

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE ESTADÍSTICA**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN ESTADÍSTICA CON MENCIÓN EN CALIDAD Y
PRODUCTIVIDAD”**

TEMA:

DISEÑO DE EXPERIMENTO FACTORIAL EN BLOQUES, PARA
LA OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO EN UN CULTIVO DE
MAÍZ BASADO EN DISTINTOS MÉTODOS DE FERTILIZACIÓN
GRANULADA.

AUTOR:

DENISSE FABIOLA NARANJO MENDOZA

Guayaquil - Ecuador

2019

DEDICATORIA

A mi hijo, esposo y padres.

AGRADECIMIENTO

A Dios ante todo. A mis padres, a mi esposo y a mi hermano por su apoyo incondicional. A mi director de tesis y a todos mis compañeros que formaron parte de este proceso.

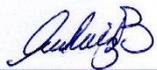
DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Estadística** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

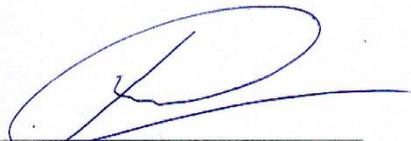


Denisse Fabiola Naranjo Mendoza

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



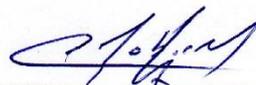
Omar Ruíz, Ph.D
Presidente



Francisco Vera Alcivar, Ph.D
Director



Mgtr. Nadia Cárdenas
Vocal



Mgtr. Dalton Noboa
Vocal

AUTOR DEL PROYECTO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Denisse Fabiola Naranjo Mendoza', written over a horizontal line.

Denisse Fabiola Naranjo Mendoza

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
1 PROBLEMATICA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 IMPORTANCIA DEL USO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA AGRICULTURA	2
1.3 OBJETIVO GENERAL	2
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.5 ALCANCE	3
1.6 METODOLOGÍA.....	4
1.7 DATOS	5
1.8 ESTUDIOS EXISTENTES.....	5
CAPÍTULO 2	8
2 CULTIVO DE MAÍZ.....	8
2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO.....	8
2.2 DESARROLLO FENOLÓGICO.....	11
2.3 MAICES HIBRIDOS	13
2.4 ETAPAS PRODUCTIVAS DEL MAÍZ EN EL ECUADOR	16
2.5 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES	17
2.6 RENDIMIENTO DEL MAÍZ.....	20
CAPÍTULO 3	22
3 TEORÍA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	22
3.1 PAUTAS GENERALES PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	23
3.2 CLASIFICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	24
3.3 DISEÑO FACTORIAL 23	24
3.4 BLOQUES.....	25
CAPÍTULO 4	26
4 DISEÑO DEL ESTUDIO.....	26
4.1 DEFINICIÓN DE FACTORES A ESTUDIAR	26
4.2 DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA	29
4.3 MÉTODO DE SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN	30
4.4 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	31
4.5 DEFINICIÓN DE LAS HIPÓTESIS A	32

CAPÍTULO 5	33
5 ANÁLISIS DE DATOS	33
5.1 RESULTADOS DEL DISEÑO ESPERIMENTAL	33
5.1.1 Verificación si las varianzas de los experimentos son iguales.	34
5.1.2 Verificación si las medias de los experimentos son iguales.	35
5.2 ELABORACIÓN DE MODELOS	42
5.3 MODELADO DE VARIABLES VISIBLES PARA EL AGRICULTOR	55
5.4 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	56
CAPÍTULO 6	58
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
6.1 CONCLUSIONES	58
6.2 RECOMENDACIONES	60
7 BIBLIOGRAFÍA	61

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1 Características de la semilla 1.....	15
Tabla 2 Características de la semilla 2.....	16
Tabla 3 Requerimientos nutricionales del maíz.....	18
Tabla 4 Requerimiento de nutrientes para producir una tonelada de grano de maíz	21
Tabla 5 Rendimiento de los cultivos de maíz en los cantones de la Provincia de Los Ríos.	21
Tabla 6 Diseño factorial 23.....	24
Tabla 7 Descripción de los abonos a utilizarse	26
Tabla 8 Descripción general del experimento.	27
Tabla 9 Descripción de los tratamientos del experimento.....	28
Tabla 10 Descripción de los bloques empleados en el experimento.	28
Tabla 11 Descripción de datos del experimento.	29
Tabla 12 Calculo del tamaño de la muestra.....	29
Tabla 13 Detalle de los tratamientos del experimento.....	33
Tabla 14 Bartlett test	35
Tabla 15 Prueba F.....	35
Tabla 16 Kruskal-Wallis test.....	36
Tabla 17 Prueba de Tukey	37
Tabla 18 Resultados prueba Tukey.....	38
Tabla 19 Prueba de contrastes de tratamiento de referencia.....	39
Tabla 20 Rendimientos promedio por tratamiento	41
Tabla 21 Resultados modelo aditivo.....	42
Tabla 22 Resultado modelo con interacciones.....	43
Tabla 23 Resultados del análisis mediante un anova modelo aditivo vs modelo con interacción.....	43
Tabla 24 Modelo aditivo con bloques	44
Tabla 25 Modelo con interacciones con bloques	45
Tabla 26 Resultados anova modelo aditivo bloques vs modelo con interacción bloques	46
Tabla 27 Anova modelo bloques vs modelo sin bloques	46
Tabla 28 Elaboración de modelo 2 eliminando la interacción de la fertilización inicial y de la fertilización 2	47
<i>Tabla 29 Elaboración de modelo 3 eliminando la interacción de la semilla empleada.....</i>	48
Tabla 30 Elaboración de modelo 4 eliminando la interacción de la fertilización inicial y de la semilla usada	48
Tabla 31 Elaboración de modelo 5 eliminando la interacción tercer nivel de la fertilización inicial, de la fertilización 2 y de la semilla empleada	49
Tabla 32 Anova Modelo 3 vs modelo 1	49
Tabla 33 Anova modelo 3 vs modelo 4	50
Tabla 34 Anova modelo 4 vs modelo 5	50
Tabla 35 Anova modelo 5 vs modelo 3	51
Tabla 36 Modelo para variables cualitativas.....	55
Tabla 37 Costos de los tratamientos del experimento.....	56

Tabla 38 Ganancias por tratamientos	57
Tabla 39 Históricos de ganancia y rendimiento del sembrío en estudio.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Tallo del maíz	9
Gráfico 2 Hojas de la planta de maíz	9
Gráfico 3 Mazorcas	10
Gráfico 4 Desarrollo fenológicos de la planta de maíz	11
Gráfico 5 Crecimiento de las plántulas.....	12
Gráfico 6 Crecimiento vegetativo del maíz	12
Gráfico 7 Proceso de llenado de grano.....	13
Gráfico 8 Etapas productivas del maíz.....	17
Gráfico 9 Producción de maíz en el ciclo de verano- Provincia de los ríos.....	17
Gráfico 10 Rendimiento del maíz VS nutrición recibida	20
Gráfico 11 Esquema del diseño experimental.....	22
Gráfico 12 Línea de tiempo del diseño experimental.....	27
Gráfico 13 Distribución de los tratamientos del diseño experimental.....	31
Gráfico 14 Diagrama de cajas de los tratamientos	34
Gráfico 15 Diferencias de medias por tratamiento	39
Gráfico 16 Cuantiles teóricos	52
Gráfico 17 Cuantiles teóricos	52
Gráfico 18 Interacción fertilización inicial y fertilización 2.....	53
Gráfico 19 Interacción Fertilización 2 y semilla usada.....	53
Gráfico 20 Interacción entre semilla usada y Fertilización 2.....	54

PRESENTACIÓN

Actualmente en los sembríos de maíz a nivel nacional se obtienen rendimientos muy variables, esta variabilidad está dada por diversos factores como zona, clima, tipo de semilla, fertilización empleada, entre otras.

En el presente proyecto de titulación se eligió un sembrío particular, del que se disponen los datos históricos de los rendimientos y rentabilidades obtenidas en los últimos cuatro años. A través del desarrollo de un diseño experimental, se estudiará la aplicación de 8 tratamientos distintos de fertilización, con el objetivo de incrementar la productividad/ rentabilidad del sembrío en estudio, el cual se encuentra ubicado en Montalvo, Provincia de los Ríos.

Adicional se busca establecer si existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados y las interacciones de los factores del diseño, lo que servirá de herramienta para la toma de decisiones para futuras temporadas en el sembrío estudiado.

CAPÍTULO 1

1 PROBLEMATICA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Ecuador el maíz amarillo duro es un cultivo de gran importancia por su alto potencial económico y social, empleado principalmente en la alimentación humana y en la elaboración de balanceados para la industria pecuaria.

Representa entre el 13% y 15% de la superficie total nacional cultivada, y el quinto producto con mayor producción (INEC, Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua, 2016). La estimación de superficie sembrada de maíz amarillo duro a nivel nacional durante el año 2016, fue de 246.367,00 hectáreas, de las cuales en la estación invernal se identificaron 202.542,00 hectáreas que representan el 82% del total anual y en la época de verano 43.825,00 hectáreas correspondientes al 18% restante (Agricultura, Estimación de la superficie sembrada de maíz en las Provincias de la Zona 5, 2016).

En la última década el crecimiento poblacional e industrial (aviar, porcina y ganadera), generó un aumento en la demanda del maíz, que impulsó al sector maicero al incremento de su producción, cabe recalcar que el aumento de la producción no ha sido directamente proporcional al incremento en la superficie sembrada. La mejora en las metodologías de manejo de los cultivos conllevó a aumentar el rendimiento en más del 50% entre los años 2011-2014. (INEC, Reporte estadístico del Sector Agropecuario, 2015)

El rendimiento nacional del cultivo de maíz para el ciclo de verano 2016 fue de 5.77 toneladas por hectárea. Este rendimiento promedio fue inferior en 8.8% con relación al mismo ciclo del año 2015 en el que se obtuvo 6.33 t/ha. (Agricultura, Rendimientos del maíz duro 2016, 2016)).

Sí bien es cierto de acuerdo a los datos revisados el rendimiento hasta el año 2014 incrementó significativamente, para el año 2015 Y 2016 se obtuvo un descenso provocado por factores climáticos, presencia de plagas, fertilización y semillas empleadas.

Considerando que la cantidad de sembríos en la época de verano son significativamente inferiores a las superficies sembradas en invierno, es necesario obtener rendimientos altos a fin de cubrir la demanda nacional en dicha época.

En ese contexto se busca emplear el diseño experimental a fin de estudiar el efecto de distintos métodos de fertilización en el rendimiento final de un cultivo de maíz de la zona de Montalvo, Los Ríos.

Un punto relevante en la agricultura es la rentabilidad económica final obtenida en una cosecha, por lo que se realizará un análisis costo beneficio con los resultados obtenidos en el experimento, a fin de definir un balance entre el costo y el rendimiento final de las cosechas.

1.2 IMPORTANCIA DEL USO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA AGRICULTURA

La primera era del diseño experimental fue la denominada “era agrícola”, encabezada por el trabajo de Sir Ronald A. Fisher, entre los años de 1920 y 1930. Fisher fue el responsable de las estadísticas y el análisis de datos en la estación agrícola experimental de Rothamsted. Fisher se percató que las fallas en la forma en que se llevaban a cabo los experimentos, generaban datos que obstaculizaban el análisis de los datos de los sistemas agrícolas, fue entonces que Fisher desarrollo las ideas que llevaron a los tres principios básicos del diseño experimental. Fisher incorporó de manera sistemática el pensamiento y los principios estadísticos en el diseño de las investigaciones experimentales, incluyendo el diseño factorial y el análisis de varianzas. Sus libros tuvieron mucha influencia, particularmente en la agricultura. (Montgomery, 2013)

Acorde a la bibliografía, la agricultura prácticamente dio los primeros pasos al estudio experimental. En la actualidad sigue siendo sujeto de estudio, ya que siempre sujeta a cambios; constantemente se desarrollan productos químicos utilizados para el control de la salud y la productividad de los cultivos, la gran mayoría de los nuevos productos y técnicas aplicables en la agricultura pasan necesariamente por la experimentación.

El objetivo de la experimentación es obtener datos fiables que permitan establecer comparaciones entre tratamientos diferentes y apoyar o rechazar hipótesis de trabajo. De esta manera se obtienen datos fiables de las bondades de los tratamientos y productos aplicables a cada cultivo.

El componente estadístico representa una parte importante de la experimentación; es una herramienta muy utilizada y útil en ensayos agrícolas, que ha permitido mediante el análisis de datos estudiar variables de interés, entre ellas el rendimiento de los cultivos, logrando diferenciar distintas causas que las afectan, permitiendo a los agricultores tomar decisiones en técnicas que optimicen su producción.

1.3 OBJETIVO GENERAL

- Aumentar la productividad/rentabilidad de un sembrío de Maíz en el sector de Montalvo, provincia de Los Ríos y determinar los factores que influyen en el rendimiento de la mazorca de maíz, basados en diferentes métodos de fertilización empleados.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un experimento factorial en bloques, para lograr el mejor rendimiento en peso de las mazorcas de maíz usando dos tipos de

semillas híbridas certificadas: semilla 1 y semilla 2, sometidas a distintos métodos de fertilización granulada.

- Determinar los factores influyentes en el diseño de experimentos.
- Establecer el método de fertilización óptimo considerando los rendimientos obtenidos en el experimento e incluyendo el análisis de costo beneficio.
- Elaborar modelos estadísticos para explicar el peso de las mazorcas en base a variables cualitativas y cuantitativas no controladas durante el desarrollo del sembrío.

1.5 ALCANCE

El diseño experimental que se aplicará en el presente proyecto de titulación tendrá un alcance para la temporada de verano en la el sector de Montalvo, provincia de Los Ríos, zona que reúne las siguientes condiciones:

Clima: Húmedo variado entre 22 y 25°C

Temperaturas: entre 22 y 25°C

Precipitaciones anuales: 1000-2000 mm de precipitaciones al año

Altura parte baja: 54 msnm

Tipo de suelo: textura arcillosa, profundos, de pH 5,5 - 6.5.

Fuente de agua: Riego

Los resultados obtenidos serán aplicables a los tratamientos de los diseños experimentados en maíz amarillo duro para los híbridos seleccionados, bajo las mismas condiciones de clima, humedad relativa, precipitaciones.

1.6 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del diseño de experimentos se empleará la siguiente metodología

1. Identificación del problema
2. Elección de los factores y niveles
3. Selección de la variable de respuesta
4. Elección del diseño experimental
5. Realización del experimento
6. Análisis estadístico de los datos

Adicional se tomarán datos del desarrollo de las plantas, entre ellos altura, grosor de tallo, número de hojas por planta entre otras, lo que servirá para realizar un modelo estadístico para explicar el rendimiento de las mazorcas basado en características no controladas.

Una vez realizado el análisis estadístico se procederá a realizar el análisis financiero de los ensayos realizados.

1. Costo de producción.
2. Venta.

Culminando con el estudio de diferentes variables que visualmente se consideran importante para el agricultor, ej.: altura de la planta, grosor del tallo, número de hojas.

1. Recolección de datos.
2. Implementación del modelo.
3. Interpretación de datos.

1.7 DATOS

Los datos que se emplearán en el desarrollo de la presente proyecto, se los obtendrá por medio de experimentación, que se realizará en el sector de Montalvo, provincia de Los Ríos.

1.8 ESTUDIOS EXISTENTES

Las plantaciones de maíz necesitan para su desarrollo nitrógeno, fósforo y potasio (Agricultura, Determinantes del rendimiento del cultivo maíz duro, 2015), actualmente los productores de maíz basan la nutrición de sus cultivos en distintas metodologías de acuerdo a lo propuesto en la teoría en general y en los conocimientos adquiridos en la práctica.

Las aplicaciones de los fertilizantes granulados se la realizan en algunos casos en una sola aplicación, en dos aplicaciones y hasta en tres aplicaciones.

En el presente estudio se prevé establecer el comportamiento de 2 tipos de semillas híbridas certificadas, sometidas a 3 etapas de fertilización en las que se empleará diferentes combinaciones de fertilizantes.

En ese contexto y en respuesta a la necesidad de mejorar el rendimiento de los cultivos de maíz se revisó los estudios realizados hasta la presente fecha, en torno al tema de nutrición y rendimiento del maíz, de los cuales los más relevantes se citan a continuación:

- En el año 2015 Moreno Aguirre, B. y Salvador Sarauz, S. realizaron un estudio para establecer las “determinantes del rendimiento del cultivo de maíz duro seco”. Se basaron en la utilización de modelos estadísticos en los que incluyeron varios factores que afectan la productividad del sembrío. En el modelo aplicado al ciclo de verano obtuvieron como resultado que las variables que más inciden en el rendimiento del maíz son el aumento de la disposición de agua, la

fertilización, la siembra en suelo apto, la calidad de la semilla y la tecnificación-mecanización del cultivo. (Sarauz, 2015)

- Otro artículo de interés fue el realizado por Betty González Osorio y Gorki Díaz Coronel en el año 2008, en el que se llevó a cabo un “Análisis Económico de la producción del Maíz (*Zea mays* L.) Asociado con *Mucuna* (*Stizolobium aterrimum*) en Siembra Directa y Dos Sistemas de Fertilización Nitrogenada”. En el estudio empleó Diseño experimental con bloques aleatorios y obtuvieron como resultado, que dosis de 200 kg ha de urea fraccionada en dos aplicaciones permitió obtener el mejor desarrollo de planta, rendimiento del maíz y la mayor relación beneficio/costo frente al uso de 200kg de urea en una aplicación y a aplicaciones de 100kg. (Osorio, 2008)
- Alexandra Belén Viñán Andino en el año 2012 realizó una investigación aplicando el Diseño Estadístico Experimental para comparar ocho tratamientos formados por la combinación de abonos sintéticos a dos factores, N (150, 300) kilogramos por hectárea, P (40, 80) Kilogramos por hectárea y K (100,200) kilogramos por hectárea, en el experimento obtuvo como resultado que el tratamiento que presentó mejor rendimiento era el que estaba formado por Nitrógeno a una dosificación de 300 Kg/ha N, Fósforo dosificado a 40 Kg/ha P₂O₅ y Potasio dosificado a 200 Kg/ha K₂O. (Andino, 2015)
- En el año 2015 se realizó el estudio “Interacción genotipo – ambiente de híbridos triples experimentales de maíz (*zea mays* l.), en dos zonas del litoral ecuatoriano”, a fin de determinar el comportamiento, adaptabilidad y manejo de estos híbridos que conllevarían a mejorar la rentabilidad de los productores. Dentro de los genotipos evaluados en los dos ambientes a través de sus

valores de parámetros de estabilidad, se determinó como el más estable, en función del rendimiento, al híbrido experimental (SM45 x SV15) SV39. (Zambrano, 2007)

CAPÍTULO 2

2 CULTIVO DE MAÍZ

2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO

El maíz es una planta de la familia Poaceae, de especie gramínea, originaria de América tropical. Posee un rápido crecimiento que le permite alcanzar hasta los 2,5 m de altura, con un tallo erguido, rígido y sólido.

Es una planta hermafrodita, es decir produce flores masculinas denominadas “panojas” y femeninas denominadas “mazorca”, en la misma planta (PIONNER, 2015)

Actualmente, es el cereal con mayor volumen de producción en el mundo, superando al trigo y al arroz. Se lo considera un bien de producción primaria de gran importancia a nivel mundial por la amplitud en su cadena de valor, la cual abarcan desde la alimentación humana, animal y piscícola hasta su procesamiento en plantas de alto nivel tecnológico. El producto final de este cultivo puede ser un alimento, combustible o materia prima para elaborar productos químicos.

La planta de maíz está estructurada por las siguientes partes:

La panícula: Normalmente es considerado la fracción masculina de la planta de maíz. Se encuentra ubicado en la parte más alta, ubicación que le permite atraer a distintos insectos entre ellos las abejas.

Gráfico 1 Tallo del maíz



Fuente: Pioneer

Tallo: Es la estructura más importante de la planta. Dependiendo de la clase de maíz, el tallo puede medir hasta tres metros, se caracterizan por ser muy resistente lo que le da la estabilidad a la planta para que en el desarrollo y crecimiento de las mazorcas pueda soportar el peso total.

Hojas: Brotan del tallo y su numeración es distinta dependiendo de la especie de maíz, se caracterizan por tener forma alargada.

Gráfico 2 Hojas de la planta de maíz



Fuente: Pioneer

Seda: Es considerada la parte u órgano femenino del maíz. Nace de la parte superior de la hoja y su color puede presentar distintas tonalidades entre verde, amarillo o marrón, de acuerdo a la clase o tipo de maíz sembrado.

(Grupo Sacsá, 2015)

Cáscara: Son el recubrimiento que rodean las mazorcas de maíz. Su objetivo es proteger los granos del maíz.

Mazorcas: La mazorca es el producto final y se obtiene en la etapa de maduración, comprende la seda, la cáscara, granos.

Gráfico 3 Mazorcas

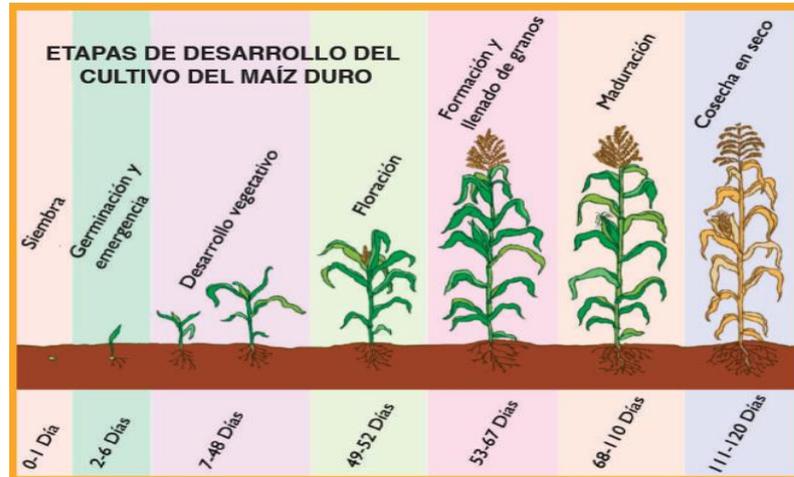


Fuente: Pionner

Raíces: El maíz presenta dos tipos diferentes de raíces. Las raíces primarias o aéreas, las cuales se caracterizan por ser fibrosas y nacer en los primeros nudos en la parte superior del suelo, mientras que las raíces de la corona se localizan bajo el suelo. Tienen el objetivo de mantener a la planta estable erecta, sin embargo, al presentar el maíz una gran cantidad de raíces superficiales, es sensible a las sequías, sensible a los suelos con nutrición deficiente, y a caer por vientos fuertes. (Agroes, 2014)

2.2 DESARROLLO FENOLÓGICO

Gráfico 4 Desarrollo fenológicos de la planta de maíz



Fuente: Valdez, 2012

El desarrollo fenológico del maíz se refiere al ritmo de crecimiento vegetativo y reproductivo considerando todos los cambios morfológicos y fisiológicos de la planta. Generalmente no todas las plantas llegan a una etapa particular, al mismo tiempo. Por lo tanto, los investigadores asumen que el cultivo alcanza una etapa fenológica específica cuando al menos el 50% de las plantas presentan las características correspondientes. (Valdez, 2012)

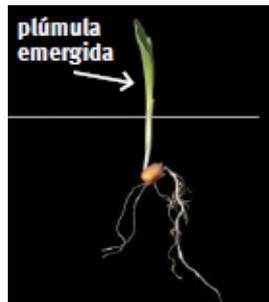
El maíz cuenta con dos etapas fenológicas predominantes que son: vegetativas (V) y reproductivas (R). Estas etapas fisiológicas están definidas en el desarrollo de la planta, lo que facilita la diferenciación de las mismas, a continuación se da un breve detalle de cada etapa fenológica:

- Fase vegetativa: Se inicia desde la siembra y dura hasta cuando se comienza a visualizar la espiga del maíz, conocida también como flor masculina. En la fase vegetativa la mayor parte de la energía se dirige a la formación de follaje

Esta fase se puede subdividir en dos etapas, comprendidas por:

Crecimiento de las plántulas: Es una etapa crítica, en la que cualquier daño al follaje o a las raíces pondría en riesgo la supervivencia de las plántulas. El crecimiento de las plántulas está comprendido desde el momento en que emerge el coleóptilo de la superficie del suelo, hasta la visibilidad del cuello de la primera hoja.

Gráfico 5 Crecimiento de las plántulas.



Fuente: Pioneer

Crecimiento vegetativo: Esta etapa inicia con la visibilidad del cuello de la segunda hoja hasta la visibilidad de la última hoja que se desarrollará.

Gráfico 6 Crecimiento vegetativo del maíz



Fuente: Pioneer

- Fase reproductiva: Inicia cuando se visualiza la espiga del maíz y termina hasta que se tiene la madurez fisiológica del cultivo (capa negra en el punto de inserción del grano con el olote). Se la puede subdividir en dos etapas, comprendidas por:

Floración y la fecundación: La característica principal de esta etapa es el momento en que el polen se comienza a arrojar y también se encuentra comprendida hasta la visibilidad de los estigmas (pelos).

Llenado de grano y la madurez: Definida por las siguientes etapas:

- Etapa ampolla: los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión.
- Etapa lechosa: los granos se llenan con un líquido lechoso blanco.
- Etapa dentada: los granos se llenan con almidón sólido; y finalmente con la madurez fisiológica.

Gráfico 7 Proceso de llenado de grano.



Fuente: Pioneer

2.3 MAICES HIBRIDOS

Los maíces híbridos son el resultado de mezclar genéticamente dos tipos distintos de maíz, lo que produce una semilla que en la próxima cosecha dará mazorcas con altos rendimientos, con las características de las dos cruas.

Una característica relevante de las semillas híbridas es que sí se vuelve a sembrar una semilla cosechada, ya no se tendrá el mismo híbrido, sino algunas plantas que se parecerán al padre del híbrido, otras a la madre, otras serán intermedias y todavía otras no se parecerán a nada de lo que se utilizó para producir el híbrido. Por lo tanto, las características de rendimiento y resistencia a enfermedades va a ser menor en el cultivo sembrado con semilla 're usada'.

Las semillas que se emplearán en el presente proyecto se detallan a continuación:

- **Semilla 1**

Es un Maíz híbrido simple de origen tropical (Tailandia), con una alta capacidad de adaptación a distintas zonas maiceras del Ecuador.

Tabla 1 Características de la semilla 1

CARACTERÍSTICAS	
Días de emergencia	5 al 6
Días de floración	54 - 55
Tipo de grano	Semi - Cristalino
Color de grano	Amarillo - Naranja
Altura de Planta (m)	2,8
Altura de Mazorca (m)	1,25 - 1,30
% de Desgrane	80 - 82
Número de hileras por mazorca	18 - 20
Granos por Hilera	35 - 45
% Acame de tallo	0.5
% Acame de raíz	1
Zona de adaptación	Zona maiceras del Ecuador
Densidad de población (Plantas/Ha)	62,500 - 75,000
Rendimientos qq/ha	220 qq
Stay green	Excelente
Tolerancia a enfermedades	
Tolerancia a Pudrición de mazorca	Muy Buena
Tolerancia Curvularia sp.	Media
Tolerancia Physoderma sp.	Buena
Tolerancia Puccinia Sorghi	Muy Buena
Tolerancia Helminthosporium turcicum	Buena
Tolerancia Complejo de enfermedades de origen viral	Excelente
Tolerancia Phyllachora maydis (complejo mancha de asfalto)	Excelente
Tolerancia Cercospora sp,	Excelente
Tolerancia Diploida maydis	Excelente
Tolerancia Marasmeillus sp,	Excelente
Tolerancia Rhyzoctonia sp,	Excelente

Fuente: INIAP

- **Semilla 2**

Semilla 2 posee las características que se detallan a continuación:

Tabla 2 Características de la semilla 2

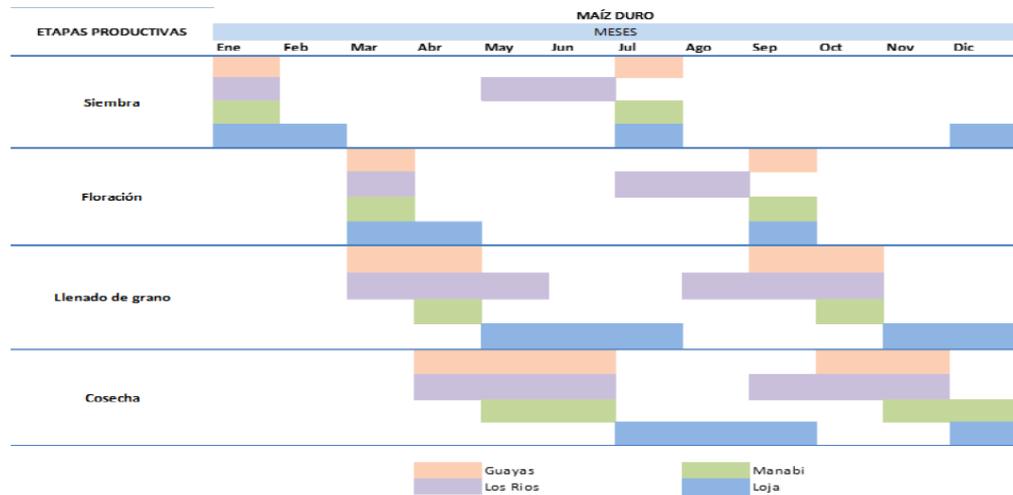
Características	
Rango de adaptación	0-600msnm
Siembra:	invierno/verano
Ciclo de cultivo	130 días
Días de floración	53 días
Tipo de cruce	simple
Tipo de Grano	semiflnt
Color del grano	anaranjado
Altura de la planta	235cm
Altura de la mazorca	112cm
Peso de la Mazorca	275g
Peso (1000granos)	305g
Largo de la mazorca	180mm
Espigas/planta:	1,5
Diámetro basal	55mm
Diámetro apical	43mm
Calidad de grano	excelente
Relación Grano/marfo	0,75
Resistencia al acame	0,75
Tolerancia a enfermedades de la mazorca	excelente
Tolerancia a enfermedades foliares	media

Fuente: INIAP

2.4 ETAPAS PRODUCTIVAS DEL MAÍZ EN EL ECUADOR

En verano la etapa de siembra de maíz empieza a partir de la tercera semana de mayo y primera de junio en la provincia de Los Ríos, y a partir del mes de julio en las provincias de Guayas, Manabí y Loja.

Gráfico 8 Etapas productivas del maíz



Fuente: Magap, zona 5.

Gráfico 9 Producción de maíz en el ciclo de verano- Provincia de los ríos



Fuente: Magap, zona 5.

2.5 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

Un adecuado aporte de nutrientes, especialmente en el momento de mayor demanda de nutrientes por parte de la planta (aproximadamente 5-6 hojas desarrolladas), permitirá un desarrollo óptimo, crecimiento foliar. Los nutrientes disponibles en el suelo generalmente limitan la producción de maíz, siendo necesario un aporte adicional, el cual se lo oferta mediante la aplicación de nutrientes. (García, 2012)

En el cuadro 3, se presenta el requerimiento nutricional de una planta para obtener 1 tonelada de maíz por hectárea. Es importante considerar que los requerimientos nutricionales de los cultivos varían de acuerdo al nivel de producción y el ambiente, por lo que los requerimientos presentados representan datos teóricos.

Tabla 3 Requerimientos nutricionales del maíz

Nutriente	Requerimiento kg/ton	Índice de Cosecha	Extracción kg/ton
Nitrógeno	22	0.66	14.5
Fósforo	4	0.75	3.0
Potasio	19	0.21	4.0
Calcio	3	0.07	0.2
Magnesio	3	0.28	0.8
Azufre	4	0.45	1.8
	g/ton		g/ton
Boro	20	0.25	5
Cloro	444	0.06	27
Cobre	13	0.29	4
Hierro	125	0.36	45
Manganeso	189	0.17	32
Molibdeno	1	0.63	1
Zinc	53	0.50	27

Fuente: García, 2012

Como se puede observar entre los principales nutrientes requeridos por la planta de maíz se encuentra el nitrógeno, fósforo y potasio. Una cosecha de maíz correspondiente a 12000 kg/ha de rendimiento, aproximadamente necesita las siguientes dosis de nutrientes: 264, 48 y 48 kg/ha de nitrógeno , fósforo y azufre , respectivamente.

Dependiendo del autor, cabe situar las necesidades de maíz, en un máximo de 28-30 kg de nitrógeno (N), 10-12 kg de fósforo (P₂O₅), y 23-25 kg de potasio (K₂O), por cada 1.000 kg de grano producido. Adicionalmente, hay un consumo significativo de calcio, magnesio y azufre.

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.

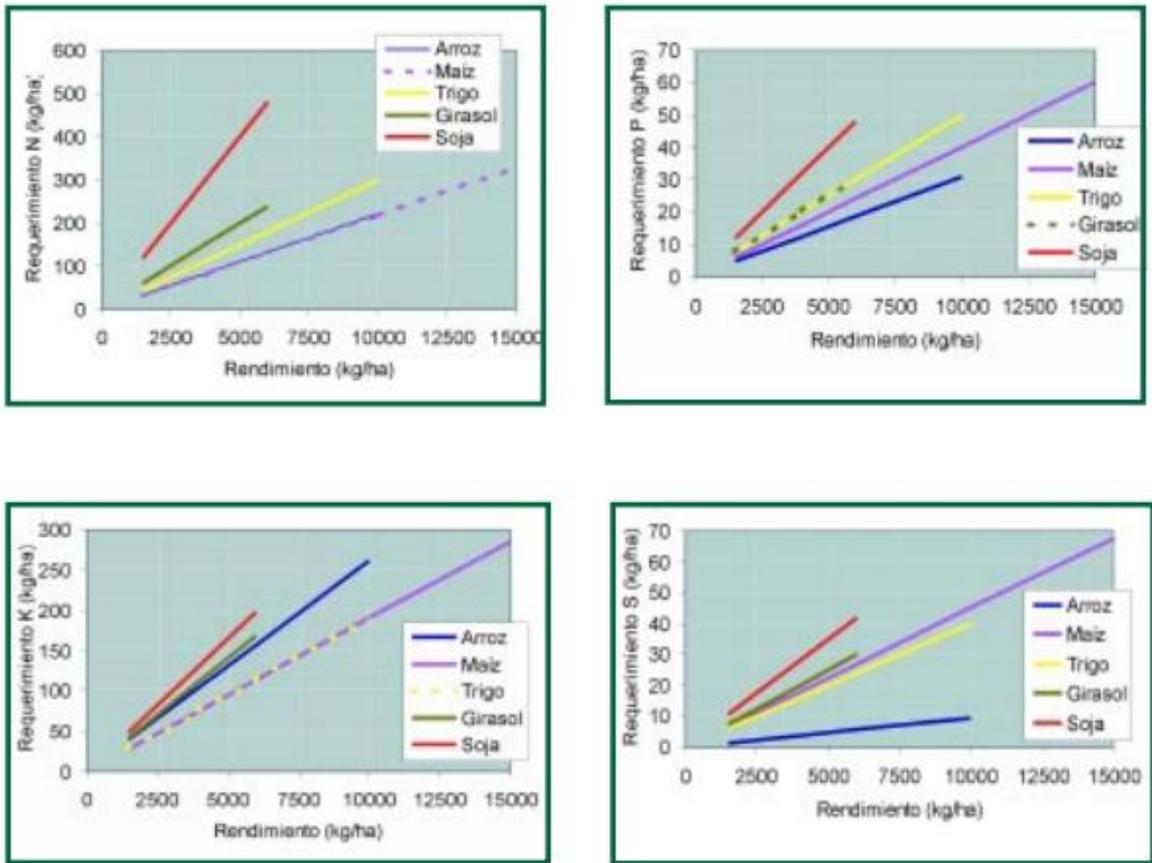
A continuación se realiza una breve descripción de los principales nutrientes, necesarios en la fertilización del maíz, empleados en el presente proyecto:

Nitrógeno: Es un elemento químico, el cual se administra en forma de urea, nitratos, complejos de amonio o amoniaco puro, por medio de los fertilizantes. El N es el nutriente más comúnmente deficiente para la producción de maíz, y requiere ser aplicado al inicio y en los estadios medios del cultivo.

Fosforo: Fomenta el crecimiento de raíces, la floración, la maduración, y la formación de semillas. La aplicación de los fertilizantes fosfatados debe hacerse al inicio de la siembra o antes de la siembra de manera tal que el fósforo esté disponible para el cultivo desde la implantación.

Potasio: Promueve la formación de almidón y azúcar, el crecimiento de raíces, la resistencia contra enfermedades, la fortaleza de los tallos, y la fortaleza general de la planta. La absorción del potasio termina prácticamente poco después de la floración.

Gráfico 10 Rendimiento del maíz VS nutrición recibida



Fuente: Magap

2.6 RENDIMIENTO DEL MAÍZ

En cuadro No. 4 se muestran los rendimientos obtenidos por hectárea en distintas provincias del país para el año 2015, se observa que la provincia con mayor rendimiento de las superficies sembradas es la provincia de Los Ríos, con 6.09 t/ha.

Tabla 4 Requerimiento de nutrientes para producir una tonelada de grano de maíz

Superficie, Producción y rendimientos de Maíz Duro seco 2015			
Provincia	Superficie cosechada	Producción	Rendimiento
	(ha)	(t)	(t/ha)
TOTAL NACIONAL	310.788	1.734.066	5.58
LOS RÍOS	138.632	844.730	6.09
MANABÍ	80.872	406.981	5.03
GUAYAS	49.951	249.030	4.99
LOJA	36.139	207.679	5.75

Fuente: MAG.

Analizando la provincia de Los Ríos, se puede observar que el cantón Montalvo, Cantón donde se realizará el experimento, presenta un rendimiento promedio de 5.40 TM en la época de verano.

Tabla 5 Rendimiento de los cultivos de maíz en los cantones de la Provincia de Los Ríos.

CANTON	VERANO		
	SUPERFICIE	RENDIMIENTO TM	PRODUCCIÓN
BABA	1.551	4,27	6.624
BABAHOYO	4.950	4,86	24.038
BUENA FE	2.849	6,29	17.920
MOCACHE	3.691	5,71	21.080
MONTALVO	7.379	5,40	39.831
PALENQUE	1.356	6,16	8.358
PUEBLOVIEJO	1.815	6,11	11.092
QUEVEDO	1.229	8,64	10.620
QUINSALOMA	1.857	6,02	11.180
URDANETA	1.786	7,51	13.409
VALENCIA	1.526	5,01	7.651
VENTANAS	3.034	5,86	17.779
VINCES	2.393	7,17	17.150
SUBTOTAL	35.417	5,84	206.732

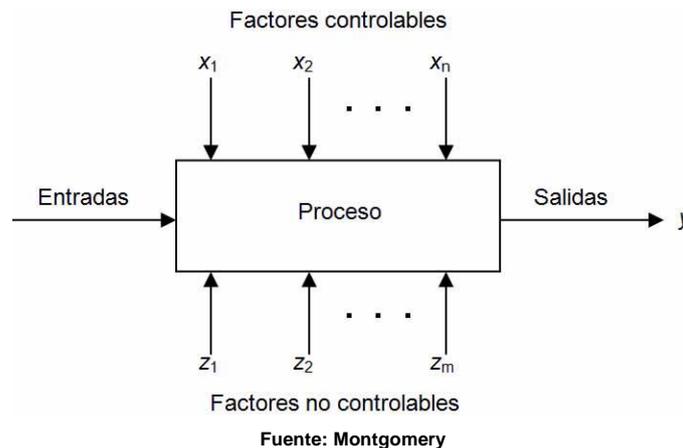
Fuente: MAG.

CAPÍTULO 3

3 TEORÍA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Los diseños experimentales son empleados para estudiar el desempeño de procesos y sistemas, los cuales pueden visualizarse como una combinación de máquinas, métodos, personas u otros recursos que transforman una entrada en una salida que tiene una o más respuestas observables. Algunas variables del proceso son controlables mientras que otras son no controlables.

Gráfico 11 Esquema del diseño experimental



Proceso: Son la combinación de operaciones, máquinas, métodos, personas y demás recursos que transforman alguna entrada, en un resultado del que se puede medir una o más variables de respuestas.

El diseño experimental es una prueba o serie de corridas, en las que se cambian a propósito las variables de entrada de un proceso, para identificar las posibles razones de cambio que pueda haber en el resultado o salidas del proceso. Dentro de este proceso de experimentación también se encuentran presentes factores controlables y factores no controlables que posiblemente también afectarán el resultado del proceso.

El diseño de experimentos conlleva un proceso mediante el cual se plantea un experimento de manera que se obtengan datos que puedan ser analizados a través de distintos métodos estadísticos, que tendrán como resultado conclusiones válidas y objetivas.

El diseño experimental cuenta con tres principios básicos

- La realización de réplicas: Se refiere a la repetición del experimento básico. Las réplicas permiten obtener estimaciones del error experimental. La réplicas también permiten establecer si se usa la media muestral para estimar el efecto de los factores en el experimento.
- La aleatorización: Establece que tanto el material experimental como el orden de los ensayos se realiza al azar.
- La formación de bloques: permite reducir la variabilidad transmitida por factores perturbadores.

El diseño experimental tiene como objetivo determinar que variables de entrada son las responsables de los cambios en la respuesta de un proceso, y a su vez poder construir un modelo en el que se incluyan las variables de respuesta de mayor relevancia. Los modelos construidos a partir del diseño experimental tienen como objeto mejorar un proceso ya existente o para la toma de decisiones.

3.1 PAUTAS GENERALES PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL

Identificación y enunciación del problema.

Elección de los factores, los niveles y los rangos.

Selección de la variable de respuesta.

Elección del diseño experimental.

Realización del experimento.

Análisis estadístico de datos.

Conclusiones y recomendaciones.

3.2 CLASIFICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Existe una gran variedad de diseños experimentales que tienen como objetivo estudiar una diversidad de problemas o situaciones que ocurren en la práctica. Es necesario saber seleccionar el diseño adecuado para poder dar una correcta solución al problema en estudio.

Existen cinco aspectos que tienen una mayor influencia en la selección del diseño experimental, los cuales se detallan a continuación:

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.

3.3 DISEÑO FACTORIAL 2^3

Acorde a lo expuesto, en el presente proyecto se definió la utilización de un diseño factorial 2^3 , empleando bloques aleatorios.

En los diseños factoriales 2^3 , se estudia los efectos de 3 factores sobre una variable respuesta, considerando dos niveles o variantes para cada facto

Tabla 6 Diseño factorial 2^3

Tratamiento	Factor A	Factor B	Factor C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Fuente: Autor

Efectos principales

El efecto promedio de un factor se define como el cambio en la respuesta producido por el cambio en el nivel de ese factor, promediado sobre los niveles del otro factor

Estimación de la interacción

Se dice que hay interacción entre dos factores cuando el efecto de uno de ellos es diferente, según el nivel al que está el otro

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

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \mu_k = H_1 = \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

La hipótesis nula a probar es que la respuesta media de cada tratamiento es la misma para los “k” tratamientos, por tanto cada respuesta media μ_i es igual a la media global poblacional.

3.4 BLOQUES

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.

CAPÍTULO 4

4 DISEÑO DEL ESTUDIO

4.1 DEFINICIÓN DE FACTORES A ESTUDIAR

El diseño experimental se basará en el análisis del resultado de diferentes tratamientos de fertilización en los que se aplicará nitrógeno, fósforo y potasio en distintas dosis y etapas, que se detallan a continuación:

Se estudiarán dos semillas híbridas de alto rendimiento denominadas “semilla 1” y “semilla 2” las cuales se someterán a 3 etapas de fertilización que denominaremos: Fertilización 1, Fertilización 2 y Fertilización 3.

La fertilización 1 consiste en la aplicación de dos compuestos comerciales distintos 8-20-20 y 10-30-30 en el día 1 de la siembra. El compuesto 8-20-20 y 10-30-10 se aplicarán en una dosis de 2.19 qq por cuadra.

Tabla 7 Descripción de los abonos a utilizarse

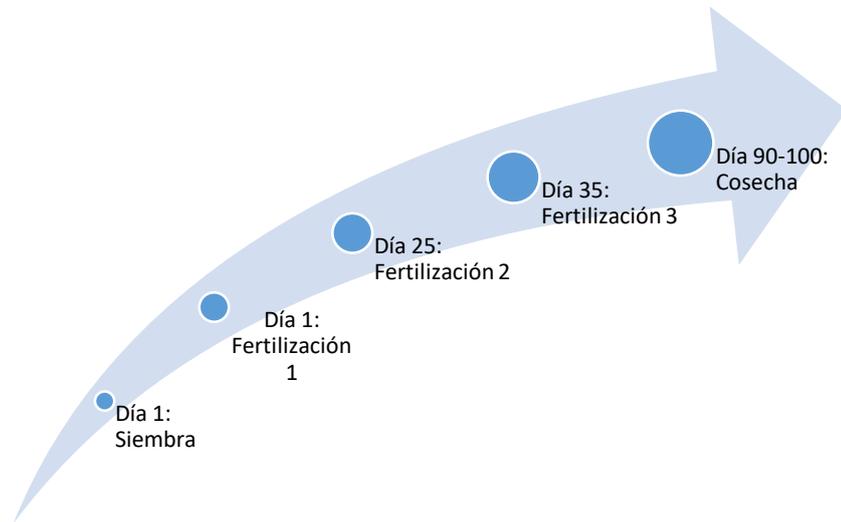
Abonos comerciales	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
8-20-20	8%	20%	20%
10-30-10	10%	30%	10%
Urea	46%		

Fuente: Autor

La fertilización 2 consiste en la aplicación de urea 46% en el día 25 y el otro grupo sin aplicación. La urea 46% se aplicará en una dosis de 1.09 qq por cuadra.

La fertilización 3 consiste en la aplicación de urea a todos los grupos. La urea 46% se aplicará en una dosis de 1.65 qq por cuadra.

Gráfico 12 Línea de tiempo del diseño experimental



Fuente: Autor

Tabla 8 Descripción general del experimento.

Semilla (plantas/cuadra)	Fertilización 1 (qq/cuadra)		Fertilización 2 (qq/cuadra)		Fertilización 3 (qq/cuadra)
		10-30-10	8-20-20	Urea	Urea
30.000	2.19	2.19	1.09	0	1.65

Fuente: Autor

Cada fertilización tendrá 2 tratamientos distintos aplicables, obteniendo de esta forma un diseño experimental 2^3 en el que se estudiarán 8 tratamientos distintos, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9 Descripción de los tratamientos del experimento.

EXPERIMENTO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4
	Semilla	abono	abono	Abono
Tratamiento 1	Semilla 1	8-20-20	sin urea	con urea
Tratamiento 2	Semilla 1	10-30-10	sin urea	con urea
Tratamiento 3	Semilla 2	8-20-20	sin urea	con urea
Tratamiento 4	Semilla 2	10-30-10	sin urea	con urea
Tratamiento 5	Semilla 2	8-20-20	con urea	con urea
Tratamiento 6	Semilla 2	10-30-10	con urea	con urea
Tratamiento 7	Semilla 1	8-20-20	con urea	con urea
Tratamiento 8	Semilla 1	10-30-10	con urea	con urea

Fuente: Autor

Debido a que la mano de obra es muy variable en el sector agrícola se decidió elaborar 2 bloques completos en los que se trabajará con 2 obreros distintos en cada uno.

Se emplearan bloques aleatorios completos.

Tabla 10 Descripción de los bloques empleados en el experimento.

Bloque 1	Bloque 2
Tratamiento 1	Tratamiento 1
Tratamiento 2	Tratamiento 2
Tratamiento 3	Tratamiento 3
Tratamiento 4	Tratamiento 4
Tratamiento 5	Tratamiento 5
Tratamiento 6	Tratamiento 6
Tratamiento 7	Tratamiento 7
Tratamiento 8	Tratamiento 8

Fuente: Autor

4.2 DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Como primer paso se procedió a definir el tamaño muestral del experimento, estimándolo en base a datos disponibles.

De acuerdo a datos proporcionados por el productor se determinó que dentro de un mismo grupo de siembra se encontraban mazorcas con un peso mínimo de 170g a un peso máximo de 210g.

Las veces en que el productor aplicó distintos tratamientos entre grupos, obtuvo pesos de 180g promedio y 192 promedio. En base a estos datos proporcionados por el productor se determinó los valores de varianza intra grupo y entre grupo, adicional se estableció un nivel de significancia de 0.05 y una potencia de la prueba de 0.8.

Tabla 11 Descripción de datos del experimento.

Datos	
Varianza intra grupo	800
Varianza entre grupo	72
Nivel de significancia	0.05
grupos	8 tratamientos
Potencia de la prueba	0.8

Fuente: Productor

Tabla 12 Calculo del tamaño de la muestra

```
> power.anova.test(8,n=NULL,72,800,0.05,0.8)
  Balanced one-way analysis of variance power calculation
    groups = 8
      n = 23.67194
  between.var = 72
  within.var = 800
  sig.level = 0.05
  power = 0.8
```

NOTE: n is number in each group

Fuente: Autor

De acuerdo a los datos proporcionados por el productor; y mediante el empleo de la prueba power.anova.test del programa R, se definió una muestra de 24 repeticiones por tratamiento.

Se define una muestra de número 24 por tratamiento, la que estará dividida en 2 bloques es decir se contará con una repetición de 12 unidades por bloque. En total se cuenta con 192 datos para análisis.

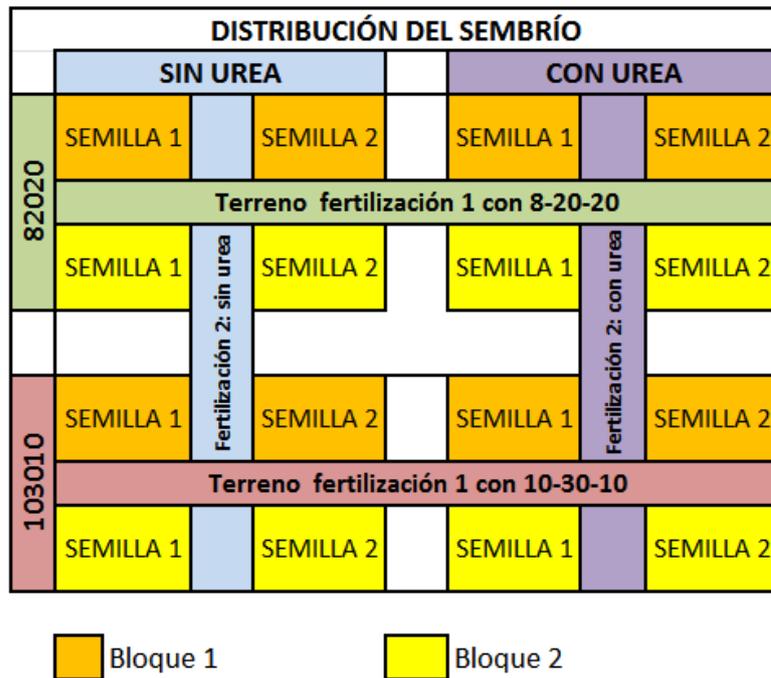
4.3 MÉTODO DE SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN

Se prepara un terreno de 10 metros por 8 metros aproximadamente para la siembra de los experimentos.

1. La siembra de las semillas se las realiza a través de maquinaria.
2. La fertilización 1 se la realiza de forma manual.
3. La fertilización 2 se la realiza de forma manual.
4. La fertilización 3 se la realiza de forma manual.

El terreno se distribuye conforme a lo detallado en la imagen 13, cada tratamiento se siembra con separaciones de 1.5m entre tratamiento.

Gráfico 13 Distribución de los tratamientos del diseño experimental



Fuente: Autor

4.4 RECOLECCIÓN DE DATOS

En el día 70 se toman los datos de las variables cualitativas de cada planta.

- Altura
- Grosor del tallo
- Número de hojas

Los datos recolectados se emplearán en la elaboración de un modelo que explique el rendimiento de las plantas de maíz en referencia a dichas variables visibles.

El día 90 se realiza la recolección de las mazorcas de forma manual. Una vez recolectadas las mazorcas se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se toma el peso de cada mazorca
2. Se realiza un desgrane manual.
3. Se toma peso de los granos extraídos.
4. Se elabora una tabla con todos los datos correspondientes a cada planta.

En total con 192 datos para el análisis.

5. Se tiene como variable principal de estudio el rendimiento por mazorca (peso desgranado de cada mazorca).

4.5 DEFINICIÓN DE LAS HIPÓTESIS A

La principal hipótesis sobre la cual se investigará es la siguiente:

H0: Todos los tratamientos son iguales.

H1: Al menos uno de los tratamientos estudiados es distinto.

CAPÍTULO 5

5 ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de los datos se empleará el software r studio

5.1 RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

La primera exploración que se realiza es un análisis de gráficos de cajas con el objetivo de apreciar visualmente el comportamiento de cada tratamiento realizado. En la tabla 13, se presenta el detalle de cada uno de los tratamientos realizados.

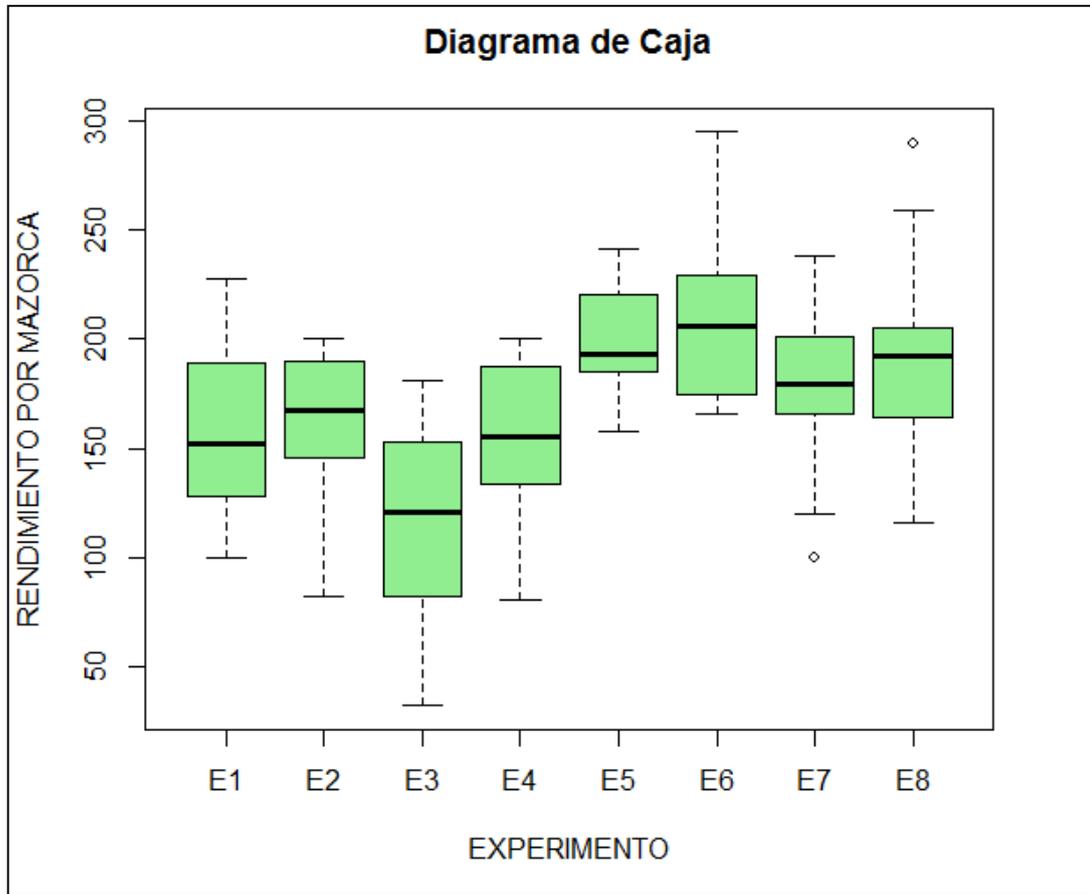
Tabla 13 Detalle de los tratamientos del experimento

EXPERIMENTO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4
	Semilla	abono	abono	abono
Tratamiento 1	Semilla 1	8-20-20	sin urea	con urea
Tratamiento 2	Semilla 1	10-30-10	sin urea	con urea
Tratamiento 3	Semilla 2	8-20-20	sin urea	con urea
Tratamiento 4	Semilla 2	10-30-10	sin urea	con urea
Tratamiento 5	Semilla 2	8-20-20	con urea	con urea
Tratamiento 6	Semilla 2	10-30-10	con urea	con urea
Tratamiento 7	Semilla 1	8-20-20	con urea	con urea
Tratamiento 8	Semilla 1	10-30-10	con urea	con urea

Fuente: Autor

Como se puede ver en el diagrama de cajas, el experimento 6 presenta los mayores rendimientos por mazorca, seguido del experimento 5,8 y 7 sucesivamente.

Gráfico 14 Diagrama de cajas de los tratamientos



Fuente: Autor

También, observando la amplitud de las cajas en el diagrama de cajas, se observa que el experimento 5 presenta la menor dispersión de datos.

5.1.1 Verificación si las varianzas de los experimentos son iguales.

Para verificar que las varianzas de los experimentos sean iguales, se utiliza el test de Bartlett. Se tiene como hipótesis las siguientes:

- Ho: las varianzas de los tratamientos son iguales
- H1: al menos una varianza de los tratamientos es diferente.

Tabla 14 Bartlett test

Bartlett test of homogeneity of variances

*data: rendimiento by tratamiento
Bartlett's K-squared = 8.5152, df = 7, p-value = 0.2894*

Fuente: Autor

Se puede ver que el valor p de la prueba Bartlett es mayor a 0.05 por lo que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y concluimos que las varianzas de los experimentos son iguales.

5.1.2 Verificación si las medias de los experimentos son iguales.

Se emplea la prueba F para verificar la media de los experimentos, se tiene como

Ho: La media de la variable rendimiento de todos los experimentos son iguales.
H1: Al menos una de las medias es diferente.

Tabla 15 Prueba F

<i>Df</i>	<i>Sum Sq</i>	<i>Mean Sq</i>	<i>F value</i>	<i>Pr(>F)</i>
<i>tratamiento</i>	7	144729	20676	16.43 <2e-16 ***
<i>Residuals</i>	184	231606	1259	

<i>Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1</i>				

Fuente: Autor

De acuerdo a la prueba F, cuyo valor p es menor a 0.05, existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se concluye que existe diferencia en el rendimiento de cada mazorca dependiendo del experimento que se utilice.

Adicional se empleó una prueba no paramétrica, efectuando la prueba Kruskal-Wallis se obtiene un valor p inferior a 0.05 por lo tanto se concluye que existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y se concluye que las

medias del rendimiento por mazorca son diferentes según el experimento empleado.

Tabla 16 Kruskal-Wallis test

Kruskal-wallis rank sum test

data: rendimiento by tratamiento

Kruskal-wallis chi-squared = 67.656, df = 7, p-value = 4.392e-12

Fuente: Autor

Se realiza también una *investigación de las diferencias individuales utilizando el procedimiento de Tukey:*

Tabla 17 Prueba de Tukey

```

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = rendimiento ~ tratamiento, data = d
atos)

$`tratamiento`
diff      lwr      upr      p adj
E2-E1  3.000000 -28.4027601  34.402760 0.9999906
E3-E1 -41.291667 -72.6944268  -9.888907 0.0020356
E4-E1  -2.041667 -33.4444268  29.361093 0.9999993
E5-E1  41.625000  10.2222399  73.027760 0.0017994
E6-E1  50.208333  18.8055732  81.611093 0.0000560
E7-E1  21.375000 -10.0277601  52.777760 0.4272070
E8-E1  30.708333  -0.6944268  62.111093 0.0603371
E3-E2 -44.291667 -75.6944268 -12.888907 0.0006496
E4-E2  -5.041667 -36.4444268  26.361093 0.9996849
E5-E2  38.625000  7.2222399  70.027760 0.0052785
E6-E2  47.208333  15.8055732  78.611093 0.0002002
E7-E2  18.375000 -13.0277601  49.777760 0.6248704
E8-E2  27.708333  -3.6944268  59.111093 0.1275432
E4-E3  39.250000  7.8472399  70.652760 0.0042454
E5-E3  82.916667  51.5139065 114.319427 0.0000000
E6-E3  91.500000  60.0972399 122.902760 0.0000000
E7-E3  62.666667  31.2639065  94.069427 0.0000002
E8-E3  72.000000  40.5972399 103.402760 0.0000000
E5-E4  43.666667  12.2639065  75.069427 0.0008290
E6-E4  52.250000  20.8472399  83.652760 0.0000227
E7-E4  23.416667  -7.9860935  54.819427 0.3067711
E8-E4  32.750000  1.3472399  64.152760 0.0342087
E6-E5  8.583333 -22.8194268  39.986093 0.9906633
E7-E5 -20.250000 -51.6527601  11.152760 0.5001081
E8-E5 -10.916667 -42.3194268  20.486093 0.9629776
E7-E6 -28.833333 -60.2360935  2.569427 0.0975269
E8-E6 -19.500000 -50.9027601  11.902760 0.5499885
E8-E7  9.333333 -22.0694268  40.736093 0.9846829
    
```

Fuente: Autor

Al hacer uso del procedimiento de Tukey se puede llegar a las siguientes conclusiones:

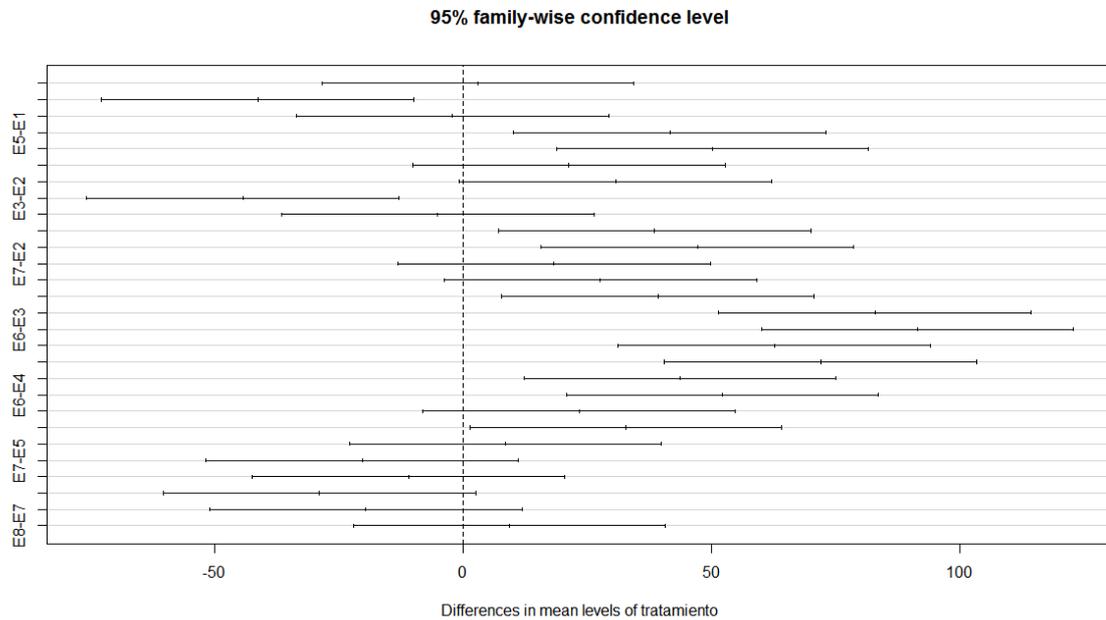
Tabla 18 Resultados prueba Tukey

El valor p es mayor a 0.05 por lo que existe evidencia estadística para afirmar que las medias de los experimentos que se detalla a continuación, son iguales.	El valor p es menor a 0.05 por lo que existe evidencia estadística para afirmar que las medias de los experimentos que se detalla a continuación, son diferentes.
Tratamiento 2 - Tratamiento 1	Tratamiento 3- Tratamiento 1
Tratamiento 4- Tratamiento 1	Tratamiento 5- Tratamiento 1
Tratamiento 7- Tratamiento 1	Tratamiento 6- Tratamiento 1
Tratamiento 8- Tratamiento 1	Tratamiento 3- Tratamiento 2
Tratamiento 4- Tratamiento 2	Tratamiento 5- Tratamiento 2
Tratamiento 7- Tratamiento 2	Tratamiento 6- Tratamiento 2
Tratamiento 8- Tratamiento 2	Tratamiento 4- Tratamiento 3
Tratamiento 7- Tratamiento 4	Tratamiento 5- Tratamiento 3
Tratamiento 6- Tratamiento 5	Tratamiento 6- Tratamiento 3
Tratamiento 7- Tratamiento 5	Tratamiento 7- Tratamiento 3
Tratamiento 8- Tratamiento 5	Tratamiento 8- Tratamiento 3
Tratamiento 8- Tratamiento 6	Tratamiento 5- Tratamiento 4
Tratamiento 8- Tratamiento 7	Tratamiento 6- Tratamiento 4
	Tratamiento 8- Tratamiento 4

Fuente: Autor

Se corrobora estas conclusiones al hacer el gráfico de los niveles de confianzas para las diferencias de medias pareadas. Como se puede ver los pares de medias cuyas diferencias no son significativas contienen al 0 en sus intervalos de confianza.

Gráfico 15 Diferencias de medias por tratamiento



Fuente: Autor

Se realiza exploración de los datos, investigando las diferencias entre las medias empleando los contrastes de tratamiento de referencia

Tabla 19 Prueba de contrastes de tratamiento de referencia

```

Call:
lm(formula = rendimiento ~ tratamiento, data = datos)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-84.708 -22.146  -1.042   27.438  101.292

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  158.000     7.242   21.817 < 2e-16 ***
tratamientoE2    3.000    10.242    0.293  0.76992
tratamientoE3  -41.292    10.242   -4.032  8.10e-05 ***
tratamientoE4   -2.042    10.242   -0.199  0.84221
tratamientoE5   41.625    10.242    4.064  7.13e-05 ***
tratamientoE6   50.208    10.242    4.902  2.07e-06 ***
tratamientoE7   21.375    10.242    2.087  0.03826 *
tratamientoE8   30.708    10.242    2.998  0.00309 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 35.48 on 184 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3846, Adjusted R-squared:  0.3612
F-statistic: 16.43 on 7 and 184 DF, p-value: < 2.2e-16
    
```

Fuente: Autor

Como resultado de la prueba se puede concluir lo siguiente: el promedio de rendimiento para el tratamiento 1 es de 158.000.

La diferencia entre el promedio del rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 1 y el promedio de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 2 es de 3. La media de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 2 es de 161. El valor p es mayor a 0.05 por lo cual existe evidencia estadística para afirmar que el promedio del rendimiento del tratamiento 2 es igual que el promedio del rendimiento obtenido con el tratamiento 1.

La diferencia entre el promedio del rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 1 y el promedio de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 3 es de -41.292. La media de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 3 es de 116.708. El valor p es menor a 0.05 por lo cual existe evidencia estadística para afirmar que el promedio del rendimiento del tratamiento 3 es diferente que el promedio del rendimiento obtenido con el tratamiento 1.

La diferencia entre el promedio del rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 1 y el promedio de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 4 es de -2.042. La media de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 4 es de 155.958. El valor p es mayor a 0.05 por lo cual existe evidencia estadística para afirmar que el promedio del rendimiento del tratamiento 4 es igual que el promedio del rendimiento obtenido con el tratamiento 1.

La diferencia entre el promedio del rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 1 y el promedio de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 5 es de 41.625. La media de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 5 es de 199.625. El valor p es menor a 0.05 por lo cual existe evidencia estadística para afirmar que el promedio del rendimiento del tratamiento 5 es diferente que el promedio del rendimiento obtenido con el tratamiento 1.

La diferencia entre el promedio del rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 1 y el promedio de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 6 es de 50.208. La media de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 6 es de 208.208. El valor p es menor a 0.05 por lo cual existe evidencia estadística para afirmar que el promedio del rendimiento del tratamiento 6 es diferente que el promedio del rendimiento obtenido con el tratamiento 1.

La diferencia entre el promedio del rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 1 y el promedio de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 7 es de 21.375. La media de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 7 es de 179.37. El valor p es menor a 0.05 por lo cual existe evidencia estadística para afirmar que el promedio del rendimiento del tratamiento 7 es diferente que el promedio del rendimiento obtenido con el tratamiento 1.

La diferencia entre el promedio del rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 1 y el promedio de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 8 es de 30.708. La media de rendimiento obtenido aplicando el tratamiento 8 es de 188.708. El valor p es menor a 0.05 por lo cual existe evidencia estadística para afirmar que el promedio del rendimiento del tratamiento 8 es diferente que el promedio del rendimiento obtenido con el tratamiento 1.

Tabla 20 Rendimientos promedio por tratamiento

Tratamiento	Rendimiento promedio	Costos de abonos por cuadra (\$)
Tratamiento 6	208.208	250,44
Tratamiento 5	199.625	246,04
Tratamiento 8	188.708	262,53
Tratamiento 7	179.37	258,13
Tratamiento 2	161	226,53
Tratamiento 1	158	222,13
Tratamiento 4	155.958	214,44
Tratamiento 3	116.708	210,04

Fuente: Autor

5.2 ELABORACIÓN DE MODELOS

Se procede con la elaboración del modelo aditivo y del modelo con interacción, se elabora las hipótesis, que se detallan a continuación:

H₀: Los modelos son iguales.

H₁: Existe interacción en al menos 1 de los factores.

Tabla 21 Resultados modelo aditivo

```
Call:
lm(formula = rendimiento ~ SEMILLA + INICIAL + UREA, data = datos)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-107.573  -23.797   0.375   29.167   94.323

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 170.9479     2.7019  63.271 < 2e-16 ***
SEMILLA     -0.8229     2.7019  -0.305  0.76103
INICIAL      7.5208     2.7019   2.784  0.00593 **
UREA        23.0313     2.7019   8.524 4.96e-15 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 37.44 on 188 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2998, Adjusted R-squared:  0.2887
F-statistic: 26.83 on 3 and 188 DF, p-value: 1.714e-14
```

Fuente: Autor

Tabla 22 Resultado modelo con interacciones

```

Call:
lm(formula = rendimiento ~ SEMILLA * INICIAL * UREA, data = datos)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-84.708 -22.146  -1.042   27.437 101.292

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    170.9479     2.5604  66.765 < 2e-16 ***
SEMILLA        -0.8229     2.5604  -0.321  0.74828
INICIAL         7.5208     2.5604   2.937  0.00373 **
UREA           23.0313     2.5604   8.995 2.88e-16 ***
SEMILLA:INICIAL  4.4375     2.5604   1.733  0.08475 .
SEMILLA:UREA    10.7604     2.5604   4.203 4.11e-05 ***
INICIAL:UREA   -3.0417     2.5604  -1.188  0.23639
SEMILLA:INICIAL:UREA -4.6250     2.5604  -1.806  0.07250 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Fuente: Autor

Tabla 23 Resultados del análisis mediante un anova modelo aditivo vs modelo con interacción

```

Analysis of Variance Table

Model 1: rendimiento ~ SEMILLA + INICIAL + UREA
Model 2: rendimiento ~ SEMILLA * INICIAL * UREA
  Res.Df  RSS Df Sum of Sq   F    Pr(>F)
1    188 263501
2    184 231606  4   31895 6.3348 8.493e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Fuente: Autor

Comparando los 2 modelos elaborados (aditivo y con interacción) mediante el comando ANOVA se puede observar que se tiene un valor p menor a 0.05, por

lo que se puede concluir que existe evidencia de interacción entre los factores por lo tanto se opta por el modelo con interacción.

Se vuelve a realizar el mismo análisis de modelo aditivo y de modelo con interacción, en este caso incluyendo los bloques establecidos en el presente experimento.

Tabla 24 Modelo aditivo con bloques

```

Linear mixed-effects model fit by REML
Data: datos
      AIC      BIC    logLik
1928.681 1948.099 -958.3403

Random effects:
Formula: ~1 | Bloque
      (Intercept) Residual
StdDev: 0.002072969 37.43798

Fixed effects: rendimiento ~ (SEMILLA + INICIAL + UREA)
              Value Std.Error DF t-value p-value
(Intercept) 170.94792  2.701854 187 63.27061  0.0000
SEMILLA     -0.82292  2.701853 187 -0.30457  0.7610
INICIAL      7.52083  2.701853 187  2.78358  0.0059
UREA        23.03125  2.701853 187  8.52424  0.0000
Correlation:
      (Intr) SEMILL INICIA
SEMILLA 0
INICIAL 0      0
UREA    0      0      0

Standardized Within-Group Residuals:
      Min      Q1      Med      Q3      Max
-2.87336357 -0.63563466  0.01001657  0.77906633  2.51944486

Number of Observations: 192
Number of Groups: 2
    
```

Fuente: Autor

Tabla 25 Modelo con interacciones con bloques

```

Linear mixed-effects model fit by REML
Data: datos
      AIC      BIC    logLik
1897.595 1929.744 -938.7976

Random effects:
Formula: ~1 | Bloque
(Intercept) Residual
StdDev:  0.00196719 35.47857

Fixed effects: rendimiento ~ (SEMILLA * INICIAL * UREA)
              Value Std.Error DF t-value p-value
(Intercept) 170.94792  2.560445 183 66.76491 0.0000
SEMILLA     -0.82292  2.560445 183 -0.32140 0.7483
INICIAL      7.52083  2.560445 183  2.93731 0.0037
UREA        23.03125  2.560445 183  8.99502 0.0000
SEMILLA:INICIAL  4.43750  2.560445 183  1.73310 0.0848
SEMILLA:UREA   10.76042  2.560445 183  4.20256 0.0000
INICIAL:UREA  -3.04167  2.560445 183 -1.18794 0.2364
SEMILLA:INICIAL:UREA -4.62500  2.560445 183 -1.80633 0.0725
Correlation:
(Intr) SEMILLA INICIAL UREA SEMILLA:INICIAL SEMI
LLA:U
SEMILLA      0
INICIAL      0      0
UREA         0      0      0
SEMILLA:INICIAL  0      0      0      0
SEMILLA:UREA    0      0      0      0      0
INICIAL:UREA    0      0      0      0      0      0
SEMILLA:INICIAL:UREA 0      0      0      0      0      0
INICIAL:
SEMILLA
INICIAL
UREA
SEMILLA:INICIAL
SEMILLA:UREA
INICIAL:UREA
SEMILLA:INICIAL:UREA 0

Standardized within-Group Residuals:
      Min      Q1      Med      Q3      Max
-2.38759174 -0.62420315 -0.02936045  0.77335423  2.85501009

Number of Observations: 192
Number of Groups: 2
    
```

Fuente: Autor

Se vuelve a comparar los 2 modelos elaborados (aditivo y con interacción) mediante el comando ANOVA se puede concluir que existe evidencia de interacción entre los factores por lo tanto se opta por el modelo con interacción.

Tabla 26 Resultados anova modelo aditivo bloques vs modelo con interacción bloques

Model	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
m9	1 10	1897.595	1929.745	-938.7976			
m10	2 6	1928.681	1948.099	-958.3403	1 vs 2	39.08552	<.0001

Fuente: Autor

Tabla 27 Anova modelo bloques vs modelo sin bloques

```
> anova(m9,m1)
```

Model	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
m9	1 10	1897.595	1929.745	-938.7976			
m1	2 9	1895.595	1924.530	-938.7976	1 vs 2	2.869303e-07	0.9996

Fuente: Autor

Se decide eliminar la interacción INICIAL: UREA, nos fijamos que la variable SEMILLA sigue sin ser significativa, por lo cual se elabora un tercer modelo en el que se extrae la variable SEMILLA.

Tabla 28 Elaboración de modelo 2 eliminando la interacción de la fertilización inicial y de la fertilización 2

```
> m2=update(m1, .~.-INICIAL:UREA)
> summary(m2)

Call:
lm(formula = rendimiento ~ SEMILLA + INICIAL + UREA + SEMILLA:INICIAL
+ SEMILLA:UREA + SEMILLA:INICIAL:UREA, data = datos)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-87.750 -23.250   0.417  27.031  98.250

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    170.9479     2.5633   66.691 < 2e-16 ***
SEMILLA         -0.8229     2.5633   -0.321  0.74854
INICIAL          7.5208     2.5633    2.934  0.00377 **
UREA            23.0313     2.5633    8.985 2.98e-16 ***
SEMILLA:INICIAL  4.4375     2.5633    1.731  0.08509 .
SEMILLA:UREA    10.7604     2.5633    4.198 4.18e-05 ***
SEMILLA:INICIAL:UREA -4.6250     2.5633   -1.804  0.07281 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 35.52 on 185 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3799, Adjusted R-squared:  0.3597
F-statistic: 18.89 on 6 and 185 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Fuente: Autor

Tabla 29 Elaboración de modelo 3 eliminando la interacción de la semilla empleada

```

> m3=update(m2, .~.-SEMILLA)
> summary(m3)

Call:
lm(formula = rendimiento ~ INICIAL + UREA + SEMILLA:INICIAL +
    SEMILLA:UREA + SEMILLA:INICIAL:UREA, data = datos)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-88.573 -23.839  -0.125   26.641  99.073

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    170.948     2.557   66.852 < 2e-16 ***
INICIAL         7.521     2.557    2.941  0.00369 **
UREA           23.031     2.557    9.007  2.52e-16 ***
INICIAL:SEMILLA  4.437     2.557    1.735  0.08433 .
UREA:SEMILLA   10.760     2.557    4.208  4.00e-05 ***
INICIAL:UREA:SEMILLA -4.625     2.557   -1.809  0.07211 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 35.43 on 186 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3795, Adjusted R-squared:  0.3628
F-statistic: 22.75 on 5 and 186 DF, p-value: < 2.2e-16
    
```

Fuente: Autor

En los resultados de las pruebas se observa que las interacciones INICIAL:SEMILLA e INICIAL:UREA: SEMILA disponen de valores p muy cercanos a 0.05, 0.08 y 0.07 cada una correspondientemente. Por lo que se decide probar dos modelos más eliminando dichas variables y probar distintas pruebas de anova.

Tabla 30 Elaboración de modelo 4 eliminando la interacción de la fertilización inicial y de la semilla usada

```

> m4=update(m3, .~.-INICIAL:SEMILLA)
> summary(m4)

Call:
lm(formula = rendimiento ~ INICIAL + UREA + UREA:SEMILLA + INICIAL:U
    REA:SEMILLA,
    data = datos)
    
```

Fuente: Autor

Tabla 31 Elaboración de modelo 5 eliminando la interacción tercer nivel de la fertilización inicial, de la fertilización 2 y de la semilla empleada

```

> m5=update(m4, .~.-INICIAL:UREA:SEMILLA)
> summary(m5)

Call:
lm(formula = rendimiento ~ INICIAL + UREA + UREA:SEMILLA, data = datos)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-97.635 -22.490   0.083  24.750  99.260

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  170.948     2.586  66.104 < 2e-16 ***
INICIAL        7.521     2.586   2.908 0.00407 **
UREA          23.031     2.586   8.906 4.50e-16 ***
UREA:SEMILLA  10.760     2.586   4.161 4.82e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 35.83 on 188 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3586, Adjusted R-squared:  0.3483
F-statistic: 35.03 on 3 and 188 DF, p-value: < 2.2e-16
    
```

Fuente: Autor

Tabla 32 Anova Modelo 3 vs modelo 1

```

> anova(m3,m1)
Analysis of Variance Table

Model 1: rendimiento ~ INICIAL + UREA + SEMILLA:INICIAL + SEMILLA:UREA +
SEMILLA:INICIAL:UREA
Model 2: rendimiento ~ SEMILLA * INICIAL * UREA
  Res.Df  RSS Df Sum of Sq    F Pr(>F)
1     186 233512
2     184 231606  2    1906.3 0.7573 0.4704
    
```

Fuente: Autor

Tabla 33 Anova modelo 3 vs modelo 4

```
> anova(m3,m4)
Analysis of Variance Table

Model 1: rendimiento ~ INICIAL + UREA + SEMILLA:INICIAL + SEMILLA:UREA + SEMILLA:INICIAL:UREA
Model 2: rendimiento ~ INICIAL + UREA + UREA:SEMILLA + INICIAL:UREA:SEMILLA
  Res.Df  RSS Df Sum of Sq    F Pr(>F)
1     186 233512
2     187 237293 -1    -3780.8 3.0115 0.08433 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Fuente: Autor

Tabla 34 Anova modelo 4 vs modelo 5

```
> anova(m4,m5)
Analysis of Variance Table

Model 1: rendimiento ~ INICIAL + UREA + UREA:SEMILLA + INICIAL:UREA:SEMILLA
Model 2: rendimiento ~ INICIAL + UREA + UREA:SEMILLA
  Res.Df  RSS Df Sum of Sq    F Pr(>F)
1     187 237293
2     188 241400 -1    -4107 3.2365 0.07362 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Fuente: Autor

Dadas las hipótesis:

H0: Los modelos son iguales.

H1: Los modelos son diferentes.

Como resultado de las pruebas de anova realizadas se tiene lo siguiente:

El modelo m1 y m2 tienen un valor p mayor a 0.05, por lo que existe suficiente evidencia estadística para decir que los modelos son iguales, por lo que se decide trabajar con el modelo más corto en este caso el m2.

En la tabla 32, el modelo m3 y m1 tienen un valor p mayor a 0.05, por lo que existe suficiente evidencia estadística para decir que los modelos son iguales, por lo que se decide trabajar con el modelo más corto en este caso el m3.

En la tabla 33, se puede observar que el modelo m3 y m4 tienen un valor p de 0.08, valor muy cercano a 0.05 sin embargo existe suficiente evidencia estadística para decir que los modelos son iguales, se realizará mayor exploración de los datos antes de tomar una decisión.

En la tabla 34, se puede observar que el modelo m4 y m5 tienen un valor p de 0.07, valor muy cercano a 0.05 sin embargo existe suficiente evidencia estadística para decir que los modelos son iguales, se realizará mayor exploración de los datos antes de tomar una decisión.

Debido a que los dos últimos anovas tienen valores muy cercanos a 0.05, se decide elaborar un nuevo anova comparando el m5 con el m3, en la tabla 35 se tiene como resultado un valor p de 0.04 es decir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la H0 que define que los modelos son iguales, por lo que se decide trabajar con el modelo 3.

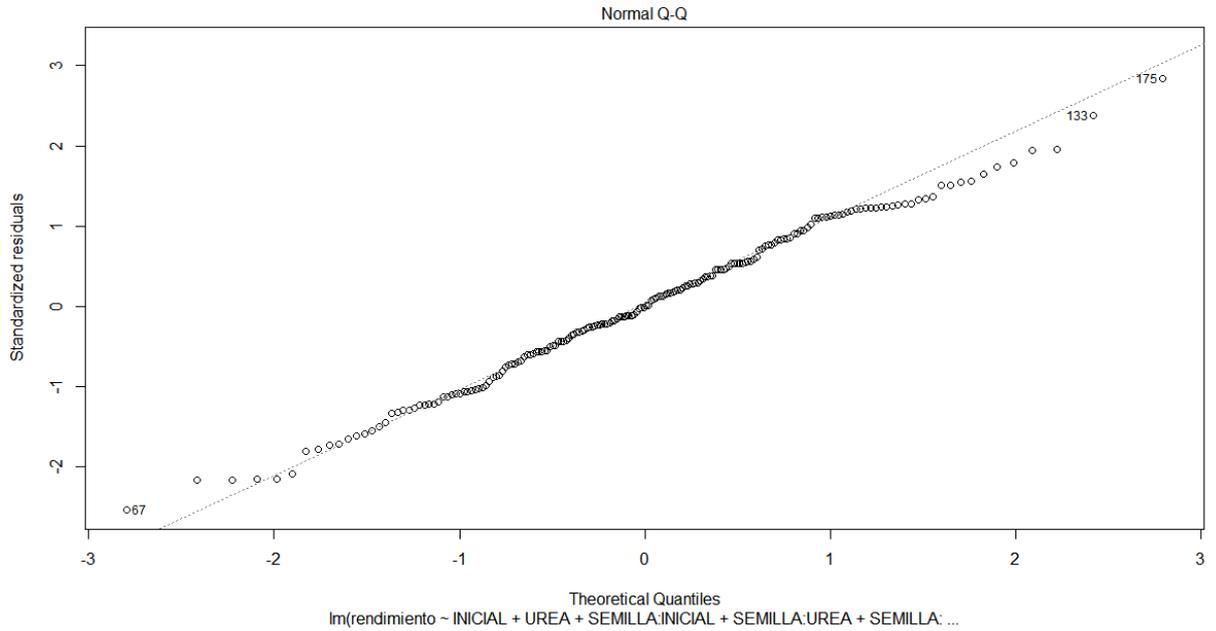
Tabla 35 Anova modelo 5 vs modelo 3

```
> anova(m5,m3)
Analysis of Variance Table

Model 1: rendimiento ~ INICIAL + UREA + UREA:SEMILLA
Model 2: rendimiento ~ INICIAL + UREA + SEMILLA:INICIAL + SEMILLA:UREA
+
SEMILLA:INICIAL:UREA
 Res.Df  RSS Df Sum of Sq      F Pr(>F)
 1    188 241400
 2    186 233512  2    7887.8 3.1414 0.04552 *
```

Fuente: Autor

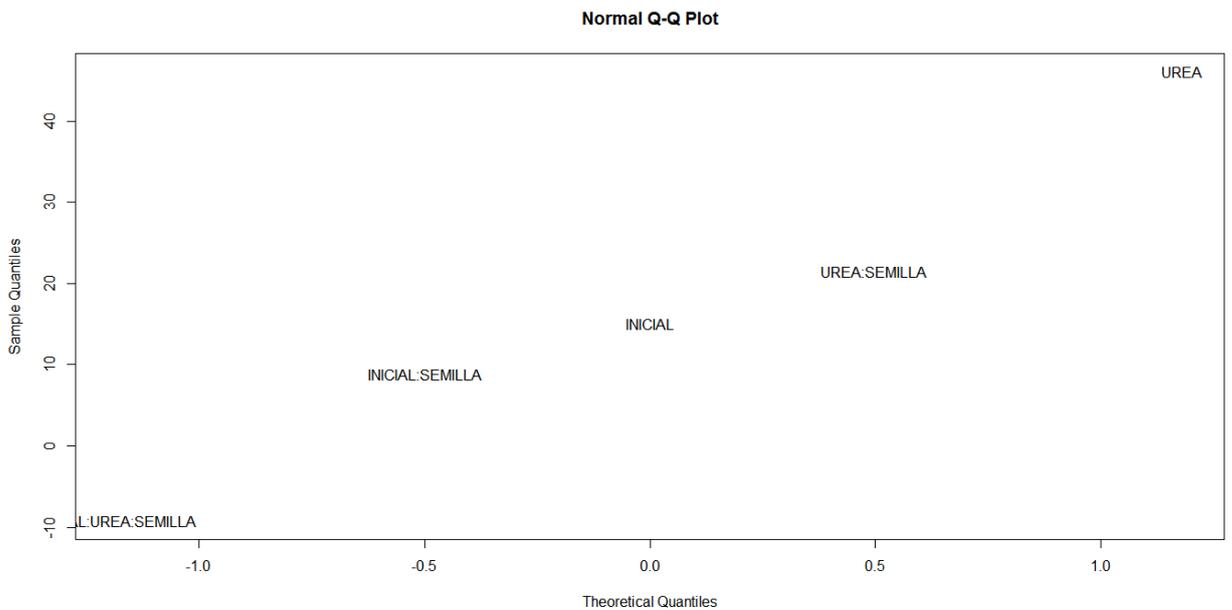
Gráfico 16 Cuantiles teóricos



Fuente: Autor

En el gráfico 16 se puede observar el comportamiento de los residuos del modelo 3 seleccionado.

Gráfico 17 Cuantiles teóricos

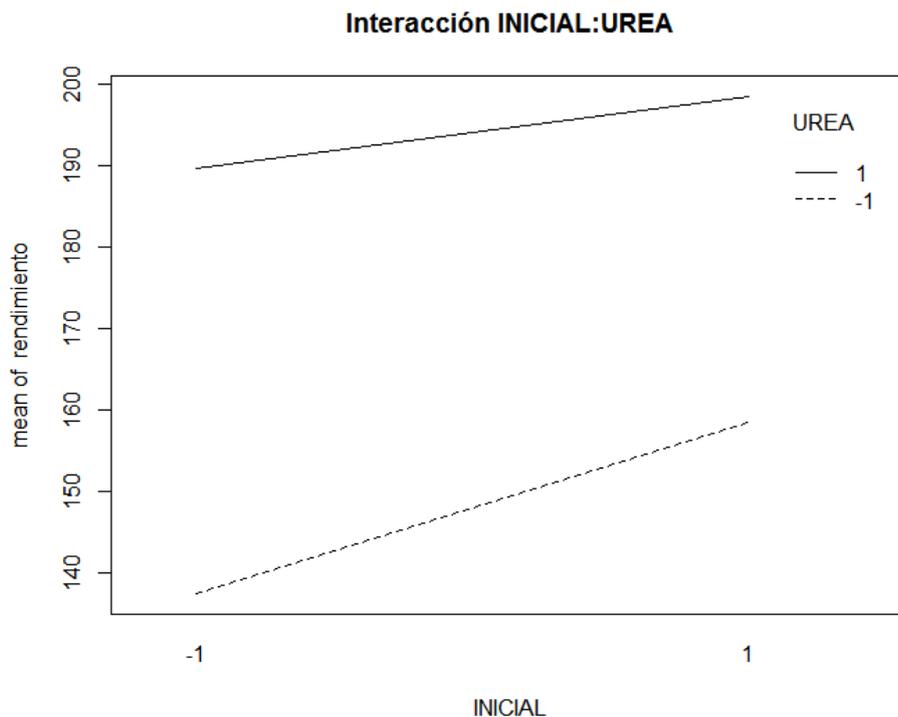


Fuente: Autor

En el gráfico 17 se puede observar los principales efectos significativos urea, urea:semilla, inicial:urea:semilla.

Para determinar los efectos significativos se realiza un gráfico Q-Q de los efectos el cuál muestra en la tabla 17 en donde los puntos que salen de la tendencia normal se consideran significativos.

Gráfico 18 Interacción fertilización inicial y fertilización 2

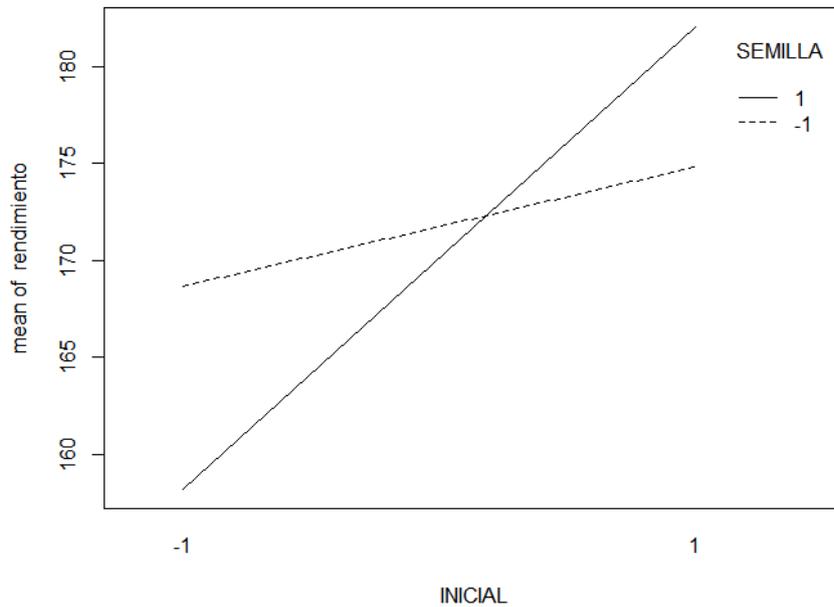


Fuente: Autor

Observando el gráfico 18 de interacción podemos confirmar que no existe interacción entre las variables fertilización inicial y fertilización 2. El efecto de fertilización inicial cuando fertilización 2 está en su nivel bajo es similar que el efecto de fertilización inicial cuando fertilización 2 está en su nivel alto.

Gráfico 19 Interacción Fertilización 2 y semilla usada

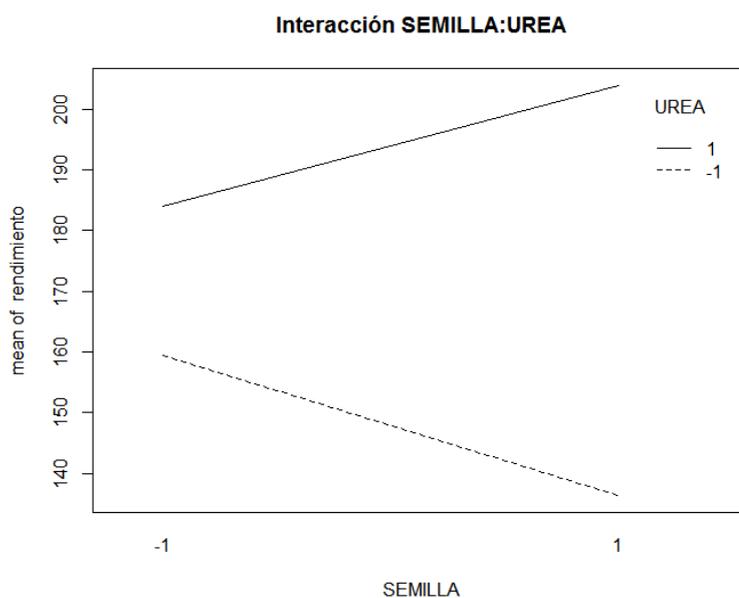
Interacción INICIAL:SEMILLA



Fuente: Autor

Observando el gráfico 19 de interacción podemos confirmar que existe una interacción entre las variables fertilización inicial y tipo de semilla empleada. El efecto de la fertilización inicial cuando semilla está en su nivel bajo es distinto que el efecto de fertilización inicial cuando semilla está en su nivel alto.

Gráfico 20 Interacción entre semilla usada y Fertilización 2



Fuente: Autor

En el gráfico 20 de interacción podemos confirmar que existe una interacción entre las variables fertilización 2 (urea) y tipo de semilla empleada. El efecto de la fertilización 2 cuando semilla está en su nivel bajo es distinto que el efecto de fertilización 2 cuando semilla está en su nivel alto.

5.3 MODELADO DE VARIABLES VISIBLES PARA EL AGRICULTOR

Mediante el modelo que se elaborará se busca explicar si alguna de las variables visibles en una planta de maíz permite explicar el rendimiento en gramos de la planta mazorca de maíz.

Las variables que se tomaron para medir esto son:

Grosor del tallo al día 70: Grosor

Número de hojas por planta: Hojas

Altura de la planta: Alto.

Peso de la mazorca completa: Mazorca.

Gramos de maíz por mazorca: Granos.

Para lo cual se procede a elaborar el siguiente modelo:

Tabla 36 Modelo para variables cualitativas

```
Call:
lm(formula = GRANOS ~ ALTO + HOJAS + GROSOR + MAZORCA, data = datos)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-99.029  -2.062   1.085   3.388  12.908

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.03247    8.08761   0.251   0.802
ALTO         -0.01935    0.04516  -0.428   0.669
HOJAS        0.55822    0.75952   0.735   0.463
GROSOR      -1.00600    0.98255  -1.024   0.307
MAZORCA      0.81592    0.01023  79.728 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8.518 on 189 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9781, Adjusted R-squared:  0.9776
```

Fuente: Autor

Acorde al modelo realizado en la tabla 36, la variable mazorca que representa el peso en gramos de una mazorca de maíz, es la única variable de todas las variables estudiadas, que tiene un valor p menor a 0.05, por lo que se puede concluir que existe suficiente evidencia estadística para indicar que explica el peso final en gramos que rendirá una planta.

5.4 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

En la tabla 37 se detallan los gastos incurridos en cada uno de los tratamientos. De estos datos se puede observar que el tratamiento más económico es el tratamiento 3 y el tratamiento que requiere la inversión más alta es el tratamiento 7.

Tabla 37 Costos de los tratamientos del experimento

Tratamiento	Gastos fijos	Costos de abonos (\$)	Costo Total por cuadra (\$)	Costo Total por 50 cuadras (\$)
Tratamiento 1	894	222,13	1116,13	55806,48
Tratamiento 2	894	226,53	1120,53	56026,37
Tratamiento 3	894	210,04	1104,04	55202,20
Tratamiento 4	894	214,44	1108,44	55421,98
Tratamiento 5	894	246,04	1140,04	57002,20
Tratamiento 6	894	250,44	1144,44	57221,98
Tratamiento 7	894	258,13	1152,13	57606,59
Tratamiento 8	894	262,53	1156,53	57826,37

Fuente: Autor

Adicional, en la tabla 38 se puede observar que el tratamiento 3 representa una pérdida de \$ 12.255,19 y el tratamiento 6, es el tratamiento que representa la mayor utilidad por las 50 cuadras: \$19.395,82.

Tabla 38 Ganancias por tratamientos

Tratamiento	No. de plantas por cuadra	rendimiento promedio por planta (g maíz/planta)	Utilidad bruta 50 cuadras (\$)	Utilidad neta 50 cuadras (\$)
Tratamiento 1	30000	158,00	58141,91	2335,43
Tratamiento 2	30000	161,00	59245,87	3219,50
Tratamiento 3	30000	116,71	42947,00	-12255,19
Tratamiento 4	30000	155,96	57390,49	1968,51
Tratamiento 5	30000	199,63	73459,36	16457,17
Tratamiento 6	30000	208,21	76617,80	19395,82
Tratamiento 7	30000	179,37	66005,79	8399,20
Tratamiento 8	30000	188,71	69442,05	11615,68

Fuente: Autor

En la tabla 39 se muestran los datos recolectados durante los sembríos del año 2013, 2014, 2015 y 2016, los cuales servirán para realizar el comparativo de los resultados obtenidos en el diseño experimental y obtener las conclusiones finales del proyecto.

Tabla 39 Históricos de ganancia y rendimiento del sembrío en estudio

COSECHAS	UTILIDAD PROMEDIO COSECHAS VERANO (\$)	Kg de maíz/cuadra*	g de maíz/planta de maíz	Tn maíz/Ha*
2013	10900	4428,648	147,6216	5,6838263
2014	12450	4541,364	151,3788	5,82848856
2015	10740	4417,0128	147,23376	5,66889333
2016	9675	4339,566	144,6522	5,56949636

Fuente: Autor

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Una vez analizados los datos se puede concluir que el tratamiento 6, (semilla 2/ 10-30-10/ con urea) es el tratamiento que presenta el mayor rendimiento con 208g de maíz promedio por planta. Y el tratamiento 3 (semilla 2/ 8-20-20/ sin urea), es el tratamiento que presentó el menor rendimiento por planta con 116.708g.
- Por medio del presente proyecto de titulación se pudo determinar que el tratamiento 7 a pesar de ser más costoso que el tratamiento 6, no fue el que presentó los mejores resultados en cuanto a utilidad ni rendimiento, el tratamiento 5 y 6 mostraron mejores resultados, con menores costos de inversión
- El tratamiento 3 representa una pérdida de \$ 12.255,19 por cada 50 cuadras y el tratamiento 6, es el tratamiento que representa la mayor utilidad por las 50 cuadras: \$19.395,82.
- A través del presente proyecto se pudo definir los tratamientos en los que se obtiene mayor rentabilidad a las obtenidas desde el 2013 al 2016 en el mismo sembrío de estudio. Al emplear el tratamiento 6 se obtendría \$ 8.460 más que el promedio del histórico obtenido en los años anteriores. Al emplear el tratamiento 5 se obtendría \$ 5.515 más que el promedio del histórico obtenido en los años anteriores. Al emplear el tratamiento 8 se obtendría \$ 673 más que el promedio del histórico obtenido en los

años anteriores, de esta forma se incrementó la rentabilidad y productividad del sembrío estudiado.

- La fertilización inicial con 8-20-20, al interactuar con una fertilización 2 sin urea obtiene bajos rendimientos, sin embargo al emplear en la fertilización inicial 10-30-10 sin urea, se obtienen mayores rendimientos que la interacción anterior descrita, por lo cual se puede concluir que para temporadas en las que exista escasez de urea o sus precios sean muy elevados, lo más conveniente será emplear una fertilización inicial con 10-30-10.
- Al analizar la interacción entre la fertilización inicial y la semilla empleada, se puede concluir que la combinación de la semilla 2 y la fertilización inicial con 8-20-20 produce rendimientos bajos, y al emplear la misma semilla con una fertilización inicial 10-30-10 se obtiene rendimientos mucho más altos.
- Al analizar la interacción entre la fertilización 2 (urea/ no urea) y la semilla empleada, se puede concluir que la combinación de la semilla 2 y el empleo de urea en la fertilización 2, producen los rendimientos más altos, sin embargo al no emplear urea en la fertilización 2, la semilla 1 es la que produce mejores rendimientos.
- Al analizar el modelo estructurado con las variables: grosor del tallo, altura de la planta, número de hojas y peso de la mazorca; el cual estaba destinado a explicar el rendimiento en peso (g) de cada planta de maíz, se obtienen valores p mayores de 0.05, a excepción de la variable peso de la mazorca la cual obtiene un valor p menor de 0.05, es decir existe suficiente evidencia estadística para decir que la variable peso de la mazorca es la única variable que explica el rendimiento final de la planta. Esto sirve de referencia para concluir que el hecho de observar una planta

alta y con un tallo grueso y frondosa no será sinónimo de que se obtendrá siempre buenos rendimientos.

6.2 RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos en el presente proyecto, son válidos exclusivamente para el terreno estudiado.
- Se recomienda realizar nuevos experimentos en los que se incluyan más variables que permitan extender los resultados a otras zonas, por ejemplo repetir el experimento estudiando distintos tipos de tierras, distintas estaciones climáticas (invierno y verano), etc ,
- Se recomienda para épocas en que exista escasez de urea o este producto se encuentre a costos muy elevados emplear el tratamiento 2, el cual mostró un buen desempeño a pesar de no usar urea en la fertilización 2.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Agricultura, M. d. (2015). *Determinantes del rendimiento del cultivo maíz duro*. Quito.
- Agricultura, M. d. (2016). *Estimación de la superficie sembrada de maíz en las Provincias de la Zona 5*. Guayaquil.
- Agricultura, M. d. (2016). *Rendimientos del maíz duro 2016*. Quito.
- Agroes. (Agosto de 2014). *Agroes*. Obtenido de <http://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-herbaceos-extensivos/maiz/86-cultivo-del-maiz>
- Andino, A. V. (2015). *Diseño experimental para comparar ocho tratamientos formados por la combinación de abonos sintéticos*. Chimborazo.
- Grupo Sacsa. (6 de julio de 2015). *Grupo Sacsa*. Obtenido de <http://www.gruposacsa.com.mx/diferentes-partes-de-una-planta-de-maiz/>
- INEC. (2015). *Reporte estadístico del Sector Agropecuario*. Quito.
- INEC. (2016). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua*. Quito.
- Montgomery, D. (2013). *Design and analysis of experiments*. Arizona: 8.
- Osorio, B. G. (2008). Análisis Económico y Producción del Maíz (*Zea mays* L.) Asociado con *Mucuna* (*Stizolobium aterrimum*) en Siembra Directa y Dos Sistemas de Fertilización Nitrogenada. *Revista Ciencia y tecnología*, 37-41.
- PIONNER. (2015). *Maíz crecimiento y desarrollo*. Iowa.
- Sarauz, S. (2015). *Rendimientos del cultivo maíz amarillo duro*. Quito.
- Valdez, T. (2012). Modelos de Predicción Fenológica para Maíz Blanco (*Zea mays* L.) y Gusano Cogollero. *Revista Agrociencia*, 399-410.
- Zambrano, E. E. (2007). Interacción genotipo ambiente de híbridos de maíz. *Revista Espam Ciencia*, 7-14.