede a hacer un Análisis Residual para probar gráficamente los respectivos supuestos citados en el capítulo 1; para ello se calcula los valores predichos mismos que son el resultado de los valores observados vs. predichos.

Con la *ecuación 1* del marco teórico se calculan los valores predichos para el rendimiento neto, como se presenta:

Tabla 3-5: Predichos para el rendimiento neto de la producción de maíz

TRATAMIENTO	BLOQUE: PARCELA			
	I	II	III	IV
T1	5.12	5.77	5.98	7.41
T2	6.84	7.48	7.70	9.13
T3	6.56	7.21	7.42	8.85
T4	6.70	7.35	7.56	8.99
T5	8.32	8.97	9.18	10.61
T6	4.74	5.38	5.60	7.03
T7	11.40	12.05	12.27	13.70
T8	6.48	7.13	7.34	8.77
T9	6.51	7.16	7.37	8.80

Fuente: Propia

Al tener todos los datos se calcula los residuos y se obtiene:

Tabla 3-6: Residuos para el rendimiento neto de la producción de maíz

TRATAMIENTO	BLOQUE: PARCELA			
	I	II	III	IV
T1	0.34	0.78	-2.98	1.86
T2	-1.05	-0.94	0.21	1.78
T3	-0.78	2.33	0.76	-2.31
T4	1.81	-0.53	-1.02	-0.26
T5	-1.78	0.57	1.18	0.02
T6	0.99	0.07	0.18	-1.25
T7	0.87	-0.82	0.01	-0.06
T8	0.34	-0.31	-0.52	0.50
T9	-0.73	-1.16	2.18	-0.29

Fuente: Propia

Tras calcular los datos necesarios se procede a la verificación de los supuestos del modelo para el método gráfico, en el caso analítico se detallará la forma de cálculo en el caso del respectivo.

i. NORMALIDAD PARA EL D.B.C.A.:

MÉTODO GRÁFICO

Siguiendo lo visto en el numeral 1.2.7.1 literal a) se tiene:

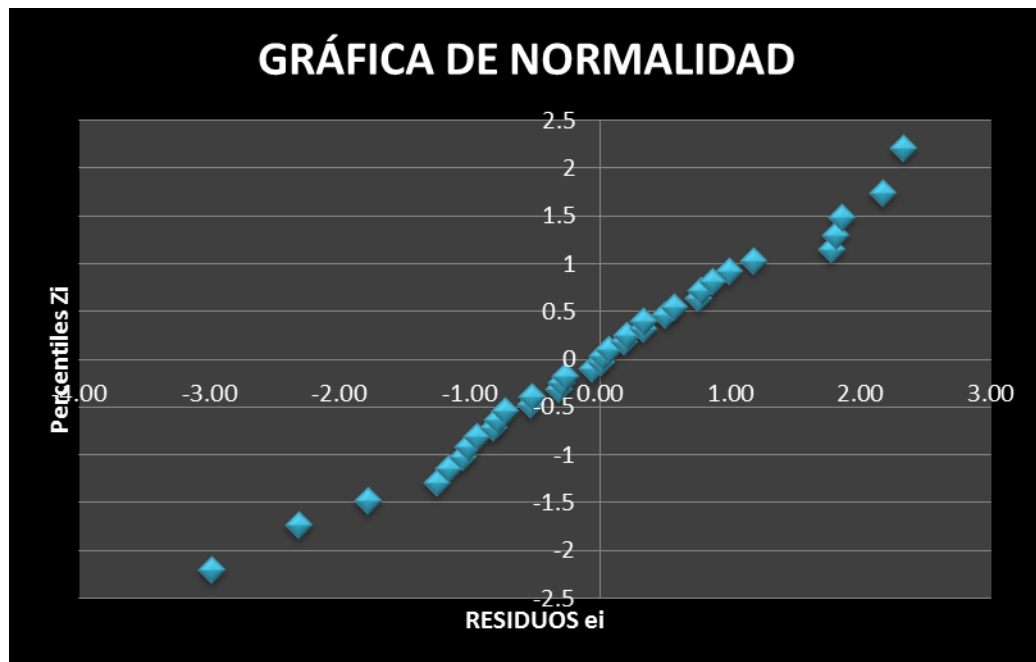
Tabla 3-7: Datos para la verificación del supuesto de normalidad para el D.B.C.A.

RESIDUOS ORDENADOS ei	RANGO i	(i-0.5)/N	Zi
-2.98	1	0.013888889	-2.20041058
-2.31	2	0.041666667	-1.7316644
-1.78	3	0.069444444	-1.47994139
-1.25	4	0.097222222	-1.29754293
-1.16	5	0.125	-1.15034938
-1.05	6	0.152777778	-1.02459239
-1.02	7	0.180555556	-0.91324993
-0.94	8	0.208333333	-0.8122178
-0.82	9	0.236111111	-0.71886805
-0.78	10	0.263888889	-0.63140189
-0.73	11	0.291666667	-0.54852228
-0.53	12	0.319444444	-0.46925288
-0.52	13	0.347222222	-0.39283081
-0.31	14	0.375	-0.31863936
-0.29	15	0.402777778	-0.24616365
-0.26	16	0.430555556	-0.17495994
-0.06	17	0.458333333	-0.10463346
0.01	18	0.486111111	-0.03482132
0.02	19	0.513888889	0.03482132
0.07	20	0.541666667	0.10463346
0.18	21	0.569444444	0.17495994
0.21	22	0.597222222	0.24616365
0.34	23	0.625	0.31863936
0.34	24	0.652777778	0.39283081
0.50	25	0.680555556	0.46925288
0.57	26	0.708333333	0.54852228
0.76	27	0.736111111	0.63140189
0.78	28	0.763888889	0.71886805
0.87	29	0.791666667	0.8122178

0.99	30	0.819444444	0.91324993
1.18	31	0.847222222	1.02459239
1.78	32	0.875	1.15034938
1.81	33	0.902777778	1.29754293
1.86	34	0.930555556	1.47994139
2.18	35	0.958333333	1.7316644
2.33	36	0.986111111	2.20041058

Fuente: Propia

Una vez obtenida la tabla se procede a graficar:



Fuente: Propia

Gráfica 3-1: Gráfico de dispersión para la normalidad para el D.B.C.A.

Interpretación G3-1: Al ver la grafica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

MÉTODO ANALÍTICO

Para demostrar analíticamente la normalidad en los datos realizamos la prueba chi cuadrada de bondad de ajuste citada en el numeral 1.2.7.1 literal b).

Como primer punto se procede a la elaboración de la tabla de frecuencias con los residuos calculados en el numeral anterior y se tiene:

Tabla 3-8: Cálculos para formar límites de clase para el D.B.C.A.

CÁLCULOS:	
<i>Max=</i>	2.33
<i>Min=</i>	-2.98
<i>R= Max -Min</i>	5.31
<i>n (# observaciones)=</i>	36
<i>K =1+ 3,322Log(N)=</i>	5.169925001
<i>A = R / K=</i>	1

Fuente: Propia

Obtenidos los respectivos cálculos los se procede a formar los intervalos de clase, como sigue:

Tabla 3-9: Límites de Clase para el D.B.C.A.

<i>LÍMITES DE CLASES</i>	
LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
-2.98	-1.98
-0.98	0.02
1.02	2.02

Fuente: Propia

Con los límites de clases reales, superior más 0.5 e inferior (-0.5) se procede a la elaboración de la tabla de frecuencias:

Tabla 3-10: Tabla de Frecuencias para el D.B.C.A.

<i>LÍMITES REALES</i>				
<i>LÍMITE INFERIOR</i>	<i>LÍMITE SUPERIOR</i>	PUNTO MEDIO	Frecuencias Absolutas	F. Abs. Acum.
-3.48	-1.48	-2.48	3	3
-1.48	0.52	-0.48	22	25
0.52	2.52	1.52	11	36
<i>TOTAL</i>			36	

Fuente: Propia

Definidas las frecuencias, aplicamos la prueba de bondad de ajuste:

MEDIA 0.00
DESVIACIÓN ESTÁNDAR 1.19

Sea **X**: rendimiento neto del maiz (variable aleatoria continua)

Se desea probar la hipótesis:

H₀: los datos provienen de una distribución normal

H_a: los datos no provienen de una distribución normal

Es decir, la prueba de bondad en términos de la distribución normal, quedaría formulada como:

$$H_0: X \sim N(0,1.19)$$

(distribución normal, $\mu=0$, $\delta=1.19$)

H_a : no se cumple H_0

A un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se obtiene:

El cálculo de la probabilidad correspondiente a cada intervalo:

$$p_1 = P(X \leq -1.48)$$

$$p_1 = 0.10699309303099$$

$$p_2 = P(-1.48 \leq X \leq 0.52)$$

$$p_2 = P((-1.48 - 0)/1.19 \leq Z \leq (0.52 - 0)/1.19)$$

$$p_2 = 0.562311366$$

$$p_3 = P(X \leq 2.52)$$

$$p_3 = 0.982940633$$

Una vez determinadas las probabilidades respectivas del intervalo calculamos la frecuencia esperada y se detalla:

Tabla 3-11: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el primer intervalo en el D.B.C.A.

LÍMITE	$(\text{Límite}-\mu)/\delta$	Frecuencia esperada $e1 = p1 n$
-1.48	-1.24267889	0.106993093
		0.105261664
		3.7894199

Fuente: Propia

Tabla 3-12: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el segundo intervalo en el D.B.C.A.

LÍMITES	(Límite- μ)/ δ	Frecuencia esperada $e_1 = p_1 n$
-1.48	-1.24267889	0.106993093
0.52	0.437993379	0.669304459
		0.562311366
		3.7894199

Fuente: Propia

Tabla 3-13: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el tercer intervalo en el D.B.C.A.

LÍMITE	(Límite- μ)/ δ	Frecuencia esperada $e_1 = p_1 n$
2.52	2.118665648	0.982940633
		0.313636175
		20.2432092

Fuente: Propia

Para finalizar se arma la tabla para el cálculo de la prueba chi cuadrada, obteniéndose:

Tabla 3-14: Tabla de cálculo para el valor chi cuadrado en el D.B.C.A.

L. INFERIOR	L. SUPERIOR	o_i	e_i	chi-cuadrado
-3.48	-1.48	3	4	0.1645
-1.48	0.52	22	20	0.1525
0.52	2.52	11	11	0.0075
				0.3244

Fuente: Propia

Como se cito en el marco teórico; la condición para valores esperados no debe ser menor que 5 se procede a modificar la tabla como matemáticamente esta permitido:

Tabla 3-15: Tabla definitiva para el cálculo del valor chi cuadrado en el D.B.C.A.

L. INFERIOR	L. SUPERIOR	o_i	e_i	chi-cuadrado
-3.38	0.52	25	24	0.041667
0.52	2.52	11	11	0.000000
				0.0416667

Fuente: Propia

Por tanto:

$$X^2 = 0.0416667$$

$$X_{0.05,1}^2 = 3.841$$

Diremos que como el valor chi cuadrado es menor que $X_{0.05,1}^2$ no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que:

Que la distribución normal con $\mu= 0$ $\delta= 1.19$ brinda un buen ajuste para la distribución del rendimiento neto del maíz.

ii. VARIANZA CONSTANTE PARA EL D.B.C.A.:

MÉTODO GRÁFICO

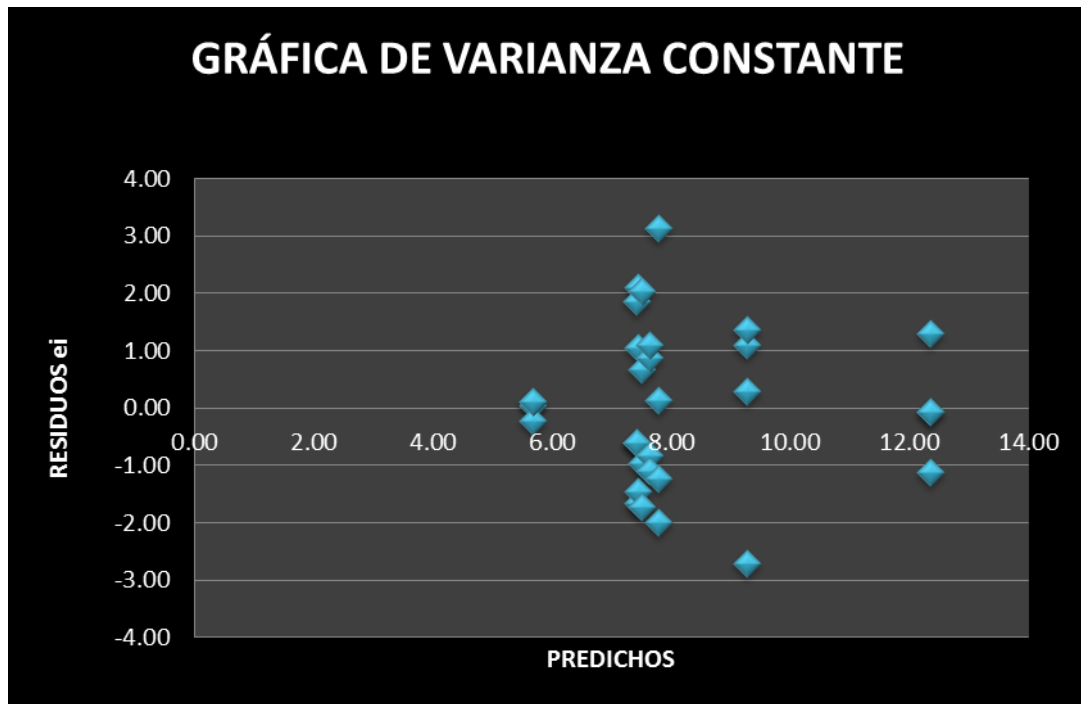
Siguiendo lo visto en el numeral 1.2.7.2 literal a) se tiene:

Tabla 3-16: Datos para la verificación del supuesto de homocedasticidad para el D.B.C.A.

PREDICHOS	RESIDUOS
5.69	0.04
5.69	-0.23
5.69	0.10
5.69	0.10
7.43	-0.61
7.43	-0.61
7.43	-0.61
7.43	1.84
7.46	-1.68
7.46	-1.46
7.46	2.09
7.46	1.05
7.51	-1.73
7.51	2.03
7.51	0.67
7.51	-0.97
7.65	0.86
7.65	-0.83
7.65	-1.10
7.65	1.08
7.79	-2.00
7.79	-1.24
7.79	0.12
7.79	3.12
9.27	-2.73
9.27	0.27
9.27	1.09
9.27	1.36
12.35	-0.08
12.35	-1.12
12.35	-0.08
12.35	1.28

Fuente: Propia

Una vez obtenida la tabla se procede a graficar:



Fuente: Propia

Gráfica 3-2: Gráfico de dispersión para la homocedasticidad para el D.B.C.A.

Interpretación G3-2: Al ver la grafica de homocedasticidad es evidente que la posición vertical de los puntos indican la presencia de variabilidad constante en los datos por cada grupo.

MÉTODO ANALÍTICO

Para demostrar analíticamente la varianza constante o homocedasticidad en los datos aplicamos la prueba de Bartlett citada en el numeral 1.2.7.2 literal b).

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_a^2 = \sigma^2$$

$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 = \text{ para algún } i \neq j$$

A un nivel de significancia $\alpha=0.05$ se desea probar la varianza constate como sigue:

Los datos para empezar el análisis son:

<i>N(tamaño total)</i>	36
<i>ni (tamaño de la muestra del grupo)</i>	4
<i>a (número de grupos participantes)</i>	9

Se procede a calcular las varianzas respectivas para cada tratamiento y realizar los primeros cálculos para encontrar el estadístico de prueba:

Tabla 3-17: Cálculos de varianzas para encontrar el valor del estadístico de prueba en el D.B.C.A.

VARIANZAS	VAR * N	log 10
6.762396694	20.28719008	0.830100644
5.108181818	15.32454545	0.708266347
2.837107438	8.511322314	0.452875782
1.270165289	3.810495868	0.10386024
3.520661157	10.56198347	0.546624229
0.024545455	0.073636364	-1.610028921
0.96892562	2.90677686	-0.013709561
1.506198347	4.518595041	0.177882167
3.465867769	10.39760331	0.539811989
SUMA	76.39214876	

Fuente: Propia

Se procede a calcular los parámetros de la prueba:

$$q = (N - a) \log_{10} S_p^2 - \sum_{i=1}^a (n_i - 1) \log_{10} S_i^2$$

$$q = 6.98845$$

$$c = 1 + \frac{1}{3(a-1)} \left(\sum_{i=1}^a (n_i - 1)^{-1} - (N - a)^{-1} \right)$$

$$c = 1.05401$$

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^a (n_i - 1) S_i^2}{N - a}$$

$$S_p^2 = 2.82934$$

Para finalmente ser remplazados en:

$$\chi^2 = 2.3026 \frac{q}{c}$$

$$\chi^2 = 2.3026 \frac{6.98845}{1.05401}$$

$$\chi^2 = 15.267$$

Que al ser comparado con $X_{0.05,8}^2 = 15.504$ diremos que:

Al ser el valor chi cuadrado menor que $X_{0.05,8}^2$ no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que:

Que las varianzas son homogéneas para el rendimiento neto del maíz.

iii. INDEPENDENCIA PARA EL D.B.C.A.:

MÉTODO GRÁFICO

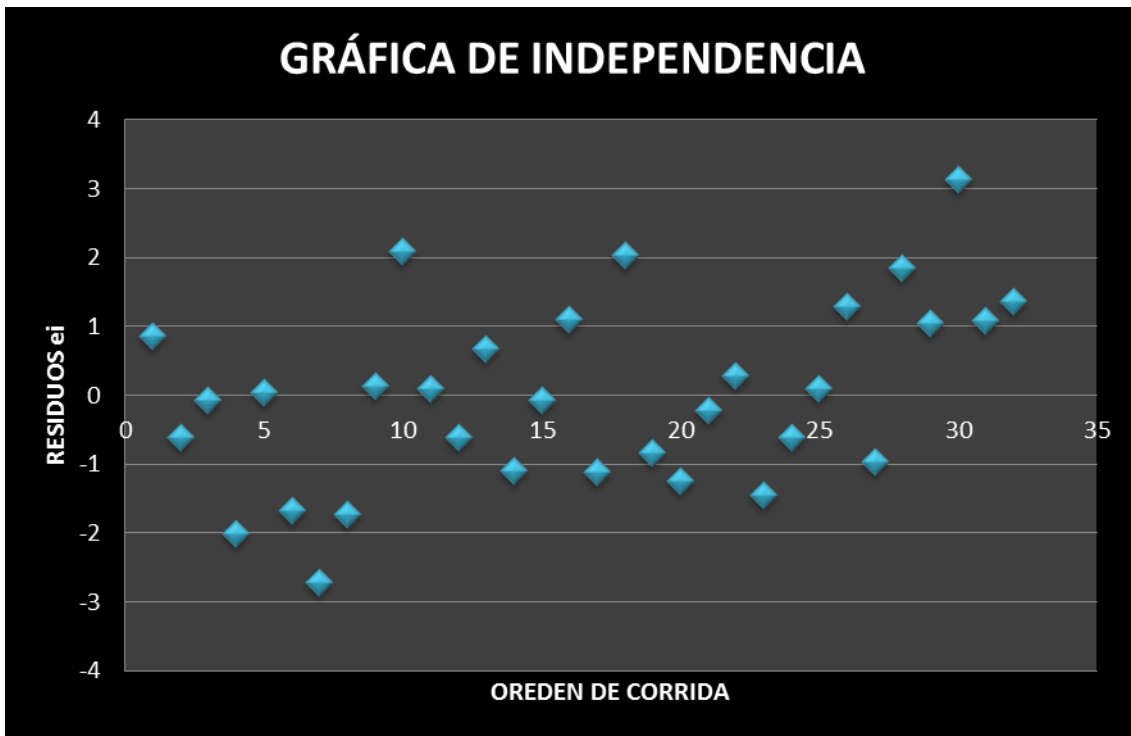
Siguiendo lo visto en el numeral 1.2.7.3 literal a) se tiene:

Tabla 3-18: Datos para la verificación del supuesto de independencia para el D.B.C.A.

ORDEN DE CORRIDA	RESIDUOS
1	0.859090909
2	-0.613636364
3	-0.081818182
4	-2.004545455
5	0.040909091
6	-1.677272727
7	-2.727272727
8	-1.731818182
9	0.122727273
10	2.086363636
11	0.095454545
12	-0.613636364
13	0.668181818
14	-1.104545455
15	-0.081818182
16	1.090909091
17	-1.118181818
18	2.031818182
19	-0.831818182
20	-1.240909091
21	-0.231818182
22	0.272727273
23	-1.459090909
24	-0.613636364
25	0.095454545
26	1.281818182
27	-0.968181818
28	1.840909091
29	1.05
30	3.122727273
31	1.077272727
32	1.363636364

Fuente: Propia

Una vez obtenida la tabla se procede a graficar:



Fuente: Propia

Gráfica 3-3: Gráfico de dispersión para la independencia para el D.B.C.A.

Interpretación G3-3: Al ver la grafica es claro que los datos presentan aleatoriedad lo que indican el cumplimiento de independencia en los datos.

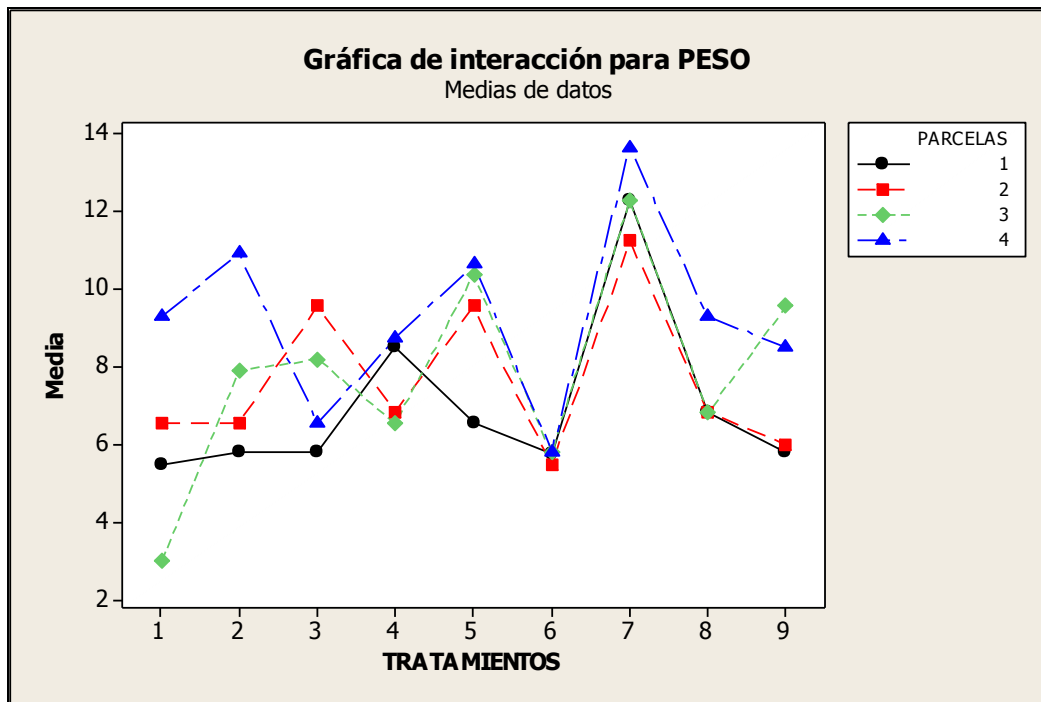
iv) HIPÓTESIS ADICIONAL:

En el diseño en bloques completo al azar existe una hipótesis adicional misma que se refiere a que los tratamientos y parcelas no interactúen que es importante en la verificación de supuestos, la misma que será probada gráficamente:

H_0 : tratamientos y parcelas interactúan

H_0 : tratamientos y parcelas no interactúan

Con la ayuda del software Minitab obtenemos:



Fuente: Propia

Gráfica 3-4: Gráfico de interacción para el peso neto del maíz para el D.B.C.A.

Tras al observar la gráfica se puede decir que existe interacción pero concluiremos que puede deberse a que la información que se obtuvo al realizar la experimentación no fue estrictamente a los que exige el Diseño en Bloque Completo al Azar puesto que el diseño a aplicarse conlleva un arreglo factorial 2^3 mas un tratamiento control.

3.3 DISEÑO FACTORIAL 2³

3.3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Lo principal para empezar el desarrollo es tener claramente identificadas las variables y factores que intervienen en el diseño por tanto, se tiene:

VARIABLE RESPUESTA: Peso de la producción del maíz (qq/ka)

FACTORES	NIVELES	UNIDAD
<i>A:NITROGENO</i>	150	Kg. /ha N
	300	Kg. /ha N
<i>B:FOSFORO</i>	40	Kg. /ha P ₂ O ₅
	80	Kg. /ha P ₂ O ₅
<i>C:POTASIO</i>	100	Kg. /ha K ₂ O
	200	Kg. /ha K ₂ O

Tras obtener el rendimiento neto del maíz (qq/ha) se diseña la matriz de datos con la cual se procede al estudio estadístico, misma que se presenta:

Tabla 3-19: Pesos del rendimiento neto de maíz para un diseño factorial 2³ con cuatro observaciones por celda

		B			
		B1		B2	
A	C	C1	C2	C1	C2
A1		5.78	5.78	8.51	6.55
		6.55	9.55	6.82	9.55
		7.91	8.18	6.55	10.36
		10.91	6.55	8.73	10.64
A2		5.73	12.27	6.82	5.78
		5.45	11.24	6.82	6.00
		5.78	12.27	6.82	9.55
		5.78	13.64	9.27	8.51

Fuente: Propia

El Modelo Estadístico en función del problema, se define:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, b \quad k = 1, 2, \dots, c$$

donde;

Y_{ijkl} = Observación l en la unidad experimental del tratamiento ijk

μ = Efecto medio global

α_i = Efecto debido al i-ésimo nivel del factor Nitrógeno

β_j = Efecto debido al j-ésimo nivel del factor Fósforo

γ_k = Efecto debido al K-ésimo nivel del factor Potasio

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre los factores Nitrógeno y Fósforo en los niveles i y j

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = Efecto de interacción entre los factores Nitrógeno y Potasio en los niveles i y k

$(\beta\gamma)_{jk}$ = Efecto de interacción entre los factores Fósforo y Potasio en los niveles j y k

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = Efecto de interacción entre los factores Nitrógeno, Fósforo y Potasio en los niveles i, j y k

ε_{ijkl} = Error aleatorio asociado a la observación Yijkl

Seguidamente se corre un análisis de varianza, mismo que necesita probar las siguientes hipótesis del modelo:

HIPÓTESIS PARA PRUEBAS DE EFECTOS PRINCIPALES

- $\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{no hay un efecto debido al factor Nitrógeno en el rendimiento neto del maíz} \\ H_1: \text{al menos hay un efecto debido al factor Nitrógeno en el rendimiento neto del maíz} \end{array} \right.$
- $\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{no hay un efecto debido al Fósforo en el rendimiento neto del maíz} \\ H_1: \text{al menos hay un efecto debido al Fósforo en el rendimiento neto del maíz} \end{array} \right.$
- $\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{no hay un efecto debido al Potasio en el rendimiento neto del maíz} \\ H_1: \text{al menos hay un efecto debido al Potasio en el rendimiento neto del maíz} \end{array} \right.$

HIPÓTESIS PARA INTERACCIONES PARA LOS DOS FACTORES

H_0 : no hay interacción entre los factores Nitrógeno y Fósforo en el rendimiento neto del maíz
 H_1 : hay interacción entre los factores Nitrógeno y Fósforo en el rendimiento neto del maíz

H_0 : no hay interacción entre los factores Nitrógeno y Potasio en el rendimiento neto del maíz
 H_1 : hay interacción entre los factores Nitrógeno y Potasio en el rendimiento neto del maíz

H_0 : no hay interacción entre los factores Fósforo y Potasio en el rendimiento neto del maíz
 H_1 : hay interacción entre los factores Fósforo y Potasio en el rendimiento neto del maíz

HIPÓTESIS PARA INTERACCIONES PARA LOS TRES FACTORES

H_0 : no hay interacción entre los factores Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el rendimiento neto del maíz
 H_1 : hay interacción entre los factores Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el rendimiento neto del maíz

Se procede a calcular las fórmulas citadas en el numeral 1.2.9.2 y 1.2.9.3 que se refieren a los contrastes y efectos respectivamente, para ellos necesitaremos la tabla de totales según Yates:

Tabla 3-20: Pesos totales según Yates

A:NITROGENO	B:FOSFORO	C:POTASIO	PESO				TOTAL	YATES
150	40	100	5.78	6.55	7.91	10.91	31.15	-1
300	40	100	5.78	9.55	8.18	6.55	30.05	a
150	80	100	8.51	6.82	6.55	8.73	30.60	b
300	80	100	6.55	9.55	10.36	10.64	37.09	ab
150	40	200	5.73	5.45	5.78	5.78	22.75	c
300	40	200	12.27	11.24	12.27	13.64	49.42	ac
150	80	200	6.82	6.82	6.82	9.27	29.73	bc
300	80	200	5.78	6.00	9.55	8.51	29.84	abc

Fuente: Propia

Contrastes:

$$\begin{aligned} \text{Contraste A} &= [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc] \\ &= 32.18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Contraste B} &= [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac] \\ &= -6.11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Contraste C} &= [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab] \\ &= 2.84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Contraste AB} &= [(1) + ab + c + abc - a - b - ac - bc] \\ &= -18.98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Contraste AC} &= [(1) + b + ac + abc - a - ab - c - bc] \\ &= 21.38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Contraste } BC &= [(1) + a + bc + abc - b - ab - c - ac] \\ &= -19.09\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Contraste } ABC &= [a + b + c + abc - (1) - ab - ac - bc] \\ &= -34.15\end{aligned}$$

Efectos:

$$\begin{aligned}\text{Efecto } A &= \frac{\text{Contraste } A}{n2^{k-1}} \\ &= 2.01\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efecto } B &= \frac{\text{Contraste } B}{n2^{k-1}} \\ &= -0.38\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efecto } C &= \frac{\text{Contraste } C}{n2^{k-1}} \\ &= 0.18\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efecto } AB &= \frac{\text{Contraste } AB}{n2^{k-1}} \\ &= -1.19\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efecto } AC &= \frac{\text{Contraste } AC}{n2^{k-1}} \\ &= 1.34\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efecto } BC &= \frac{\text{Contraste } BC}{n2^{k-1}} \\ &= -1.19\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Efecto } ABC &= \frac{\text{Contraste } ABC}{n2^{k-1}} \\ &= -2.13\end{aligned}$$

Se procede a calcular las fórmulas citadas en el numeral 1.2.9.3, y resulta:

$$SC_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{n2^k}$$

$$= 163.2581$$

$$SC_A = \frac{(\text{Contraste}_A)^2}{n2^k}$$

$$= 32.3646694$$

$$SC_B = \frac{(\text{Contraste}_B)^2}{n2^k}$$

$$= 1.1662809$$

$$SC_C = \frac{(\text{Contraste}_C)^2}{n2^k}$$

$$= 0.2514049$$

$$SC_{AB} = \frac{(\text{Contraste}_{AB})^2}{n2^k}$$

$$= 11.259669$$

$$SC_{AC} = \frac{(\text{Contraste}_{AC})^2}{n2^k}$$

$$= 14.28694$$

$$SC_{BC} = \frac{(\text{Contraste}_{BC})^2}{n2^k}$$

$$= 11.3894628$$

$$SC_{ABC} = \frac{(\text{Contraste}_{ABC})^2}{n2^k}$$

$$= 36.434752$$

$$SSE = TSS - SSA - SSB - SSC - SSAB - SSAC - SSBC - SSABC$$

$$= 56.10495$$

Con estos resultados calculamos la tabla de ANOVA para el D.F. 2³:

Tabla 3-21: Tabla De ANOVA para el Diseño Factorial 2³

<i>ANOVA PARA EL DISEÑO FACTORIAL 2³ CON 4 OBSERVACIONES POR CELDA</i>					
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Prueba F	Valor p
EFFECTOS PRINCIPALES					
<i>NITROGENO (A)</i>	32.36466942	1	32.36466942	13.84462415	0.001063419
<i>FOSFORO (B)</i>	1.166280992	1	1.166280992	0.498899642	0.486785034
<i>POTASIO (C)</i>	0.251404959	1	0.251404959	0.107543418	0.745802207
INTERACCIONES					
<i>NITROGENO * FOSFORO(A*B)</i>	11.25966942	1	11.25966942	4.816545141	0.038103038
<i>NITROGENO * POTASIO(A*C)</i>	14.28694215	1	14.28694215	6.111520615	0.020908354
<i>FOSFORO * POTASIO(B*C)</i>	11.38946281	1	11.38946281	4.872066817	0.037102711
<i>NITROGENO * FOSFORO * POTASIO(A*B*C)</i>	36.43475207	1	36.43475207	15.58568209	0.000601034
Error	56.10495868	24	2.337706612		
TOTAL	163.2581405	31	5.266391629		

Fuente: Propia

3.3.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La conclusión a la que se llega a través del análisis de varianza en cada uno de los factores de estudio son que:

- Al rechazar la hipótesis nula, si existe un efecto principal del nitrógeno sobre el peso de la producción de maíz peso de la producción del maíz.

- Al aceptar la hipótesis nula, no existe un efecto principal del fósforo sobre el peso de la producción de maíz.
- Al aceptar la hipótesis nula, no existe un efecto principal del potasio sobre el peso de la producción de maíz.

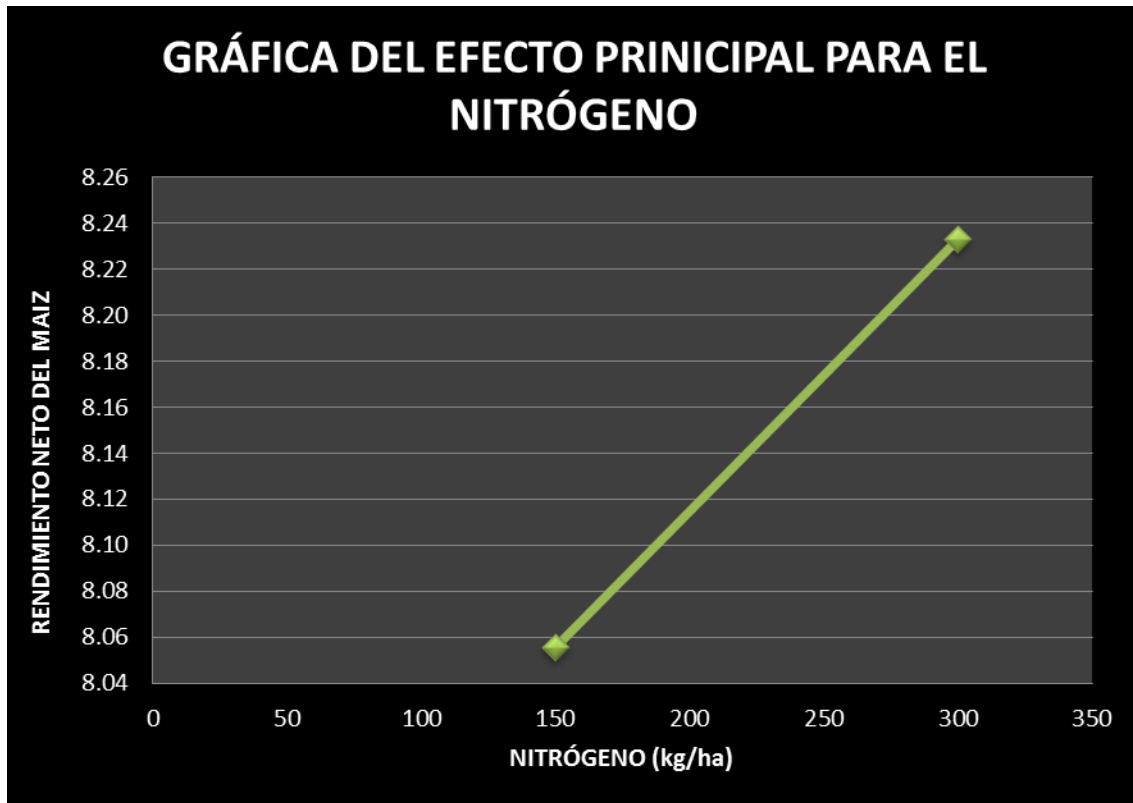
- En las hipótesis de interacción doble se rechazar las hipótesis nulas respectivamente, por tanto si existe un efecto de interacción doble entre los factores: nitrógeno-fosforo; nitrógeno-potasio y fósforo-potasio sobre el peso de la producción de maíz.

- Al rechazar la hipótesis nula, si existe un efecto de interacción triple del nitrógeno, fósforo y potasio sobre el peso de la producción de maíz.

GRÁFICAS DE INTERACCIÓN

En el ANOVA se presencié la influencia de los factores en estudio por cual para procedió con el cálculo de las respectivas gráficas de efectos principales y de interacción dobles y triples, las que nos conducirán para emitir la conclusión principal que es definir el **tratamiento ganador** que será el punto de partida para la siembra de proyectos posteriores.

❖ GRÁFICAS DE EFECTOS PRINCIPALES:

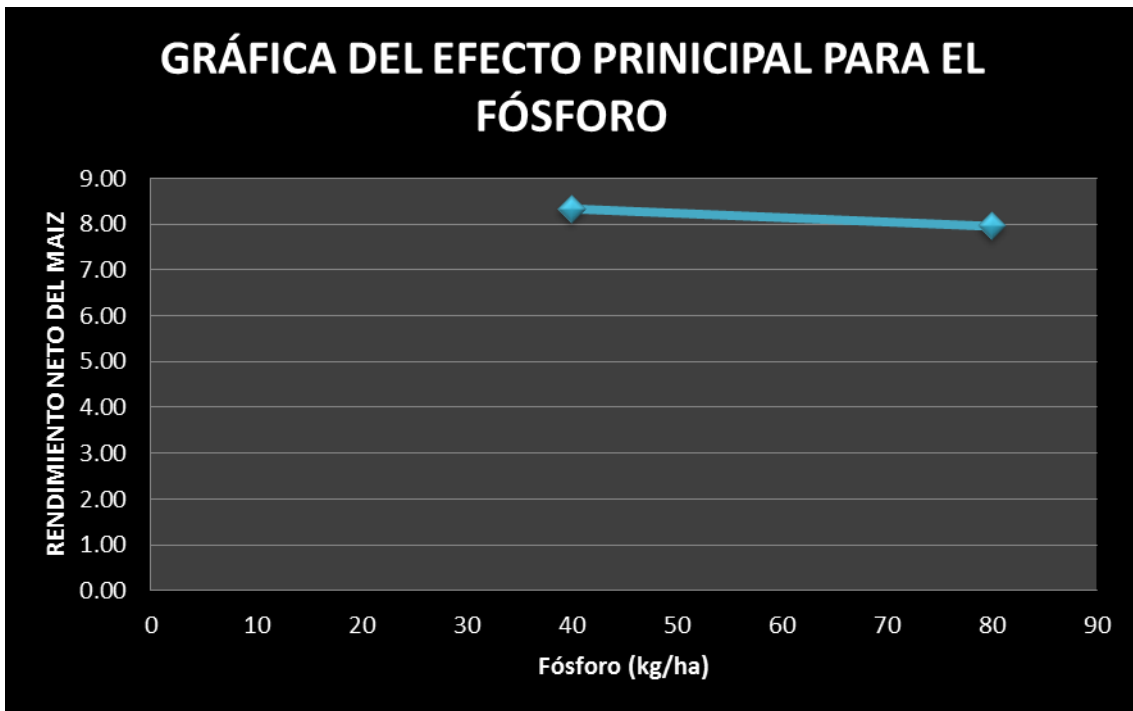


Fuente: Propia

Gráfica 3-5 : Gráfico del efecto principal para el nitrógeno en el D.F.2³

INTERPRETACIÓN:

En la gráfica se observa que un cambio en los niveles de nitrógeno de 150 a 300 kg/ha provoca un fuerte incremento en el rendimiento neto del maíz, en coherencia con el resultado analítico en el análisis de varianza.

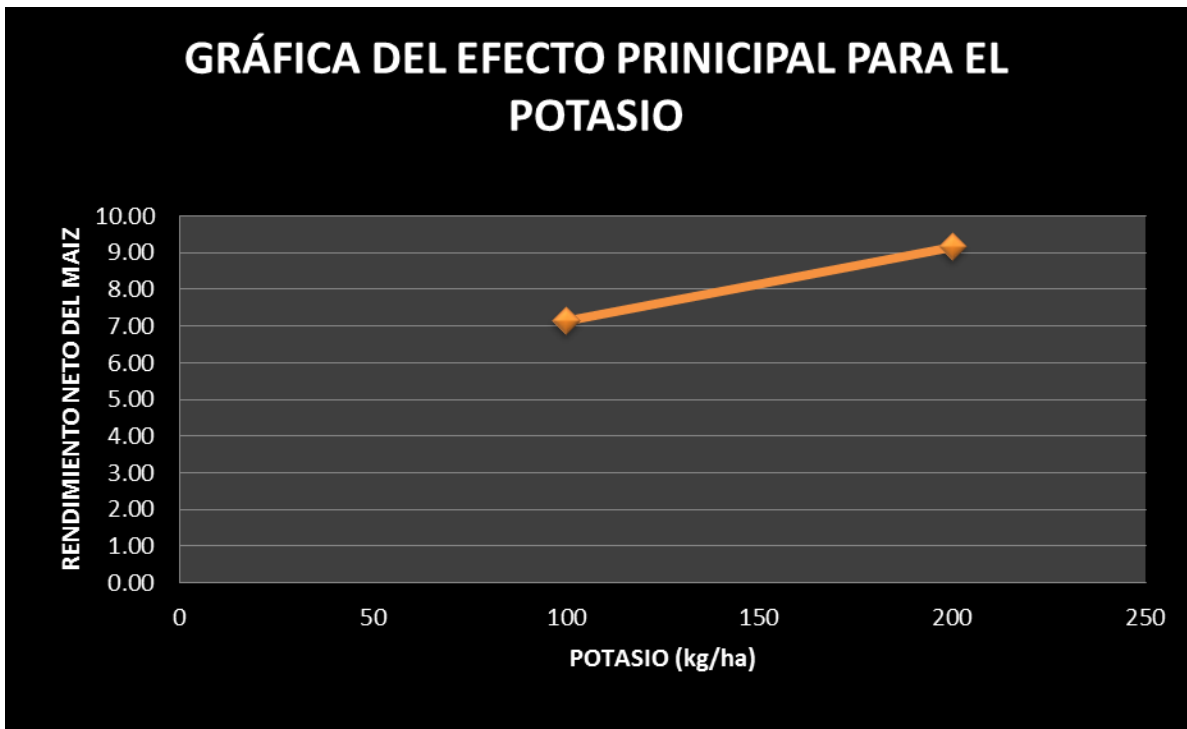


Fuente: Propia

Gráfica 3-6: Gráfico del efecto principal para el fósforo en el D.F.2³

INTERPRETACIÓN:

En la gráfica se observa que un cambio en los niveles de fósforo de 40 a 80 kg/ha provoca un leve decremento en el rendimiento neto del maíz, en coherencia con el resultado analítico en el análisis de varianza.



Fuente: Propia

Gráfica 3-7: Gráfico del efecto principal para el potasio en el D.F.2³

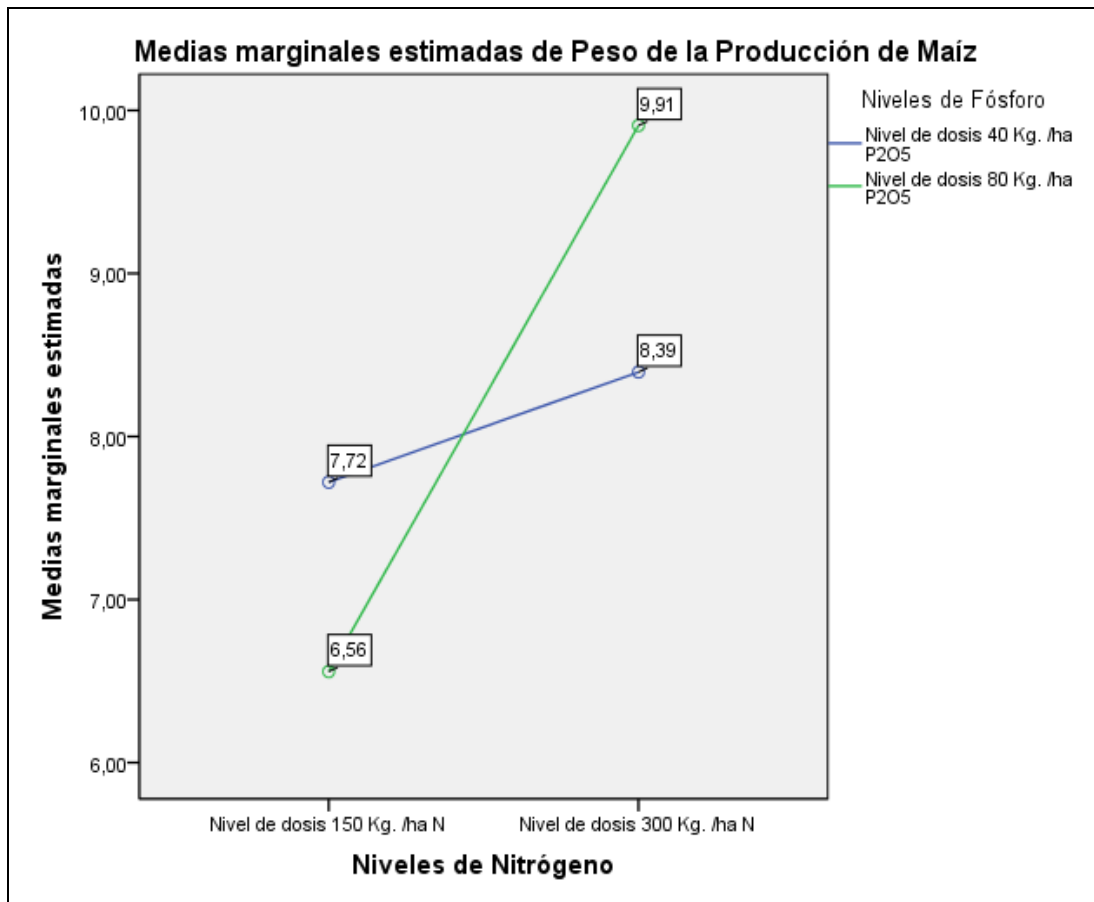
INTERPRETACIÓN:

En la gráfica se observa que un cambio en los niveles de potasio de 100 a 200 kg/ha provoca un ligero incremento en el rendimiento neto del maíz, en coherencia con el resultado analítico en el análisis de varianza.

❖ GRÁFICAS DE INTERACCIÓN DOBLE

Con la ayuda del software estadístico SPSS, se obtienen las respectivas gráficas:

- **NITRÓGENO vs. FÓSFORO**



Fuente: Propia

Gráfica 3-8: Gráfico de interacción doble entre el nitrógeno y fósforo.

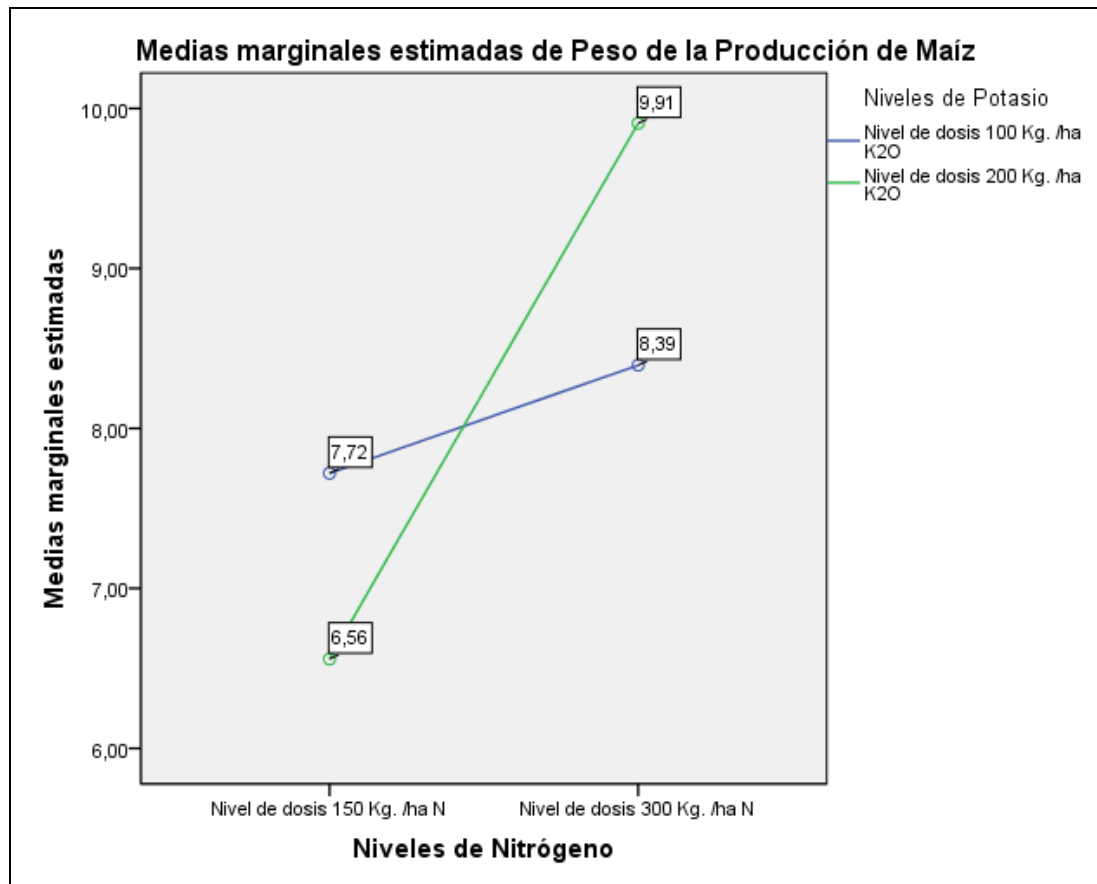
INTERPRETACIÓN: En la gráfica observamos que las pendientes de las líneas son muy diferentes razón por la cual concluimos que existe un efecto de interacción entre el nitrógeno y el fósforo, en coherencia con el resultado analítico del ANOVA.

Además se observa que:

- Cuando cambiamos del nivel bajo al nivel alto de nitrógeno con un nivel de fósforo de 40 kg/ha existe un breve incremento del rendimiento neto del maíz.

- Cuando cambiamos del nivel bajo al nivel alto de nitrógeno con un nivel de fósforo de 80 kg/ha existe un crecimiento considerable del rendimiento neto del maíz.

- **NITRÓGENO vs. POTASIO**



Fuente: Propia

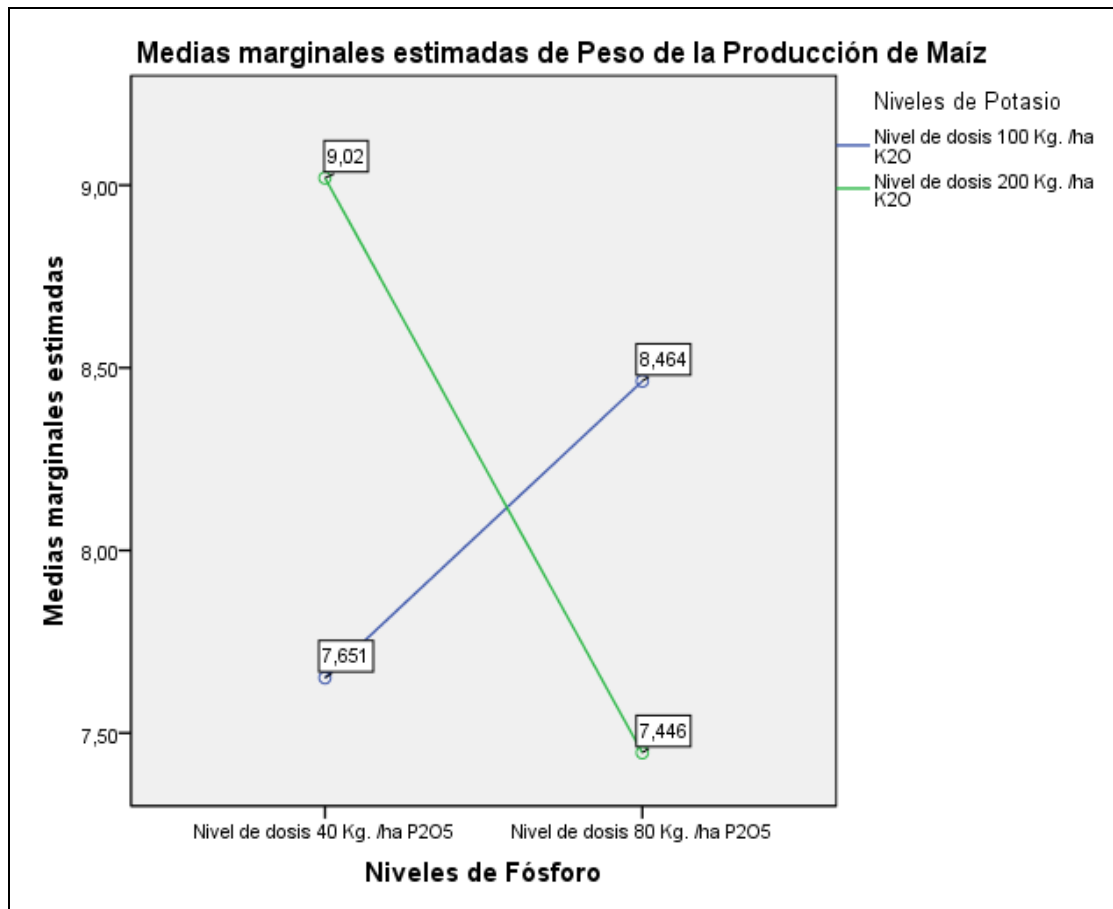
Gráfica 3-9: Gráfico de interacción doble entre el nitrógeno y potasio.

INTERPRETACIÓN: En la gráfica observamos que las pendientes de las líneas son muy diferentes razón por la cual concluimos que existe un efecto de interacción entre el nitrógeno y el potasio en coherencia con el resultado analítico del ANOVA.

Además se observa que:

- Cuando cambiamos del nivel bajo al nivel alto de nitrógeno con un nivel de potasio de 100 kg existe un incremento leve en el peso del rendimiento neto del maíz.
- Cuando cambiamos del nivel bajo al nivel alto de nitrógeno con un nivel de potasio de 200 kg existe un crecimiento considerable en el peso del rendimiento neto del maíz.

- **FÓSFORO vs. POTASIO**



Fuente: Propia

Gráfica 3-10: Gráfico de interacción doble entre el fósforo y potasio.

INTERPRETACIÓN:

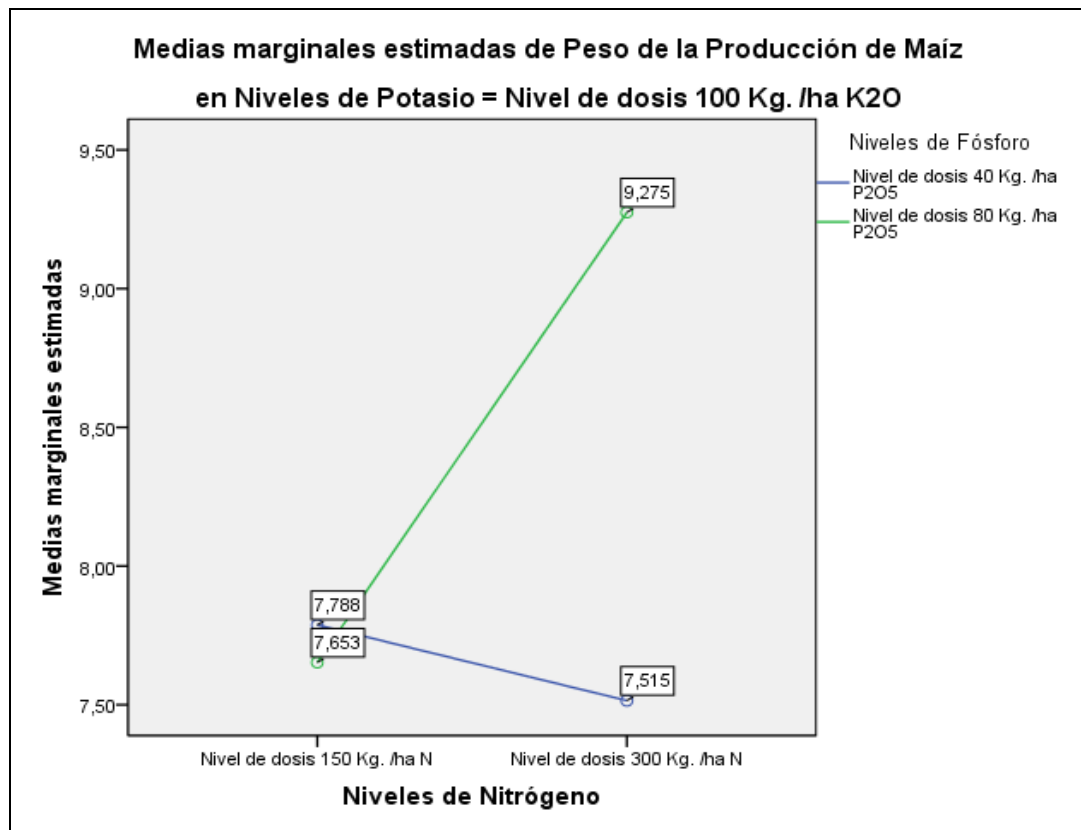
En la gráfica observamos que las pendientes de las líneas son muy diferentes razón por la cual concluimos que existe un efecto de interacción entre el fosforo y el potasio, en coherencia con el resultado analítico del ANOVA.

Además se observa que:

- Cuando cambiamos del nivel bajo al nivel alto de fósforo con un nivel de potasio de 100 kg existe un cremento considerable en el peso del rendimiento neto del maíz.
- Cuando cambiamos del nivel bajo al nivel alto de fósforo con un nivel de potasio de 200 kg existe un decrecimiento considerable en el peso del rendimiento neto del maíz.

❖ GRÁFICAS DE INTERACCIÓN TRIPLE

- **NIVEL DE POTASIO 100**



Fuente: Propia

Gráfica 3-11: Gráfico interacción triple entre los nitrógeno, fósforo y potasio a 100 kg/ha

INTERPRETACIÓN:

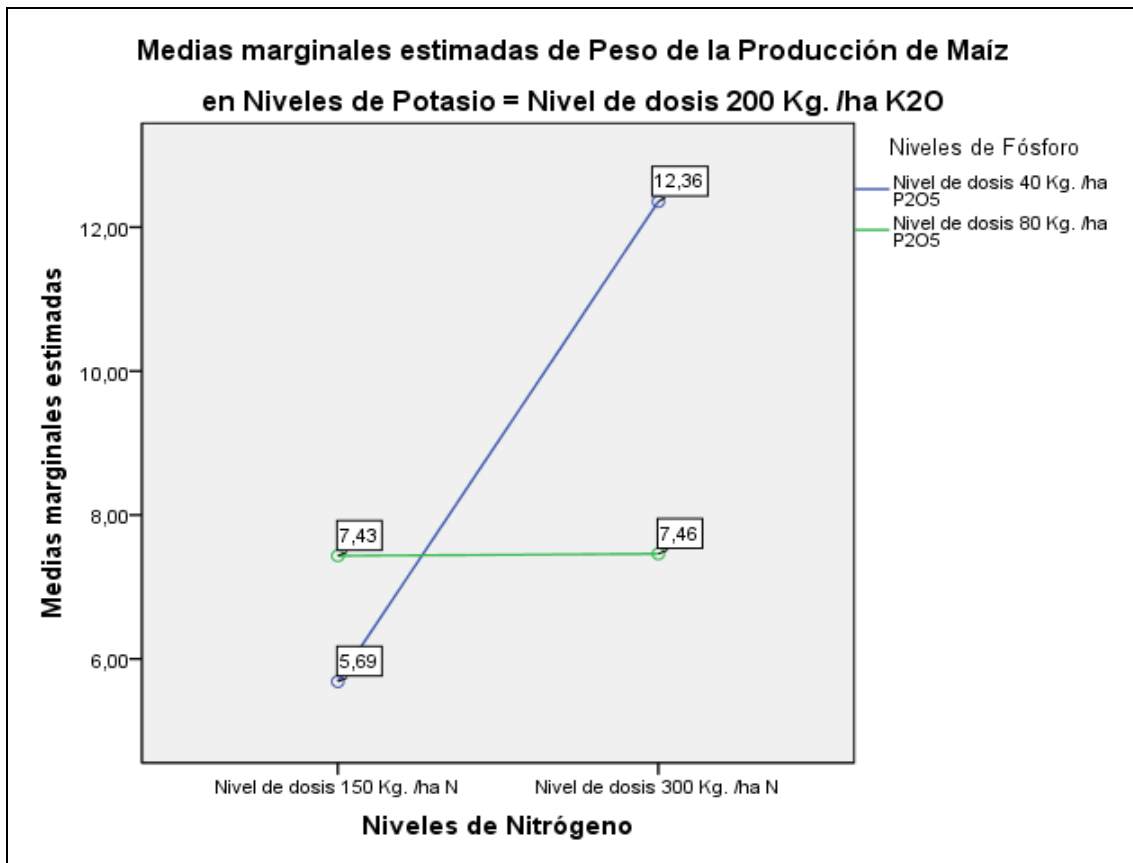
En la gráfica observamos que las pendientes de las líneas son muy diferentes razón por la cual concluimos que existe un efecto de interacción entre el nitrógeno, fósforo y el potasio; en coherencia con el resultado analítico del ANOVA.

Además se observa que:

- Cuando cambiamos del nivel bajo al nivel alto de nitrógeno con un nivel de fósforo alto y un nivel de potasio de 100 kg existe un incremento considerable del rendimiento neto del maíz.

- Cuando cambiamos del nivel bajo al nivel alto de nitrógeno con un nivel de fósforo bajo y un nivel de potasio de 100 kg existe un decrecimiento leve del rendimiento neto del maíz.

- **NIVEL DE POTASIO 200**



Fuente: Propia

Gráfica 3-12: Gráfico interacción triple entre los nitrógeno, fósforo y potasio a 200 kg/ha

INTERPRETACIÓN:

En la gráfica observamos que las pendientes de las líneas son muy diferentes razón por la cual concluimos que existe un efecto de interacción entre el nitrógeno, fósforo y el potasio; en coherencia con el resultado analítico del ANOVA.

Además se observa que:

- Cuando cambiamos del nivel bajo al nivel alto de nitrógeno con un nivel de fósforo alto y un nivel de potasio de 200 kg existe un incremento leve del rendimiento neto del maíz.
- Cuando cambiamos del nivel bajo al nivel alto de nitrógeno con un nivel de fósforo bajo y un nivel de potasio de 200 kg existe un crecimiento considerable del rendimiento neto del maíz.

❖ TRATAMIENTO GANADOR

Analizando las gráficas de las interacciones triples observamos que el punto con mayor producción con 12.36 qq/ha; mismo que fue el resultado de aplicar *NITRÓGENO (300 Kg. /ha N)*, *FÓSFORO (40 Kg. /ha P2O5)* y *POTASIO (200 Kg. /ha K2O)*, por lo que se lo considera el ***tratamiento ganador*** por tanto se concluye que:

En base al análisis estadístico y teniendo presente que el interés es maximizar la producción de maíz se recomienda proceder a la siembra de maíz considerando para su complemento edáfico los siguientes niveles de nitrógeno, fósforo y potasio:

ABONO SINTÉTICO	NIVEL	UNIDAD
<i>NITRÓGENO</i>	<i>300</i>	<i>Kg. /ha N</i>
<i>FÓSFORO</i>	<i>40</i>	<i>Kg. /ha P2O5</i>
<i>POTASIO</i>	<i>200</i>	<i>Kg. /ha K2O</i>

3.3.3 DIAGNÓSTICO DEL MODELO

Para el diagnóstico del modelo se procede a hacer un Análisis Residual para probar gráficamente los respectivos supuestos citados en el capítulo 1; para ello se calcula los valores predichos mismos que son el resultado de los valores observados vs. predichos.

Con la *ecuación 1* del marco teórico se calculan los valores predichos para el rendimiento neto, como se presenta:

Tabla 3-22: Predichos para el rendimiento neto de la producción de maíz en el diseño factorial 2³

A	C	B			
		B1		B2	
		C1	C2	C1	C2
A1		7.79	7.51	7.65	9.27
		7.79	7.51	7.65	9.27
		7.79	7.51	7.65	9.27
		7.79	7.51	7.65	9.27
A2		5.69	12.35	7.43	7.46
		5.69	12.35	7.43	7.46
		5.69	12.35	7.43	7.46
		5.69	12.35	7.43	7.46

Fuente: Propia

Al tener todos los datos se calcula los residuos y se obtiene:

Tabla 3-23: Predichos para el rendimiento neto de la producción de maíz en el diseño factorial 2³

A	C	B1		B2	
		C1	C2	C1	C2
A1		-2.00	-1.73	0.86	-2.73
		-1.24	2.03	-0.83	0.27
		0.12	0.67	-1.10	1.09
		3.12	-0.97	1.08	1.36
A2		0.04	-0.08	-0.61	-1.68
		-0.23	-1.12	-0.61	-1.46
		0.10	-0.08	-0.61	2.09
		0.10	1.28	1.84	1.05

Fuente: Propia

Tras calcular los datos necesarios se procede a la verificación de los supuestos del modelo para el método gráfico, en el caso analítico se detallará la forma de cálculo en el caso del respectivo.

i. NORMALIDAD PARA EL DISEÑO FACTORIAL 2³:

MÉTODO GRÁFICO

Siguiendo lo visto en el numeral 1.2.7.1 literal a) se tiene:

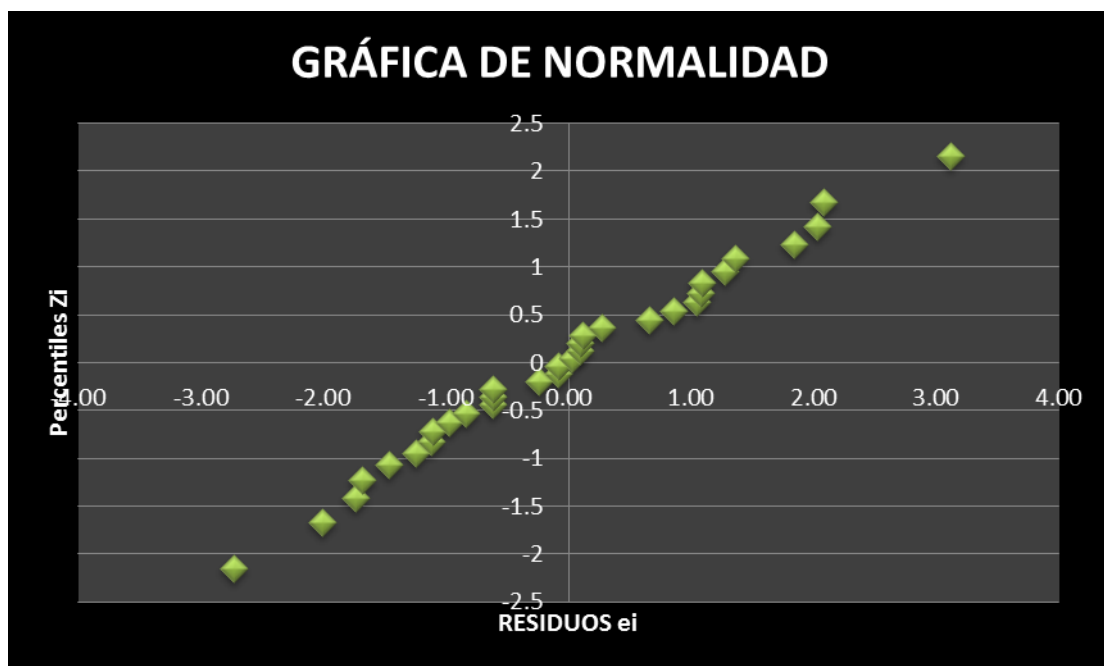
Tabla 3-24: Datos para la verificación del supuesto de normalidad en el diseño factorial 2³

RESIDUOS ORDENADOS e_i	RANGO i	(i-0.5)/N	Z_i
-2.73	1	0.015625	-2.15387469
-2.00	2	0.046875	-1.67593972
-1.73	3	0.078125	-1.41779714
-1.68	4	0.109375	-1.22985876
-1.46	5	0.140625	-1.07751557
-1.24	6	0.171875	-0.94678176
-1.12	7	0.203125	-0.83051088
-1.10	8	0.234375	-0.72451438
-0.97	9	0.265625	-0.62609901
-0.83	10	0.296875	-0.53340971
-0.61	11	0.328125	-0.44509652
-0.61	12	0.359375	-0.36012989
-0.61	13	0.390625	-0.27769044
-0.23	14	0.421875	-0.19709908
-0.08	15	0.453125	-0.11776987
-0.08	16	0.484375	-0.03917609
0.04	17	0.515625	0.03917609
0.10	18	0.546875	0.11776987
0.10	19	0.578125	0.19709908
0.12	20	0.609375	0.27769044
0.27	21	0.640625	0.36012989
0.67	22	0.671875	0.44509652
0.86	23	0.703125	0.53340971
1.05	24	0.734375	0.62609901
1.08	25	0.765625	0.72451438
1.09	26	0.796875	0.83051088

1.28	27	0.828125	0.94678176
1.36	28	0.859375	1.07751557
1.84	29	0.890625	1.22985876
2.03	30	0.921875	1.41779714
2.09	31	0.953125	1.67593972
3.12	32	0.984375	2.15387469

Fuente: Propia

Una vez obtenida la tabla se procede a graficar:



Fuente: Propia

Gráfica 3-13: Gráfico de dispersión para la normalidad para el D.F. 2³

Interpretación G3-13: Al ver la gráfica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

MÉTODO ANALÍTICO

Para demostrar analíticamente la normalidad en los datos realizamos la prueba chi cuadrada de bondad de ajuste citada en el numeral 1.2.7.1 literal b).

Como primer punto se procede a la elaboración de la tabla de frecuencias con los residuos calculados en el numeral anterior y se tiene:

Tabla 3-25: Cálculos para formar límites de clase el diseño factorial 2³

CÁLCULOS:	
Max=	3.12
Min=	-2.73
R= Max -Min	5.85
n (# observaciones)=	32
K =1+ 3,322Log(N)=	5
A = R / K=	1

Fuente: Propia

Obtenidos los respectivos cálculos los se procede a formar los intervalos de clase, como sigue:

Tabla 3-26: Límites de Clase el diseño factorial 2³

<i>LÍMITES DE CLASES</i>	
LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
-2.73	-1.73
-0.73	0.27
1.27	2.27
3.27	4.27

Fuente: Propia

Con los límites de clases reales, superior más 0.5 e inferior (-0.5) se procede a la elaboración de la tabla de frecuencias:

Tabla 3-27: Tabla de Frecuencias el diseño factorial 2³

<i>LÍMITES REALES</i>				
<i>LÍMITE INFERIOR</i>	<i>LÍMITE SUPERIOR</i>	PUNTO MEDIO	Frecuencias Absolutas	F. Abs. Acum.
-3.23	-1.23	-2.23	6	6
-1.23	0.77	-0.23	16	22
0.77	2.77	1.77	9	31
2.77	4.77	3.77	1	32
32				

Fuente: Propia

Definidas las frecuencias, aplicamos la prueba de bondad de ajuste:

MEDIA 0.00
DESVIACION ESTANDAR 1.32

Sea **X**: rendimiento neto del maiz (variable aleatoria continua)

Se desea probar la hipótesis:

H₀: los datos provienen de una distribución normal

H_a: los datos no provienen de una distribución normal

Es decir, la prueba de bondad en términos de la distribución normal, quedaría formulada como:

$$H_0: X \sim N(0,1.32)$$

(distribución normal, $\mu=0$, $\delta=1.32$)

H_a : no se cumple H_0

A un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se obtiene:

El cálculo de la probabilidad correspondiente a cada intervalo:

$$p_1 = P(X \leq -1.23)$$

$$p_1 = 0.176998888$$

$$p_2 = P(-1.23 \leq X \leq 0.77)$$

$$p_2 = P((-1.23 - 0)/1.32 \leq Z \leq (0.77 - 0)/1.32)$$

$$p_2 = 0.543249745$$

$$p_3 = P(0.77 \leq X \leq 2.77)$$

$$p_3 = P((0.77 - 0)/1.32 \leq Z \leq (2.77 - 0)/1.32)$$

$$p_3 = 0.261622416$$

$$p_4 = P(X \leq 4.77)$$

$$p_4 = 0.017972553$$

Una vez determinadas las probabilidades respectivas del intervalo calculamos la frecuencia esperada y se detalla:

Tabla 3-28: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el primer intervalo el diseño factorial 2^3

LÍMITES	(Límite- μ)/ δ	Frecuencia esperada $e1 = p1 n$
-1.23	-0.926862794	0.176998888
		0.16960031
		5.4272099

Fuente: Propia

Tabla 3-29: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el segundo intervalo el diseño factorial 2^3

LÍMITES	(Límite- μ)/ δ	Frecuencia esperada $e1 = p1 n$
-1.23	-0.926862794	0.176998888
0.77	0.583580278	0.720248634
		0.543249745
		17.3839919

Fuente: Propia

Tabla 3-30: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el tercer intervalo el diseño factorial 2^3

LÍMITES	(Límite- μ)/ δ	Frecuencia esperada $e1 = p1 n$
0.77	0.583580278	0.720248634
2.77	2.094023349	0.98187105
		0.261622416
		8.3719173

Fuente: Propia

Tabla 3-31: Tabla de cálculo para la frecuencia esperada para el cuarto intervalo el diseño factorial 2^3

LÍMITES	(Límite- μ)/ δ	Frecuencia esperada $e1 = p1 n$
4.77	3.604466421	0.999843603
		0.017972553
		0.5751217

Fuente: Propia

Para finalizar se arma la tabla para el cálculo de la prueba chi cuadrada, obteniéndose:

Tabla 3-32: Tabla de cálculo para el valor chi cuadrado el diseño factorial 2³

L. INFERIOR	L. SUPERIOR	o_i	e_i	chi-cuadrado
-3.23	-1.23	6	5	0.060
-1.23	0.77	16	17	0.110
0.77	2.77	9	8	0.047
2.77	4.77	1	1	0.314
				0.218

Fuente: Propia

Como se cito en el marco teórico; la condición para valores esperados no debe ser menor que 5 se procede a modificar la tabla como matemáticamente esta permitido:

Tabla 3-33: Tabla definitiva para el cálculo del valor chi cuadrado el diseño factorial 2³

L. INFERIOR	L. SUPERIOR	o_i	e_i	chi-cuadrado
-3.23	-1.23	5	5	0.000
-1.23	0.77	17	17	0.000
0.77	4.77	10	9	0.124
				0.124

Fuente: Propia

Por tanto:

$$X^2 = 0.124$$

$$X_{0.05,2}^2 = 5.991$$

Diremos que como el valor chi cuadrado es menor que $X_{0.05,2}^2$ no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que:

Que la distribución normal con $\mu = 0$ $\delta = 1.32$ brinda un buen ajuste para la distribución del rendimiento neto del maíz.

ii. **VARIANZA CONSTANTE PARA EL DISEÑO FACTORIAL 2³:**

MÉTODO GRÁFICO

Siguiendo lo visto en el numeral 1.2.7.2 literal a) se tiene:

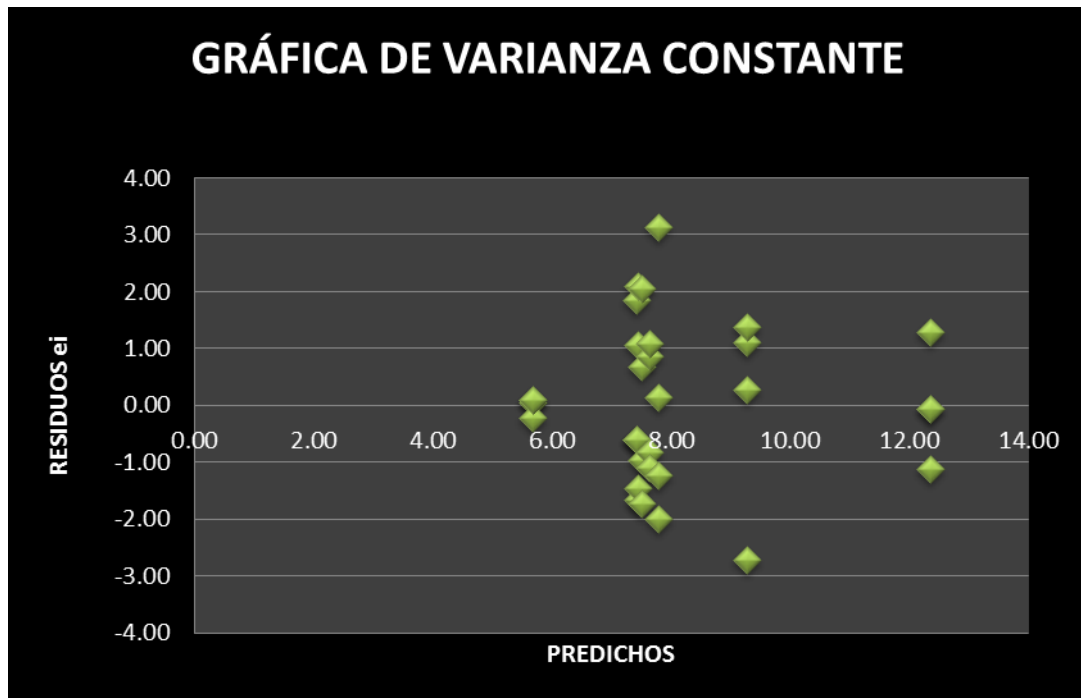
Tabla 3-34: Datos para la verificación del supuesto de homocedasticidad en el diseño factorial 2³

PREDICHOS	RESIDUOS
5.69	0.04
5.69	-0.23
5.69	0.10
5.69	0.10
7.43	-0.61
7.43	-0.61
7.43	-0.61
7.43	1.84
7.46	-1.68
7.46	-1.46
7.46	2.09
7.46	1.05
7.51	-1.73
7.51	2.03
7.51	0.67
7.51	-0.97
7.65	0.86
7.65	-0.83
7.65	-1.10
7.65	1.08
7.79	-2.00
7.79	-1.24
7.79	0.12
7.79	3.12
9.27	-2.73
9.27	0.27
9.27	1.09
9.27	1.36
12.35	-0.08

12.35	-1.12
12.35	-0.08
12.35	1.28

Fuente: Propia

Una vez obtenida la tabla se procede a graficar:



Fuente: Propia

Gráfica 3-14: Gráfico de dispersión para la homocedasticidad para el D.F. 2^3

Interpretación G3-14: Al ver la grafica de homocedasticidad es evidente que la posición vertical de los puntos indican la presencia de variabilidad constante en los datos por cada grupo.

Tabla 3-35: Cálculos de varianzas para encontrar el valor del estadístico de prueba en el diseño factorial 2^3

VARIANZAS	VAR * N	log 10
5.108181818	15.32454545	0.70826635
2.837107438	8.511322314	0.45287578
1.270165289	3.810495868	0.10386024
3.520661157	10.56198347	0.54662423
0.024545455	0.073636364	-1.61002892
0.96892562	2.90677686	-0.01370956
1.506198347	4.518595041	0.17788217
3.465867769	10.39760331	0.53981199
SUMA	56.10495868	

Fuente: Propia

Se procede a calcular los parámetros de la prueba:

$$q = (N - a) \log_{10} S_p^2 - \sum_{i=1}^a (n_i - 1) \log_{10} S_i^2$$

$$q = 6.134213305$$

$$c = 1 + \frac{1}{3(a-1)} \left(\sum_{i=1}^a (n_i - 1)^{-1} - N - a \right)^{-1}$$

$$c = 1.061507937$$

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^a (n_i - 1) S_i^2}{N - a}$$

$$S_p^2 = 2.337706612$$

Para finalmente ser remplazados en:

$$\chi^2 = 2.3026 \frac{q}{c}$$

$$\chi^2 = 2.3026 \frac{6.134213305}{1.061507937}$$

$$\chi^2 = 13.3062025$$

Que al ser comparado con $X_{0,05,7}^2 = 14.067$ diremos que:

Al ser el valor chi cuadrado menor que $X_{0,05,7}^2$ no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que:

Que las varianzas son homogéneas para el rendimiento neto del maíz.

iii. INDEPENDENCIA PARA EL DISEÑO FACTORIAL 2³:

MÉTODO GRÁFICO

Siguiendo lo visto en el numeral 1.2.7.3 literal a) se tiene:

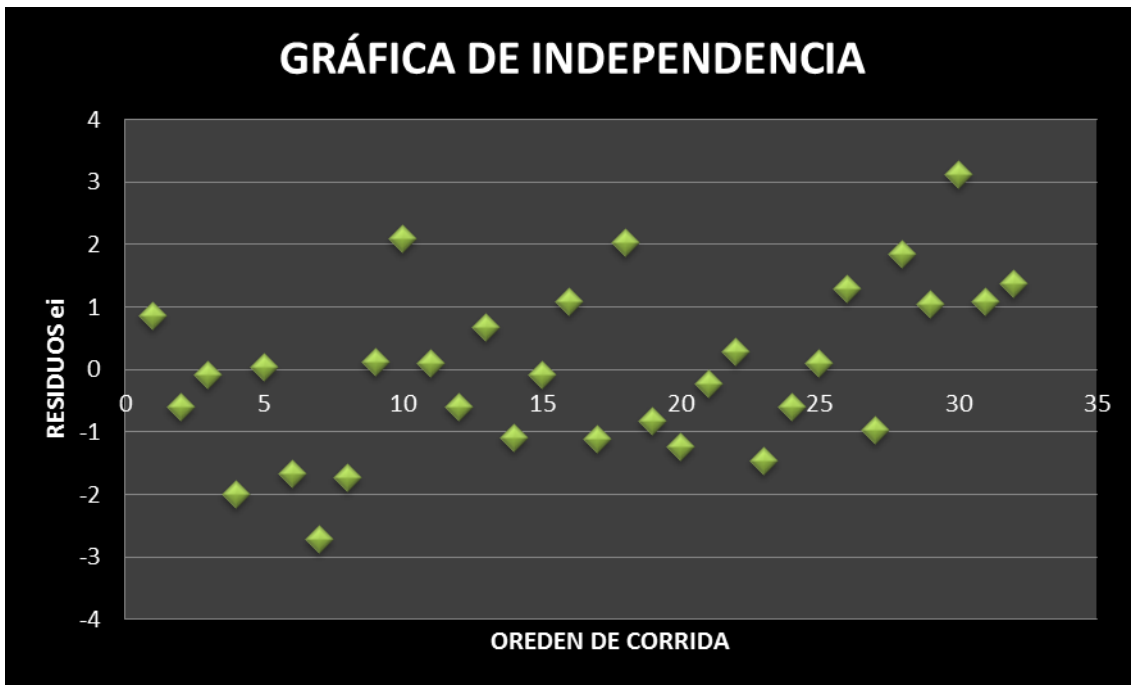
Tabla 3-36: Datos para la verificación del supuesto de independencia en el diseño factorial 2³

ORDEN DE CORRIDA	RESIDUOS
1	0.859090909
2	-0.613636364
3	-0.081818182

4	-2.004545455
5	0.040909091
6	-1.677272727
7	-2.727272727
8	-1.731818182
9	0.122727273
10	2.086363636
11	0.095454545
12	-0.613636364
13	0.668181818
14	-1.104545455
15	-0.081818182
16	1.090909091
17	-1.118181818
18	2.031818182
19	-0.831818182
20	-1.240909091
21	-0.231818182
22	0.272727273
23	-1.459090909
24	-0.613636364
25	0.095454545
26	1.281818182
27	-0.968181818
28	1.840909091
29	1.05
30	3.122727273
31	1.077272727
32	1.363636364

Fuente: Propia

Una vez obtenida la tabla se procede a graficar:



Fuente: Propia

Gráfica 3-15: Gráfico de dispersión para la independencia para el D.F. 2³

Interpretación G3-15: Al ver la gráfica es claro que los datos presentan aleatoriedad lo que indican el cumplimiento de independencia en los datos.

Una vez probados los supuestos para el modelo procedemos a realizar un Análisis de Varianza, como se verá a continuación.

La conclusión a la que se llega a través del análisis de varianza en cada uno de los factores de estudio son que:

- Al rechazar la hipótesis nula, si existe un efecto principal del nitrógeno sobre el peso de la producción de maíz.
- Al aceptar la hipótesis nula, no existe un efecto principal del fósforo sobre el peso de la producción de maíz.
- Al aceptar la hipótesis nula, no existe un efecto principal del potasio sobre el peso de la producción de maíz.
- En las hipótesis de interacción doble se rechazar las hipótesis nulas respectivamente, por tanto si existe un efecto de interacción doble entre los factores: nitrógeno-fosforo; nitrógeno-potasio y fósforo-potasio sobre el peso de la producción de maíz.
- Al rechazar la hipótesis nula, si existe un efecto de interacción triple del nitrógeno, fósforo y potasio sobre el peso de la producción de maíz.

3.4 FACTORIAL vs. TRATAMIENTO CONTROL O TESTIGO

Los cálculos anteriores son el camino hacia el ANOVA definitivo que es empleado en las prácticas agrícolas con el cual tomaremos las definiciones definitivas para el diseño, para

ello es preciso citar el cálculo de la comparación del Factorial vs. el Tratamiento control o Testigo:

$$Factorial \text{ vs. Testigo} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{nabc} \right) + \left(\frac{\sum_{j=1}^n T_j^2}{n} \right) - \left(\frac{Y \dots^2}{nabc} \right)$$

Ecuación 62

A continuación se mostrará los datos del testigo:

Tabla 3-37: Tabla de datos para el Tratamiento Control o Testigo

<i>CÁLCULO DEL TRATAMIENTO CONTROL O TESTIGO</i>				
TRATAMIENTO 1(CONTROL)	5.45	6.55	3.00	9.27
	SUMATORIA			24.27273
	MEDIA			6.06818

Fuente: Propia

Una vez obtenido la sumatoria de los datos del tratamiento testigo se procede a calcular:

Tabla 3-38: Tabla de Comparación Factorial vs. Testigo

<i>FACTORIAL vs. TESTIGO</i>	
<i>SUMATORIA DATOS CON TRATAMIENTO</i>	260.62
<i>SUMATORIA DATOS TESTIGO</i>	24.27273
<i>FACTORIAL vs. TESTIGO</i>	147.291322

Fuente: Propia

Remplazando los valores anteriores en la ecuación 61, se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Factorial vs. Testigo} &= \left(\frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{nabc} \right) + \left(\frac{\sum_{j=1}^n T_j^2}{n} \right) - \left(\frac{Y \dots^2}{nabc} \right) \\ &= 147.291322 \end{aligned}$$

Por tanto diremos que el factorial sigue siendo la técnica mas recomendable para la maximización de producción del maíz puesto que es superior que el testigo o tratamiento control.

3.5 ANOVA PARA EL DISEÑO EN BLOQUES AL AZAR CON ARREGLO FACTORIAL 2^3+1

Tras efectuar los todos los cálculos necesarios se procede a elaborar la tabla ANOVA global; de la misma que se emitirá las conclusiones del estudio comparadas a un nivel de significancia $\alpha=0.05$ siguiendo los análisis anteriores:

Tabla 3-39: Tabla De ANOVA para el Diseño de Bloques Completo al azar con arreglo Factorial 2^3+1

ANOVA para el Diseño de Bloques Completo al azar con arreglo Factorial 2^3+1					
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Prueba F	Valor p
Tratamientos	122.478843	8	15.3098554	7.17688858	0.000076
Nitrógeno (N)	32.36466942	1	32.3646694	15.1717714	0.000687
Fósforo (P)	1.166280992	1	1.16628099	0.54672422	0.466830
NxP	11.25966942	1	11.2596694	5.27825972	0.030617
Potasio (K)	0.251404959	1	0.25140496	0.11785254	0.734364
NxK	14.28694215	1	14.2869421	6.69737169	0.016138
PxK	11.38946281	1	11.3894628	5.33910371	0.029760
NxPxK	36.43475207	1	36.4347521	17.0797274	0.000377
Factorial vs Testigo	147.2913223	1	147.291322	69.0465967	0.000000
Bloque	25.19495868	3	8.39831956	3.93692836	0.020394
Error	51.19719008	24	2.13321625		
Total	198.8709917	35			
Promedio	7.91				
CV:	18.46				

Fuente: Propia

Al rechazar la hipótesis nula de bloques y tratamientos; puesto que son menores los respectivos valores p a un nivel de significancia $\alpha=0.05$ diremos que los tratamientos resultantes de la combinación de los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio y las parcelas son influyentes en el peso de la producción de maíz.

Lo que nos da la viabilidad para continuar con el análisis factorial, mismo que nos presenta la influencia del nitrógeno en el peso de la producción de maíz, lo que no ocurre con el fósforo y potasio pero al tener evidencia de interacciones dobles y triples no es factible retirar los efectos principales del modelo puesto que es jerárquico y por ende diremos que

existe influencia de los tres tipos de abono sintético y de cada una de sus combinaciones ya sean dobles o triples en el peso de la producción del maíz.

Todo en analogía con los resultados presentados anteriormente.

3.6 ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

3.6.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para complementar el estudio estadístico se realiza un análisis de regresión para fortalecer el análisis inferencial y de predicción en el proyecto.

Para definir el modelo de regresión asociado al modelo se procede a calcular los coeficientes predichos, para lo cual utilizaremos el cálculo de los efectos en las ecuaciones del numeral 1.2.10.2, y se tiene:

EFFECTOS ESTIMADOS:	
EFFECTO A=	2.01
EFFECTO B=	-0.38
EFFECTO C=	0.18
EFFECTO AB=	-1.19
EFFECTO AC=	1.34
EFFECTO BC=	-1.19
EFFECTO ABC=	-2.13

Por ende los valores de los coeficientes serán:

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_0 &= Y_{\dots} \\ &= 8.14\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_1 &= \frac{A}{2} \\ &= 1.01\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_2 &= \frac{B}{2} \\ &= -0.19\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_3 &= \frac{C}{2} \\ &= 0.09\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_{12} &= \frac{AB}{2} \\ &= -0.59\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_{13} &= \frac{AC}{2} \\ &= 0.67\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_{23} &= \frac{BC}{2} \\ &= -0.60\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_{123} &= \frac{ABC}{2} \\ &= -1.07\end{aligned}$$

H₁: al menos una variable del modelo contribuye significativamente al ajuste del rendimiento neto del maíz

A un nivel de significancia $\alpha=0.05$, se procede a calcular las fórmulas citadas en el numeral

1.2.10.2.1, y resulta:

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n} = y'y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}$$
$$= 163.296$$

$$SC_R = \hat{\beta}'X'y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}$$
$$= 107.187$$

$$SC_E = \left[y'y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n} \right] - \left[\hat{\beta}'X'y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n} \right] = S_{yy} - SC_R$$
$$= 56.109$$

Con estos resultados calculamos la tabla de ANOVA para el modelo de regresión:

Tabla 3-40: Tabla De ANOVA Para El Modelo De Regresión

ANOVA PARA EL ANÁLISIS DE REGRESIÓN					
Modelo	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F	Valor p
Regresión	107,187	7	15,312	6.55	0.00022001
Residual	56,109	24	2,338		
Total	163,296	31			

Fuente: Propia

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN Y DETERMINACIÓN AJUSTADO

Para validar el modelo el último paso es calcular el coeficiente de determinación y determinación ajustado, como sigue:

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN

$$R^2 = \frac{SC_{TOTAL} - SC_{ERROR}}{SC_{TOTAL}} * 100$$
$$= 65.6342\%$$

Por tanto diremos que el modelo de determinación explica el 65.63% de la variabilidad observada para el peso de la producción del maíz explicada por el modelo de regresión.

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN AJUSTADO

$$R_{aj}^2 = \frac{CM_{TOTAL} - CM_{ERROR}}{CM_{TOTAL}} * 100$$
$$= 55.6108\%$$

Por tanto diremos que el modelo de determinación explica el 55.63% de la variabilidad observada para el peso de la producción del maíz explicada por el modelo de regresión.

INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LOS COEFICIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN

Como se dijo en el literal 1.2.10.4 un aporte adicional del análisis de regresión múltiple es ver la significancia con que cada término del modelo aportó a la explicación de la variable respuesta por tanto con un alfa de 0.05 se presenta el respectivo cálculo para cada uno de los coeficientes.

PRINCIPALES RESULTADOS PARA CALCULAR LOS INTERVALOS DE CONFIANZA

$\alpha=$	0.05
$N=$	32
$K=$	7
$t_{\alpha/2}=$	2.063898562
$s=$	1.528956053

INVERSA=	0.03125	0	0	0	0	0	0
	0	0.03125	0	0	0	0	0
	0	0	0.03125	0	0	0	0
	0	0	0	0.03125	0	0	0
	0	0	0	0	0.03125	0	0
	0	0	0	0	0	0.03125	0
	0	0	0	0	0	0	0.03125
	0	0	0	0	0	0	0.03125

➤ Para el coeficiente β_1 se presenta las respectivas hipótesis que con un α de 0.05 se calculará el respectivo intervalo de confianza:

$$H_0 : \beta_1=0$$

$$H_A : \beta_1 \neq 0$$

Y se procede a remplazar los valores en la ecuación 60 y obtenemos:

$$\hat{\beta}_i \pm t_{\alpha/2} s \sqrt{m_{ii}}$$

$$1.01 \pm 2.063898562 (1.528956053) (\sqrt{0.03125})$$

Resultando el intervalo de confianza para β_1 :

$$(0.44782527 , 1.56353837)$$

Por tanto al rechazar la hipótesis nula de que el intervalo no contenga el cero se concluye que el nitrógeno es significativo para el modelo, resultado que está en analogía con el resultado del ANOVA.

- Para el coeficiente β_2 se presenta las respectivas hipótesis que con un α de 0.05 se calculará el respectivo intervalo de confianza:

$$H_0 : \beta_2=0$$

$$H_A : \beta_2 \neq 0$$

Y se procede a remplazar los valores en la ecuación 60 y obtenemos:

$$\hat{\beta}_i \pm t_{\alpha/2} s \sqrt{m_{ii}}$$

$$-0.190313 \pm 2.063898562 (1.528956053) (\sqrt{0.03125})$$

Resultando el intervalo de confianza para β_2 :

$$(-0.74876564 , 0.36694746)$$

Por tanto al aceptar la hipótesis nula de que el intervalo contenga el cero se concluye que el fósforo no es significativo para el modelo, resultado que está en analogía con el resultado del ANOVA.

- Para el coeficiente β_3 se presenta las respectivas hipótesis que con un α de 0.05 se calculará el respectivo intervalo de confianza:

$$H_0 : \beta_3=0$$

$$H_A : \beta_3\neq 0$$

Y se procede a remplazar los valores en la ecuación 60 y obtenemos:

$$\hat{\beta}_i \pm t_{\alpha/2} s \sqrt{m_{ii}}$$

$$0.0878125 \pm 2.063898562 (1.528956053) (\sqrt{0.03125})$$

Resultando el intervalo de confianza para β_3 :

$$(-0.46922018 , 0.64649291)$$

Por tanto al aceptar la hipótesis nula de que el intervalo contenga el cero se concluye que el potasio no es significativo para el modelo, resultado que está en analogía con el resultado del ANOVA.

- Para el coeficiente β_{12} se presenta las respectivas hipótesis que con un α de 0.05 se calculará el respectivo intervalo de confianza:

$$H_0 : \beta_{12}=0$$

$$H_A : \beta_{12}\neq 0$$

Y se procede a remplazar los valores en la ecuación 60 y obtenemos:

$$\hat{\beta}_i \pm t_{\alpha/2} s \sqrt{m_{ii}}$$

$$-0.593438 \pm 2.063898562 (1.528956053) (\sqrt{0.03125})$$

Resultando el intervalo de confianza para β_{12} :

$$(-1.15103837 , -0.03532527)$$

Por tanto al rechazar la hipótesis nula de que el intervalo no contenga el cero se concluye que la combinación de nitrógeno y fósforo es significativa para el modelo, resultado que está en analogía con el resultado del ANOVA.

- Para el coeficiente β_{13} se presenta las respectivas hipótesis que con un α de 0.05 se calculará el respectivo intervalo de confianza:

$$H_0 : \beta_{13}=0$$

$$H_A : \beta_{13} \neq 0$$

Y se procede a remplazar los valores en la ecuación 60 y obtenemos:

$$\hat{\beta}_i \pm t_{\alpha/2} s \sqrt{m_{ii}}$$

$$0.668438 \pm 2.063898562 (1.528956053) (\sqrt{0.03125})$$

Resultando el intervalo de confianza para β_{13} :

$$(0.11032527 , 1.22603837)$$

Por tanto al rechazar la hipótesis nula de que el intervalo no contenga el cero se concluye que la combinación de nitrógeno y potasio es significativa para el modelo, resultado que está en analogía con el resultado del ANOVA.

- Para el coeficiente β_{23} se presenta las respectivas hipótesis que con un α de 0.05 se calculará el respectivo intervalo de confianza:

$$H_0 : \beta_{23} = 0$$

$$H_A : \beta_{23} \neq 0$$

Y se procede a remplazar los valores en la ecuación 60 y obtenemos:

$$\hat{\beta}_i \pm t_{\alpha/2} s \sqrt{m_{ii}}$$

$$-0.596563 \pm 2.063898562 (1.528956053) (\sqrt{0.03125})$$

Resultando el intervalo de confianza para β_{23} :

$$(-1.15444746, -0.03873436)$$

Por tanto al rechazar la hipótesis nula de que el intervalo no contenga el cero se concluye que la combinación de fósforo y potasio es significativa para el modelo, resultado que está en analogía con el resultado del ANOVA.

- Para el coeficiente β_{123} se presenta las respectivas hipótesis que con un α de 0.05 se calculará el respectivo intervalo de confianza:

$$H_0 : \beta_{123} = 0$$

$$H_A : \beta_{123} \neq 0$$

Y se procede a remplazar los valores en la ecuación 60 y obtenemos:

$$\hat{\beta}_i \pm t_{\alpha/2} s \sqrt{m_{ii}}$$

$$-1.06719 \pm 2.063898562 (1.528956053) (\sqrt{0.03125})$$

Resultando el intervalo de confianza para β_{123} :

(-1.624902 , -0.50918891)

Por tanto al rechazar la hipótesis nula de que el intervalo no contenga el cero se concluye que la combinación de nitrógeno, fósforo y potasio es significativa para el modelo, resultado que está en analogía con el resultado del ANOVA.

Tabla 3-41: Tabla resumen para los coeficientes estimados del modelo de regresión

Variable	Coefficiente	Intervalo de confianza 95%
NITRÓGENO	1.00594	(0.44782527, 1.56353837)
FÓSFORO	-0.190313	(-0.74876564, 0.36694746)
POTASIO	0.0878125	(-0.46922018, 0.64649291)
NITRO__FOSF	-0.593438	(-1.15103837, -0.03532527)
NITRO__POT	0.668438	(0.11032527, 1.22603837)
FOSF__POT	-0.596563	(-1.15444746, -0.03873436)
NITRO__FOSF__POT	-1.06719	(-1.624902, -0.50918891)

Fuente: Propia

RESPUESTA PREDICHA POR EL MODELO DE REGRESIÓN PARA EL RENDIMIENTO NETO DEL MAÍZ EN LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.

La culminación del estudio del modelo de regresión se dará tras la valoración predicha para el rendimiento neto del maíz realizando el respectivo remplazo de los niveles de los

factores con los cuales se formaron los tratamientos especificados para el estudio, mismo que se presentan:

Tabla 3-42: Tabla resumen de los tratamientos para el estudio en notación de Yates

TRATAMIENTOS	A:NITROGENO	B:FOSFORO	C:POTASIO
T2	-1	-1	-1
T3	1	-1	-1
T4	-1	1	-1
T5	1	1	-1
T6	-1	-1	1
T7	1	-1	1
T8	-1	1	1
T9	1	1	1

Fuente: Propia

Los valores enunciados anteriormente al ser remplazados en el modelo de regresión da como resultado la respuesta predicha para el rendimiento neto, como sigue:

Tabla 3-43: Rendimiento neto predichos por el modelo de regresión

TRATAMIENTOS	Y_{ijk}
T2	7.786363636
T3	7.513636364
T4	7.65
T5	9.272727273
T6	5.686363636
T7	12.35454545
T8	7.431818182
T9	7.459090909

Fuente: Propia

Resultado que está en analogía con el tratamiento ganador citado anteriormente.

COMPARACIÓN DOS A DOS DE LOS TRATAMIENTOS EN CUANTO A SU VARIABILIDAD

Continuando con el análisis es necesario ver que sucede con respecto a la variabilidad entre los tratamientos diferentes como se citó en el literal 1.2.6 correspondiente al análisis de residuos.

Por tanto procedemos a calcular las desviaciones estándar de cada uno de los tratamientos; de los cuales debemos estar atentos a que el tratamiento ganador presente la menor variabilidad muestral:

Tabla 3-44: Rendimiento neto predichos por el modelo de regresión

TRATAMIENTOS	S
T2	2.260
T3	1.684
T4	1.127
T5	1.876
T6	1.346
T7	0.984
T8	1.227
T9	1.862

Y como se observa el tratamiento ganador **T7** conformado por (*NITRÓGENO (300 Kg. /ha N), FÓSFORO (40 Kg. /ha P2O5) y POTASIO (200 Kg. /ha K2O)*) si presenta la menor *variabilidad* muestral por tanto el resultado está en analogía con los dicho en el Análisis de Varianza.

Seguidamente se procede a realizar las respectivas pruebas de hipótesis de las desviaciones estándar de los residuos entre pares de tratamientos diferentes; hasta alcanzar todas las posibles combinaciones, obteniéndose:

➤ **Tratamiento 2 vs. Tratamiento 3**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(2)} = \sigma^2_{(3)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{5.1081818}{2.8371074} \right)$$

$$Z_0^* = 0.5880585$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 2 vs. Tratamiento 4**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(2)} = \sigma^2_{(4)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{5.1081818}{1.2701653} \right)$$

$$Z_0^* = 1.3916965$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 2 vs. Tratamiento 5**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(2)} = \sigma^2_{(5)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{5.1081818}{3.5206612} \right)$$

$$Z_0^* = 0.3721947$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 2 vs. Tratamiento 6**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(2)} = \sigma^2_{(6)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{5.1081818}{1.8109091} \right)$$

$$Z_0^* = 1.0370146$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 2 vs. Tratamiento 7**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(2)} = \sigma^2_{(7)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{5.1081818}{0.9689256} \right)$$

$$Z_0^* = 1.6624110$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser mayor el estadístico de prueba se rechaza H_0 y se concluye que las varianzas de los tratamientos son significativamente diferentes.

➤ **Tratamiento 2 vs. Tratamiento 8**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(2)} = \sigma^2_{(8)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{5.1081818}{1.5061983} \right)$$

$$Z_0^* = 1.2212547$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 2 vs. Tratamiento 9**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(2)} = \sigma^2_{(9)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{5.1081818}{3.4658678} \right)$$

$$Z_0^* = 0.3878805$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 3 vs. Tratamiento 4**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(3)} = \sigma^2_{(4)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{2.8371074}{1.2701653} \right)$$

$$Z_0^* = 0.8036380$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 3 vs. Tratamiento 5**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(3)} = \sigma^2_{(5)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{2.8371074}{3.5206612} \right)$$

$$Z_0^* = 0.2158638$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 3 vs. Tratamiento 6**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(3)} = \sigma^2_{(6)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{2.8371074}{1.8109091} \right)$$

$$Z_0^* = 0.4489560$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 3 vs. Tratamiento 7**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(3)} = \sigma^2_{(7)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{2.8371074}{0.9689256} \right)$$

$$Z_0^* = 1.0743525$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 3 vs. Tratamiento 8**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(3)} = \sigma^2_{(8)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{2.8371074}{1.5061983} \right)$$

$$Z_0^* = 0.6331962$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 3 vs. Tratamiento 9**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(3)} = \sigma^2_{(9)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{2.8371074}{3.4658678} \right)$$

$$Z_0^* = 0.2001780$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 4 vs. Tratamiento 5**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(4)} = \sigma^2_{(5)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{1.2701653}{3.5206612} \right)$$

$$Z_0^* = 1.0195018$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 4 vs. Tratamiento 6**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(4)} = \sigma^2_{(6)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{1.2701653}{1.8109091} \right)$$

$$Z_0^* = 0.3546819$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 4 vs. Tratamiento 7**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(4)} = \sigma^2_{(7)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{1.2701653}{0.9689256} \right)$$

$$Z_0^* = 0.2707145$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 4 vs. Tratamiento 8**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(4)} = \sigma^2_{(8)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{1.2701653}{1.5061983} \right)$$

$$Z_0^* = 0.1704418$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 4 vs. Tratamiento 9**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(4)} = \sigma^2_{(9)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{1.2701653}{3.4658678} \right)$$

$$Z_0^* = 1.0038160$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 5 vs. Tratamiento 6**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(5)} = \sigma^2_{(6)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{3.5206612}{1.8109091} \right)$$

$$Z_0^* = 0.6648198$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 5 vs. Tratamiento 7**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(5)} = \sigma^2_{(7)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{3.5206612}{0.9689256} \right)$$

$$Z_0^* = 1.2902162$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los

tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 5 vs. Tratamiento 8**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(5)} = \sigma^2_{(8)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{3.5206612}{1.5061983} \right)$$

$$Z_0^* = 0.8490600$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 5 vs. Tratamiento 9**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(5)} = \sigma^2_{(9)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{3.5206612}{3.4658678} \right)$$

$$Z_0^* = 0.0156858$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 6 vs. Tratamiento 7**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(6)} = \sigma^2_{(7)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{1.8109091}{0.9689256} \right)$$

$$Z_0^* = 0.6253964$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 6 vs. Tratamiento 8**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(6)} = \sigma^2_{(8)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{1.8109091}{1.5061983} \right)$$

$$Z_0^* = 0.1842402$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 6 vs. Tratamiento 9**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(6)} = \sigma^2_{(9)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{1.8109091}{3.4658678} \right)$$

$$Z_0^* = 0.6491341$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 7 vs. Tratamiento 8**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(7)} = \sigma^2_{(8)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{0.9689256}{1.5061983} \right)$$

$$Z_0^* = 0.4411563$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 7 vs. Tratamiento 9**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(7)} = \sigma^2_{(9)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{0.9689256}{3.4658678} \right)$$

$$Z_0^* = 1.2745305$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

➤ **Tratamiento 8 vs. Tratamiento 9**

Bajo la hipótesis:

$$H_0: \sigma^2_{(8)} = \sigma^2_{(9)}$$

A un nivel de significancia $\alpha=0,05$, tenemos que el valor del estadístico de prueba es:

$$Z_0^* = \ln \left(\frac{1.5061983}{3.4658678} \right)$$

$$Z_0^* = 0.8333742$$

Resultado que en módulo debe ser comparado con $Z_{1-\alpha} = 1.644853627$, por tanto decimos que al ser menor el estadístico de prueba se acepta H_0 y se concluye que los

tratamientos no son diferentes estadísticamente es decir, las varianzas de los tratamientos son significativamente iguales.

3.6.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La conclusión a la que se llega a través del análisis de varianza para la regresión es que siendo el valor p la 0.00022001 menor que el nivel de significancia 0.05 se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el modelo contribuye significativamente al ajuste sobre la variable respuesta que en el estudio es el peso de la producción del maíz.

3.6.3 DIAGNÓSTICO DEL MODELO

Como ya se ha explicado previo al cálculo de residuos se debe calcular los predichos respectivos para ser restados de los valores originales del peso del maíz, como sigue:

Tabla 3-45: Predichos para el rendimiento neto de la producción de maíz en el modelo de regresión

VALORES PREDICHOS			
7.786363636	7.786363636	7.78636364	7.78636364
7.513636364	7.513636364	7.51363636	7.51363636
7.65	7.65	7.65	7.65
9.2727273	9.272727273	9.27272727	9.27272727
5.686	5.686	5.686	5.686
12.355	12.35454545	12.3545455	12.3545455
7.431818182	7.431818182	7.43181818	7.43181818
7.459090909	7.459090909	7.45909091	7.45909091

Fuente: Propia

Al tener todos los datos se calcula los residuos y se obtiene:

Tabla 3-46: Residuos para el rendimiento neto de la producción de maíz en el modelo de regresión

RESIDUOS			
-2.0045455	-1.2409091	0.1227273	3.1227273
-1.7318182	2.0318182	0.6681818	-0.9681818
0.8590909	-0.8318182	-1.1045455	1.0772727
-2.7272727	0.2727273	1.0909091	1.3636364
0.0409091	-0.2318182	0.0954545	0.0954545
-0.0818182	-1.1181818	-0.0818182	1.2818182
-0.614	-0.614	-0.614	1.8409091
-1.6772727	-1.4590909	2.0863636	1.0500000

Fuente: Propia

Teniendo los datos necesarios se procede a la verificación de los supuestos del modelo para el método gráfico en el caso del respectivo.

i. NORMALIDAD PARA EL MODELO DE REGRESIÓN:

MÉTODO GRÁFICO

Siguiendo lo visto en el numeral 1.2.7.1 literal a) se tiene:

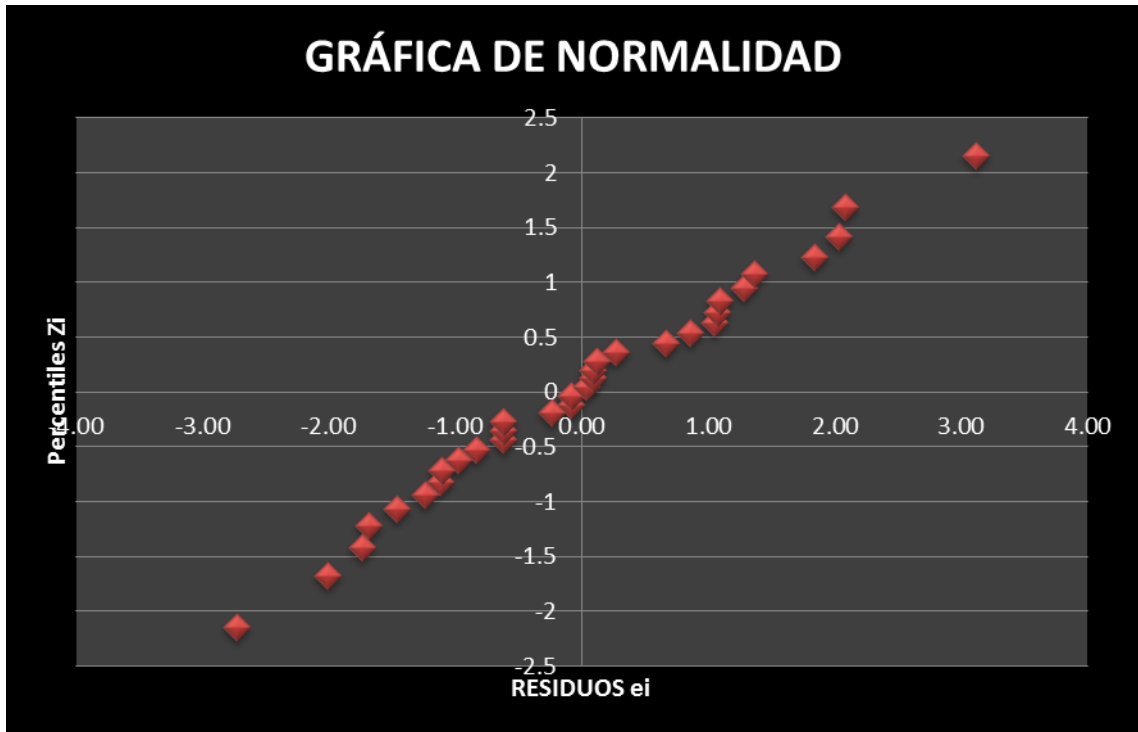
Tabla 3-47: Datos para la verificación del supuesto de normalidad en el modelo de regresión

RESIDUOS ORDENADOS ei	RANGO i	(i-0.5)/N	Zi
-2.73	1	0.015625	-2.15387469
-2.00	2	0.046875	-1.67593972
-1.73	3	0.078125	-1.41779714
-1.68	4	0.109375	-1.22985876
-1.46	5	0.140625	-1.07751557
-1.24	6	0.171875	-0.94678176
-1.12	7	0.203125	-0.83051088
-1.10	8	0.234375	-0.72451438
-0.97	9	0.265625	-0.62609901
-0.83	10	0.296875	-0.53340971
-0.61	11	0.328125	-0.44509652
-0.61	12	0.359375	-0.36012989
-0.61	13	0.390625	-0.27769044
-0.23	14	0.421875	-0.19709908
-0.08	15	0.453125	-0.11776987
-0.08	16	0.484375	-0.03917609
0.04	17	0.515625	0.03917609
0.10	18	0.546875	0.11776987
0.10	19	0.578125	0.19709908
0.12	20	0.609375	0.27769044
0.27	21	0.640625	0.36012989
0.67	22	0.671875	0.44509652
0.86	23	0.703125	0.53340971
1.05	24	0.734375	0.62609901
1.08	25	0.765625	0.72451438
1.09	26	0.796875	0.83051088
1.28	27	0.828125	0.94678176
1.36	28	0.859375	1.07751557
1.84	29	0.890625	1.22985876
2.03	30	0.921875	1.41779714
2.09	31	0.953125	1.67593972

3.12	32	0.984375	2.15387469
------	----	----------	------------

Fuente: Propia

Una vez obtenida la tabla se procede a graficar:



Fuente: Propia

Gráfica 3-16: Gráfico de dispersión para la normalidad para el modelo de regresión

Interpretación G3-16: Al ver la grafica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

ii. VARIANZA CONSTANTE PARA EL MODELO DE REGRESIÓN:

MÉTODO GRÁFICO

Siguiendo lo visto en el numeral 1.2.7.2 literal a) se tiene:

Tabla 3-48: Datos para la verificación del supuesto de homocedasticidad en el modelo de regresión

PREDICHOS	RESIDUOS
5.69	0.04
5.69	-0.23
5.69	0.10
5.69	0.10
7.43	-0.61
7.43	-0.61
7.43	-0.61
7.43	1.84
7.46	-1.68
7.46	-1.46
7.46	2.09
7.46	1.05
7.51	-1.73
7.51	2.03
7.51	0.67
7.51	-0.97
7.65	0.86
7.65	-0.83
7.65	-1.10
7.65	1.08
7.79	-2.00
7.79	-1.24
7.79	0.12
7.79	3.12
9.27	-2.73
9.27	0.27
9.27	1.09
9.27	1.36
12.35	-0.08
12.35	-1.12
12.35	-0.08
12.35	1.28

Fuente: Propia

Una vez obtenida la tabla se procede a graficar:



Fuente: Propia

Gráfica 3-17: Gráfico de dispersión para la homocedasticidad para el modelo de regresión

Interpretación G3-17: Al ver la grafica de homocedasticidad es evidente que la posición vertical de los puntos indican la presencia de variabilidad constante en los datos por cada grupo.

iii. INDEPENDENCIA PARA EL MODELO DE REGRESIÓN:

MÉTODO GRÁFICO

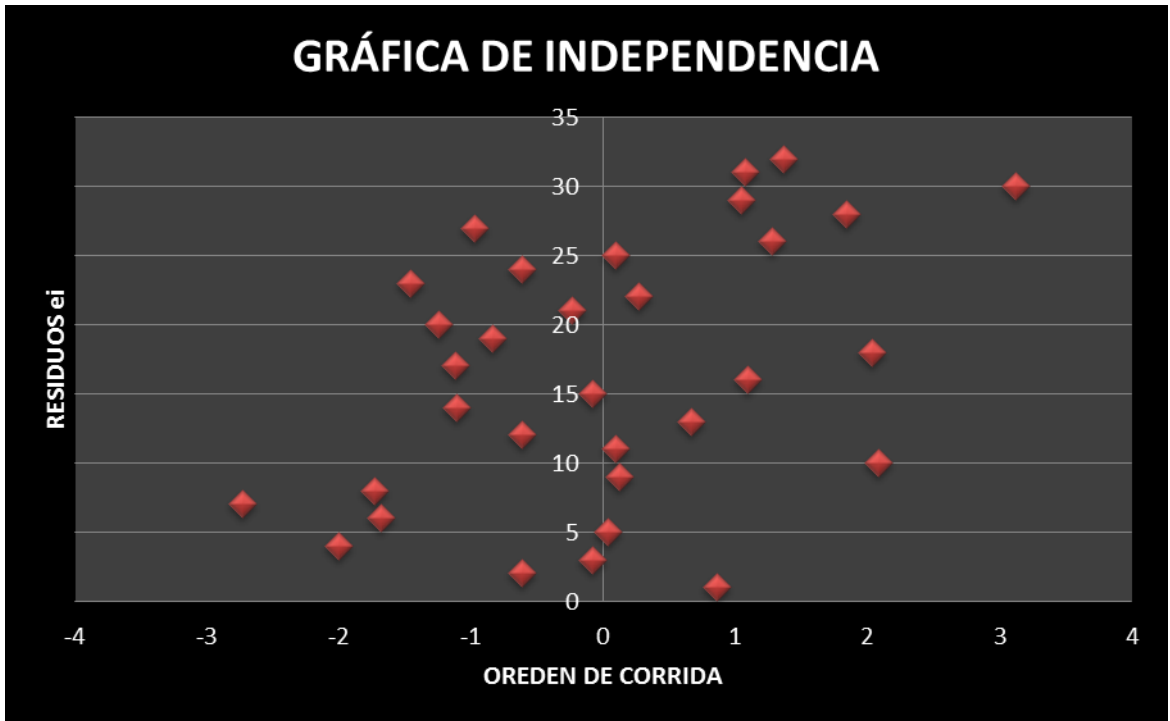
Seguendo lo visto en el numeral 1.2.7.3 literal a) se tiene:

Tabla 3-49: Datos para la verificación del supuesto de independencia en el modelo de regresión

ORDEN DE CORRIDA	RESIDUOS
1	0.859090909
2	-0.613636364
3	-0.081818182
4	-2.004545455
5	0.040909091
6	-1.677272727
7	-2.727272727
8	-1.731818182
9	0.122727273
10	2.086363636
11	0.095454545
12	-0.613636364
13	0.668181818
14	-1.104545455
15	-0.081818182
16	1.090909091
17	-1.118181818
18	2.031818182
19	-0.831818182
20	-1.240909091
21	-0.231818182
22	0.272727273
23	-1.459090909
24	-0.613636364
25	0.095454545
26	1.281818182
27	-0.968181818
28	1.840909091
29	1.05
30	3.122727273
31	1.077272727
32	1.363636364

Fuente: Propia

Una vez obtenida la tabla se procede a graficar:



Fuente: Propia

Gráfica 3-18: Gráfico de dispersión para la independencia para el modelo de regresión

Interpretación G3-18: Al ver la gráfica es claro que los datos presentan aleatoriedad lo que indican el cumplimiento de independencia en los datos.

NOTA: El modelo de regresión al explicar el 55.6108% de variabilidad en la producción de maíz limita el cálculo del punto óptimo puesto que se procede a su utilización cuando el coeficiente de determinación ajustado es mayor al 70%.

CAPÍTULO IV

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- ❖ Las técnicas del Diseño Estadístico Experimental son las más frecuentes utilizadas en el ámbito agrícola, por ende fueron esenciales para el estudio de la respuesta del Maíz (*Zea Mays L.*) a la aplicación edáfica complementaria de tres tipos de abono sintético a dos dosis en la Comunidad de Peñas, Cantón Tiwintza, Provincia de Morona Santiago, mismos que alcanzaron óptimos resultados.

- ❖ Los Diseños Experimentales adecuados en el presente proyecto son el diseño en bloques completos al azar y el diseño factorial, puesto que en el sector agrícola proporcionan resultados precisos para la toma de decisiones.

- ❖ Al determinar las respectivas dosis para cada uno de los abonos sintéticos según la recomendación de los técnicos de G.A.D.T. y del análisis de suelo enviado a la U.C.E. se establecen 8 tratamientos experimentales sin olvidar que siempre se procede a la respectiva comparación con un tratamiento agrícola de control, es decir, sin fertilización.

- ❖ Luego de realizar el trabajo experimental pasando por los respectivos procesos de cultivo llegamos a obtener los datos del peso del maíz que son la base principal para calcular el tratamiento que maximice la producción.

- ❖ Una vez recolectada la información se procedió al respectivo análisis estadístico utilizando técnicas analíticas y gráficas para concluir que el mejor tratamiento es el *tratamiento 7*, el mismo que está constituido por Nitrógeno al nivel 300 Kg/ha N, Fósforo al nivel 40 Kg/ha P₂O₅ y Potasio al nivel 200 Kg/ha K₂O. Dicho tratamiento proporcionó en promedio un peso neto de 12,35 qq por parcela experimental.

- ❖ Que al sembrar con maíz híbrido (variedad 5.3.3) se cosechará aproximadamente tres mazorcas por planta.

4.2 RECOMENDACIONES

4.2.1 RECOMENDACIONES ESTADÍSTICAS

- ❖ Poner más énfasis en los estudios experimentales donde es posible la aplicación de las técnicas estadísticas en beneficio de la comunidad, teniendo conciencia ambiental y buscando el desarrollo económico de los habitantes.

- ❖ Recopilar mayor información acerca de los factores en estudio, puesto que es posible que existan otros posibles factores que afecten la producción de maíz en futuros estudios al presentarse nuevas condiciones agrícolas.

- ❖ Utilizar diseños factoriales puesto que identifican clara y precisamente el tratamiento que mejorará la producción.

- ❖ Para la obtención de los datos experimentales se debe realizar un trabajo de campo ético y responsable para garantizar resultados serios y coherentes.

- ❖ Difundir los resultados obtenidos con el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón para promover una cultura estadística y así mermer los procedimientos empírico-tradicionales para lograr una óptima producción.

4.2.2 RECOMENDACIONES EXPERIMENTALES

- ❖ Sembrar con el método de espequiado, puesto que al ser la siembra al aire libre se evitará que los animales del sector acaben con las semillas.

- ❖ No olvidar la fumigación de las plantas a las 4 semanas de germinación puesto que esto evitará la aparición de alguna plaga en los sembríos.

- ❖ Evitar utilizar fungicidas químicos y remplazarlos por fórmulas naturales que logran mejores resultados.

- ❖ Llevar un control semanal de las plantas para ver el crecimiento y las necesidades de las mismas.

RESUMEN

El objetivo de ésta investigación fue aplicar el Diseño Estadístico Experimental para comparar ocho tratamientos formados por la combinación de abonos sintéticos a dos dosis, Nitrógeno (150, 300) Kg/ha, Fósforo (40, 80) Kg/ha y Potasio (100,200) Kg/ha más un tratamiento testigo para probar si presentan efectos sobre la producción de maíz en la Comunidad de Peñas, Cantón Tiwintza.

Para la recolección de información se trabajó conjuntamente con el técnico agrónomo municipal que guió el proceso de siembra, fertilización, fumigación, cosecha y secado del maíz. Para el análisis estadístico se utilizaron los programas informáticos SPSS y Excel. Al aplicar el método experimental las técnicas empleadas fueron el diseño en bloques completos al azar que probó la influencia de las parcelas en la producción de maíz. Y el diseño factorial que logró determinar que el tratamiento 7 como el ganador, el mismo que está compuesto por Nitrógeno al nivel de 300 kg/ha, Fósforo al nivel de 40 kg/ha, Potasio al nivel de 200 kg/ha rindiendo en promedio 12,35 qq/ha, puesto que maximiza la producción al comparar con el resto de tratamientos, los mismos que en qq/ha rinden: T1= 6,07, T2=7,99, T3=7,51, T4=7,65, T5=9,27, T6=5,69, T8=7,43, T9=7,46.

Probando que los tres tipos de abono sintético tienen efecto en la producción lo cual permitió mejorar la calidad y cantidad de maíz. Por tanto se recomienda al Municipio del Cantón Tiwintza que proceda con la siembra en el resto de Comunidades puesto que se consigue optimizar tiempo y recursos.

SUMMARY

The objective of this investigation was applying the Experimental Statistical Design to compare eight treatments formed by the combination of synthetic fertilizers at two dosages , Nitrogen (150, 300)kg/ha, Phosphorous (40, 80)kg/ha and Potassium (100,200)kg/ha plus a control treatment to test whether they present effects on the corn production at the Peñas Community, Tiwintza Canton.

For the information collection the work was carried out with the agronomical technician of the Municipality who led the corn sowing, fertilization, fumigation, harvest and drying process. For the statistical analysis the informatics programs SPSS and Excel were used. Upon applying the experimental method, the used technique was the at random complete block design which tested the influence of the cultivars on the corn production. The factorial design determined that treatment 7 was the winner which is composed of Nitrogen at the 300 kg/ha level, Phosphorous at the 40 kg/ha level and Potassium at the 200 kg/ha level yielding an average of 12.35 hundredweights/ha, as it maximizes production when comparing to the remaining treatments which in terms of hundredweights /ha yield: T1= 6.07, T2= 7.99, T3=7.51, T4= 7.65, T5= 9.27, T6=5.69, T8=7.43 and T9=7.46.

It is shown that the three types of synthetic fertilizer have an effect on the production which permitted to improve the corn quality and quantity . Therefore, The Tiwintza Canton Municipality is recommended to carry out the sowing in the remaining Communities as time and resources are optimized.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- ✓ COCHRAN, WILLIAM G. Diseños Experimentales. México, Trillas, 1990.
- ✓ PADRÓN, CORRAL EMILIO. Diseños Experimentales con Aplicación a la Agricultura y la Ganadería. México, Trillas, 2000.
- ✓ WAPOLE, MYERS. Probabilidad Y Estadística. Pearson Educación. México, 2009.

BIBLIOGRAFÍA ESPECÍFICA

- ✓ GUTIÉRREZ PULIDO, HUMBERTO. Análisis y Diseño de Experimentos. México, McGraw-Hill, 2004.
- ✓ MONTGOMERY, DOUGLAS. Diseño y Análisis de Experimentos. México, Iberoamérica, 1991.
- ✓ GIRÓN, PEDRO. Diseño de Experimentos: soluciones con SAS y SPSS, Madrid , Pearson Prentice Hall, 2005.

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

1. CLASES DE FERTILIZANTES. FERTILIZANTES QUÍMICOS

http://articulos.infojardin.com/articulos/Tipos_de_abonos_2.htm

21-03-2012.

2. CULTIVO DEL MAÍZ. MAÍZ

http://www.fenalce.org/pagina.php?p_a=46

15-03-2012.

3. ESTRUCTURA DEL GRANO DE MAÍZ. EL MAÍZ

<http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#Tipos%20de%20maiz>

12-03-2012.

4. FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO MAÍZ. FERTILIZACIÓN CON ABONO SINTÉTICO

http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd65/texto/maiz.htm

21-03-2012.

5. GENÉTICA. ZEA MAIZ

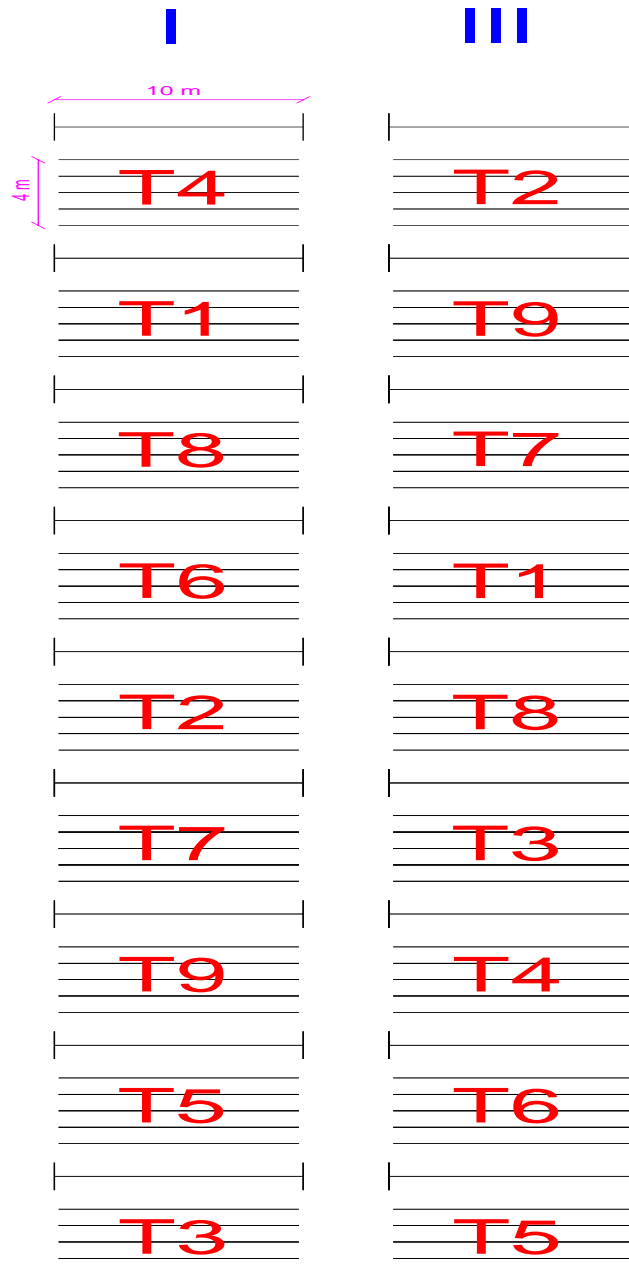
http://es.wikipedia.org/wiki/Zea_mays#cite_ref-2

10-03-2012.

ANEXOS

ANEXO A

PANORAMA DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES Y DE LOS TRATAMIENTOS PARA LA
HECTÁREA DE TERRENO



II

IV

T7
T3
T1
T4
T2
T6
T5
T9
T8

T6
T7
T3
T8
T1
T9
T2
T4
T5

ANEXO B

ANÁLISIS DEL SUELO REALIZADO EN LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS



LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA Y SUELOS
"JULIO PEÑAHERRERA"

QUITO

INFORME

Remitente: Srta. Alexandra Viñán Fecha del Informe: 08 Septiembre 2011
Propietario: Sr. Eduardo Najantaim Comunidad: PEÑAS
Procedencia: Morona Santiago - Twintza Número de muestras: Una (01)

RESULTADO E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS EFECTUADO

Lab. No.	Muestra	pH	Materia Orgánica	N Total	P ₂ O ₅	K ₂ O
			%	%	kg/ha	kg/ha
6732	01	4.80	4.37	0.22	103	169
INTERPRETACIÓN		Muy ácido	Medio	Bajo-Medio	Alto	Muy Bajo

NOTA: Los cálculos para determinar P₂O₅ y K₂O en kg/ha, se efectuaron sobre la base de una densidad aparente del suelo de 1.50 g/cm³.

Métodos empleados para las determinaciones:

- ☞ pH: Con potenciómetro, en la pasta acuosa o en solución acuosa, relación 1:2.
- ☞ Nitrógeno total: Mediante cálculo a partir del porcentaje de materia orgánica.
- ☞ P₂O₅: Colorimétricamente, con fotómetro.
- ☞ K₂O: Midiendo el espectro de emisión, con fotómetro a la llama.
- ☞ Materia orgánica: Por combustión húmeda.

El análisis del pH y de la Textura se realizará con el método más usado en los Laboratorios del Departamento, si no hay indicación expresa del interesado.



LABORATORIO DE QUÍMICA
AGRÍCOLA Y SUELOS





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS



RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN PARA MAÍZ DURO

- 1) Las necesidades de nutrientes del cultivo de acuerdo al análisis efectuado son las siguientes:

N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg/ha	
150	30	100

- 2) Antes de la siembra aplicar todo el fósforo y potasio.
3) La mitad de nitrógeno aplicar de 15 a 20 días después de la siembra.
4) La otra mitad del nitrógeno aplicar de 15 a 20 días después de la primera fertilización nitrogenada (literal 3).

Nota: Se recomienda el uso de fertilizantes de reacción alcalina, para contrarrestar la acidez del suelo.


Ing. Concepción Sosa Cobo
JEFE DEL LABORATORIO DE QUÍMICA
AGRÍCOLA Y SUELOS


LABORATORIO DE QUÍMICA
AGRÍCOLA Y SUELOS

Nuestro teléfono: 2552728 Ext. 7
e-mail: sosacobo1958@hotmail.com



ANEXO C

FOTOGRAFÍAS DE LA PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

ANÁLISIS DE SUELO



Fotografías 1 y 2: Aleatorización previo a la toma de las 4 muestras para el análisis del suelo.



Fotografía 3: Toma de la muestra.



Fotografía 4: Selección del cuadrante de tierra.



Fotografía 5: Muestra final de tierra para el análisis.

Nota: Este procedimiento se realiza para las 4 muestras.

LIMPIEZA DEL TERRENO



Fotografía 6: Vista del terreno previo a la limpieza.



Fotografía 7: Primera visita de la limpieza del terreno.



Fotografía 8: Segunda visita de la limpieza del terreno.



Fotografía 9: Visita final del terreno listo para la siembra.

 **DISTRIBUCIÓN DE PARCELAS EXPERIMENTALES**



Fotografías 10 y 11: Medición de los bloques experimentales.



Fotografías 12, 13 y 14: Medición de las respectivas parcelas experimentales.



Fotografías 15: Rótulos para las parcelas experimentales

 SIEMBRA



Fotografías 16 y 17: Distribución de surcos por parcela.



Fotografías 18 y 19: Espequiado de maíz.



Fotografías 20 y 21: Maíz sembrado.

 PREPARACIÓN DE TRATAMIENTOS



Fotografía 22: Dosificación del nitrógeno.



Fotografía 23: Dosificación del fósforo.



Fotografía 24: Dosificación del potasio.



Fotografía 25: Dosificación completa.



Fotografía 26 y 27: Rotulación por Tratamiento.



Fotografía 28: Dosificación por Tratamiento.

 APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS



Fotografía 29,30 y 31: Aplicación de las dosis por Tratamiento.

 FUMIGACIÓN



Fotografía 28: Plantas lastimadas por la plaga.



Fotografía 28: Gusano cogollero.



Fotografía 29: Fumigación del maíz.

 COSECHA



Fotografía 30 y 31: Cosecha del maíz por tratamientos en cada una de las parcelas.



Fotografía 32: Mazorcas cosechadas.

 DESGRANADO Y SECADO



Fotografía 32: Deshoje de mazorcas.



Fotografía 32: Proceso de desgranar las mazorcas.



Fotografía 33: Proceso de secado del maíz.

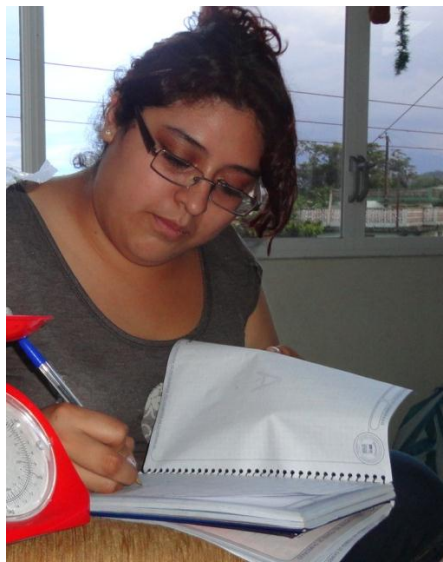
RENDIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN



Fotografía 34: Proceso de pesar el maíz para cada tratamiento.



Fotografía 35: Evaluación de las semillas.



Fotografía 36: Toma de Datos.