



# **Escuela Superior Politécnica De Chimborazo**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA**

**“Aplicación del Diseño Estadístico de Experimentos a los ensayos realizados en la Unidad de Negocio PROPAGACIÓN, El Quinche”.**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de  
**Ingeniero en Estadística Informática**

Presentado por:

**Darwin Medardo Padilla Silva.**

Riobamba – Ecuador

- 2008 -

## **AGRADECIMIENTO**

A “Dios todo poderoso” por haberme bendecido con una familia sólida y cariñosa; por las personas que me han rodeado a lo largo de mi vida estudiantil, personal y sentimental. Además a todas aquellas personas que han permitido que este proyecto se materialice, para poder seguir conquistando metas y propuestas mucho más complejas que aparentan ser difíciles.

De modo especial agradezco al ser que creyó en mí antes que yo mismo sepa de lo que era capaz en lograr; “alcanzar un triunfo con mis propias manos”, por ayudarme a construir el principio de un camino lleno de glorias y triunfos; Gracias Luis, hermano.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación está dedicado a todas aquellas personas que les importe verdaderamente el arte de las Matemáticas, que tengan curiosidad y se interesen en profundizar conocimientos novedosos, que aparentan ser complicados pero que únicamente nos retan a descubrirlos.

A la misma vez dedicarlo a mis hermanos, Bertha, Edison, Paúl, Luis, Miriam; de modo especial a mis padres María y José, y en forma cariñosa a mi sobrino Jéfferson.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Edmundo Caluña <b>DECANO FACULTAD DE CIENCIAS</b>	_____	_____
Dr. Richard Pachacama <b>DIRECTOR ESCUELA DE FISICA Y MATEMÁTICA</b>	_____	_____
Dr. Luis Vera <b>DIRECTOR DE TESIS</b>	_____	_____
Dr. Arquímedes Haro <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
Mat. Alberto Vilañez <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
Sr. Carlos Rodriguez <b>DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN</b>	_____	_____

NOTA DE LA TESIS ESCRITA.

\_\_\_\_\_

Yo, Darwin Medardo Padilla Silva soy el 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.

---

Darwin Medardo Padilla Silva

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ORGANIZACIÓN EN EL ESTUDIO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>15</b>
<b>1 TÉCNICAS DE DISEÑO EXPERIMENTAL APLICABLES A LOS ENSAYOS EN LA UNIDAD DE NEGOCIO PROPAGACIÓN. ....</b>	<b>15</b>
1.1 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	15
1.2 DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS.....	16
1.2.1 <i>Etapas del Diseño Estadístico de Experimentos.</i> .....	17
1.2.2 <i>Principios básicos.</i> .....	18
1.2.3 <i>Clasificación de los Diseños Experimentales.</i> .....	19
1.2.4 <i>Verificación de los supuestos.</i> .....	20
1.2.4.1 Normalidad .....	21
1.2.4.2 Varianza Constante .....	22
1.2.4.3 Independencia .....	24
1.3 CLASIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS .....	25
1.3.1 <i>Diseño Completamente al Azar (DCA).</i> .....	25
1.3.2 <i>Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA).</i> .....	28
1.3.3 <i>Diseño Factorial.</i> .....	31
1.3.3.1 Experimento con dos factores.....	31
1.3.3.2 Experimento con tres factores. ....	34

<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>38</b>
<b>2 CARACTERÍSTICAS Y DIVISIÓN DE “HILSEA INVESTMENTS LTD. GRUPO ESMERALDA ECUADOR”</b> .....	<b>38</b>
2.1 HILSEA INVESTMENTS LTD. GRUPO ESMERALDA ECUADOR .....	38
2.2 UNIDAD DE NEGOCIO PROPAGACIÓN. ....	41
2.2.1 <i>Propagación Plantas Madres.</i> .....	45
2.2.2 <i>Propagación Flores de Verano.</i> .....	47
2.2.3 <i>Propagación Rosas.</i> .....	49
2.2.4 <i>Propagación Bulbos y Lisianthus.</i> .....	52
2.2.5 <i>Propagación de Manejo Integrado de Plagas y Costos.</i> .....	54
2.3 PROBLEMA DE LAS ÁREAS DE ULP. ....	56
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>57</b>
<b>3 APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DISEÑO EXPERIMENTAL A LOS ENSAYOS DE PROPAGACIÓN.</b> .....	<b>57</b>
3.1 APLICACIÓN DEL DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR.....	57
3.1.1 <i>Aplicación de Micorrizas en distintos cultivos.</i> .....	57
3.1.1.1 <i>Aplicación de Micorrizas en Ammi Majus.</i> .....	58
3.1.2 <i>Hidratación con diferentes sustancias a la variedad de semilla de Ammi Majus</i> .....	67
3.2 APLICACIÓN DEL DISEÑO DE BLOQUES COMPLETAMENTE AL AZAR .....	73
3.3 APLICACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL .....	73
3.3.1 <i>Aplicación de Hormona líquida en distintas edades del esqueje.</i> .....	74
3.3.2 <i>Hidratación y temperatura de almacenamiento de la Molucella.</i> .....	79
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>83</b>
<b>4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>83</b>
4.1 CONCLUSIONES .....	83
4.2 RECOMENDACIONES .....	84
<b>RESUMEN</b> .....	<b>85</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>86</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>87</b>
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADAS Y MANUAL DEL USUARIO</b> .....	<b>88</b>
MANUAL DE USUARIO.....	89
<i>Introducción</i> .....	89

<i>Empezar a trabajar con un diseño experimental adecuado</i> .....	90
<i>Pantalla de acceso</i> .....	91
<i>Entrar datos</i> .....	92
<i>Introducción al manejo de datos: Borrar e insertar</i> .....	93
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR</b> .....	94
<i>Datos considerando un solo factor</i> .....	94
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DISEÑO DE BLOQUES COMPLETAMENTE AL AZAR</b> .....	98
<i>Datos considerando dos factores (Two-Way)</i> .....	98
<i>Test de Igualdad de varias varianzas</i> .....	101
<b>DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIALES</b> .....	102
<i>Selección del plan de experimentación utilizando un diseño factorial</i> .....	102
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE UN DISEÑO FACTORIAL</b> .....	104
<i>Cálculo de los efectos y selección de los significativos</i> .....	104
<i>Gráficos para los efectos principales y las interacciones</i> .....	105
<i>Ejemplo</i> .....	106
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>114</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.- Diseño Completamente al Azar</i>	26
<i>Tabla 2.- ANOVA del DCA</i>	27
<i>Tabla 3.- Diseño en Bloques Completamente al Azar</i>	28
<i>Tabla 4.- ANOVA del Diseño de Bloques Completamente al Azar</i>	29
<i>Tabla 5.- Diseño Factorial para 2 factores con varios niveles.</i>	33
<i>Tabla 6.- ANOVA del Diseño Factorial con dos Factores.</i>	34
<i>Tabla 7.- ANOVA del Diseño Factorial con tres Factores.</i>	37
<i>Tabla 8.- Unidades de Negocio del Grupo.</i>	39
<i>Tabla 9.- Aplicación de Micorrizas</i>	58
<i>Tabla 10.- Datos de las plantas testigo.</i>	59
<i>Tabla 11.- Masas radiculares medidas en gramos.</i>	61
<i>Tabla 12.- Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la normalidad.</i>	63
<i>Tabla 13.- Número de semillas germinadas de un total de 30 por celda</i>	67
<i>Tabla 14.- Número de semillas germinadas con su porcentaje</i>	68
<i>Tabla 15.- Tabla del ANOVA</i>	70
<i>Tabla 16.- Germinación promedio en semillas y porcentaje ordenados ascendentemente.</i>	70
<i>Tabla 17.- Diferencias consecutivas entre medias.</i>	71
<i>Tabla 18.- Tabla de diferencias</i>	71
<i>Tabla 19.- Datos de diseño factorial 2k</i>	75
<i>Tabla 20.- Masa radicular medida en gramos.</i>	75
<i>Tabla 21.- ANOVA del Diseño Factorial.</i>	76
<i>Tabla 22.- ANOVA modificado del Diseño Factorial.</i>	78
<i>Tabla 23.- Porcentajes de Germinación.</i>	80
<i>Tabla 24.- ANOVA completo del experimento factorial.</i>	81
<i>Tabla 25.- ANOVA del experimento factorial sin la interacción.</i>	82

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.- Cumplimiento del supuesto de Normalidad	21
Gráfico 2.- Homocedasticidad.	22
Gráfico 3.- Grafica de la independencia	24
Gráfico 4.- Gráfico.-Mapa estratégico del Grupo Esmeralda	38
Gráfico 5.- Mapa de procesos de Propagación.	41
Gráfico 6.- Operatividad de Propagación	44
Gráfico 7.- Mapa de procesos de Plantas Madres.	45
Gráfico 8.- Mapa de procesos de Flores de Verano.	47
Gráfico 9.- Mapa de procesos Rosas.	49
Gráfico 10.- Mapa de procesos de Bulbos y Lisianthus.	52
Gráfico 11.- Mapa de procesos del MIP-C	54
Gráfico 12.- Mapa de procesos para pruebas y ensayos.	56
Gráfico 13.- Cumplimiento de los supuestos: a) y b) Normalidad, c) Independencia, d) Homocedasticidad	65
Gráfico 14.- Cumplimiento de los supuestos: a) y b) Normalidad, c) Homocedasticidad, d) Independencia.	69
Gráfico 15.- Diagramas de Caja y bigote para el porcentaje de Germinación.	72
Gráfico 16.- Cumplimiento de los supuestos: a) y b) Normalidad, c) Homocedasticidad, d) Independencia.	76
Gráfico 17.- Diagrama de Pareto de los factores de la masa radicular.	77
Gráfico 18.- Porción por millón vs. edad del esqueje.	77
Gráfico 19.- Cubo de los factores con sus niveles.	78
Gráfico 20.- Cumplimiento de los supuestos: a) y b) Normalidad, c) Homocedasticidad, d) Independencia.	81

## INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación se ha desarrollado en un campo industrial florícola donde es común hacer experimentos en los distintos procesos de los cuales depende el producto final como son las flores, estas pruebas tienen la intención de que al mover o hacer algunos cambios en los materiales, métodos o condiciones de operación de un proceso se pueda detectar, resolver o minimizar los problemas de baja calidad.

Sin embargo es frecuente que estas pruebas o experimentos se lo hagan sobre la marcha, a prueba y error, dependiendo muchas de las veces de la experiencia y la intuición, llegando a obtener resultados únicamente visibles, pues no se lleva un plan experimental adecuado que garantice una respuesta de las interrogantes planteadas y por este motivo llegar a tomar decisiones con resultados visibles por el desconocimiento de las técnicas aquí presentadas. El “Diseño Estadístico de Experimentos” es tan riguroso y confiable que a pesar de llevar experimentos a prueba y error, se logran mejoras. Sin embargo, no es suficiente llevar un experimento a prueba y error, por lo que es mejor proceder siempre en forma eficaz para que se garantice la obtención de las respuestas a las interrogantes planteadas, en un lapso corto de tiempo y utilizando el mínimo de recursos económicos.

El “Diseño Estadístico de Experimentos” es precisamente la forma eficaz de hacer pruebas en los procesos, ya que proporciona las técnicas y estrategias necesarias para llevar de manera eficaz los procesos a mejores condiciones de operación. Además que el “Diseño Estadístico de Experimentos” en su parte medular determina cuáles pruebas y cómo se deben realizar, para obtener datos que al analizarlos estadísticamente se obtengan conclusiones y para la toma de decisiones que deriven en mejoras del desempeño del proceso.

El capítulo uno presenta el estudio formal y describe varios modelos de “Diseño Estadístico de Experimentos” existentes y los supuestos que se deben cumplir para que los resultados sean válidos, además que teóricamente son aplicables a nuestro problema de mejora de productividad para distintos procesos y en varias etapas de la producción de flores.

El capítulo dos familiariza las áreas de estudio, actividades, productos, metodología y procesos que actualmente se utilizan en la producción de las distintas variedades de flores y fija los campos de aplicación del “Diseño Estadístico de Experimentos”.

El capítulo tres presenta la aplicación de las técnicas a utilizar, es decir ocupar los distintos modelos de “Diseño Estadístico de Experimentos” en la recepción, siembra o despacho de las flores producidas en la Unidad de Negocio Propagación, dependiendo mucho del interés que se tenga en un proceso puntual.

El cuarto capítulo trata de las conclusiones a las cuales se llegó con la investigación, que tendría que ver con la evaluación de resultados obtenidos. Además las debidas recomendaciones de acuerdo a los objetivos planteados y que se pretende alcanzar al inicio de la investigación.

Toda esta investigación esta complementada con la aplicación de modelos de “Diseño Estadístico de Experimentos” a través de un manual del usuario y utilización del software Minitab, con las distintas herramientas y resultados que arroja el software.

**TIPO DE INVESTIGACIÓN****Nivel de profundidad:**

Tipo inferencial

**Secuencia de estudio:**

Tipo transversal

**Tipo de datos:**

Cuantitativo

**Condición de estudio:**

Campo

**Utilización de conocimiento:**

Tipo aplicativo

**Rigurosidad del método aplicado:**

Experimental

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ORGANIZACIÓN EN EL ESTUDIO DEL DISEÑO  
EXPERIMENTAL**

**Fuente**            Técnica de Recolección de Datos:  
                          Tablillas de control

**Población**        Cultivos de la Unidad de Negocio PROPAGACIÓN  
**Objetivo:**        (El Quinche)

**Población:**  
Las 33 hectáreas de la Unidad de Negocio PROPAGACIÓN

**Marco muestral:**  
Bandejas de 80 plantas sembradas en los invernaderos.

**Las unidades muestrales:**  
Son las bandejas de 80 plantas

**Tipo de muestreo:**  
*Conglomerado y aleatorio de segundo nivel*

## CAPÍTULO I

### 1 TÉCNICAS DE DISEÑO EXPERIMENTAL APLICABLES A LOS ENSAYOS EN LA UNIDAD DE NEGOCIO PROPAGACIÓN.

#### 1.1 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

El nombre de *Análisis de Varianza* (ANOVA) viene del hecho de que se utilizan cocientes de varianzas para probar la hipótesis de igualdad de medias, esto quiere decir que es una técnica estadística que permite identificar diferencias, de existir, entre las medias de distintos grupos. Esta técnica es común utilizarla cuando se tiene que comparar dos o más medias aritméticas entre sí, cabe indicar que el *Análisis de Varianza* no permite que el error tipo I (probabilidad de aceptar que las medias son diferentes entre sí, cuando realmente no lo son) aumente al comparar un conjunto de grupos de tratamiento, como lo haría si hacemos una comparación dos a dos mediante una *Prueba t* para dos tratamientos. El *Análisis de Varianza* es empleado para determinar la probabilidad de que las diferencias en las medias entre varios grupos sean debidas meramente al error muestral y mas no al error aleatorio experimental. La lógica de un contraste en el *Análisis de Varianza* es bastante simple, se compara dos cálculos independientes de la varianza (esto dependiendo del modelo experimental que se esté aplicando) para la variable independiente: uno refleja la variabilidad existente dentro de los grupos (Suma de Cuadrados del Error, SCE) y otro que representa la variabilidad existente entre los grupos que se atribuyen a los efectos del tratamiento (Suma de Cuadrados del Tratamiento, SCTRAT). Estas varianzas se detallarán con mayor énfasis en el estudio formal de los distintos Análisis de Varianza pertenecientes a cada uno de los modelos a estudiar en los diferentes Diseños Estadísticos de Experimentos.

## 1.2 DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

El Diseño Estadístico de Experimentos es una de las técnicas que se usa en el campo industrial y muchas de las veces no se tiene presente, por ejemplo, cuando se hace el cambio de un tipo de sustrato en una variedad de planta en particular porque se observó un mejor resultado en la germinación final de dicha variedad, donde la mayoría de veces se limita a llevar resultados visuales y dejando de lado el estudio técnico - científico que se encuentra detrás de lo realizado.

La mayoría de veces esto ocurre por el desconocimiento de las técnicas matemáticas y tras de la experiencia alcanzada mediante la experimentación, de aquí el poderío de Diseño Estadístico de Experimentos porque sin llevar un plan adecuado o un proceso sistemático del control de los cambios realizados en los distintos factores del proceso de obtención del producto final, se llega a conclusiones y mejoras en la obtención del producto final, sin embargo dichos resultados no siempre son los más aceptables por una serie de acontecimientos y no cumplimiento de los supuestos que deben ser establecidos para poder dar un criterio válido, además otra deficiencia de no aplicar esta técnica es que no se llega a comprender el proceso de obtención del producto final.

Entonces en un concepto formal tendríamos que: “El Diseño Estadístico de Experimentos es la planeación de un conjunto de pruebas experimentales, cuyo objetivo es la obtención de datos que se puedan analizar estadísticamente y así poder obtener conclusiones válidas del sistema o proceso en estudio para así poder mejorarlas”.



### 1.2.1 Etapas del Diseño Estadístico de Experimentos.

Lo importante de un Diseño Estadístico de Experimentos es saber de antemano cuales son los factores que se desean controlar y cuantas repeticiones son las adecuadas para obtener una muestra representativa, de tal manera que se obtenga la máxima información al mínimo de costo. Un diseño experimental es algo más que un conjunto de condiciones de prueba; más bien es una secuencia de etapas o actividades que deben cumplirse para alcanzar los objetivos que se persiguen. Básicamente las etapas del Diseño Estadístico de experimentos son: la planeación, análisis, interpretación y conclusiones finales.

- **Planeación:** Son todas y cada una de las actividades que están encaminadas a entender el problema, diseñar y realizar las pruebas experimentales adecuadas.
- **Análisis:** Determinar el modelo de Análisis de Varianza (ANOVA) o la técnica estadística que mejor describa el comportamiento de los datos.
- **Interpretación:** En esta parte se debe ir mas allá del análisis estadístico formal; se debe analizar con detalle lo que ha ocurrido en el experimento; contrastar las hipótesis iniciales con los resultados obtenidos; observar los nuevos aprendizajes del proceso, verificar los supuestos y elegir el mejor tratamiento.
- **Conclusiones** finales: Consiste en decidir qué medidas implementar para generalizar el resultado del estudio y garantizar que las mejoras se mantengan. Además de presentar y difundir los logros a las personas que trabajan directamente en el proceso.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Tomado de GUTIÉRREZ Humberto y DE LA VARA Román, *Análisis y Diseño de Experimentos*.

Existen distintos modelos de Diseño Estadístico de Experimentos, los cuales se describirán mas adelante; estos dependen del número de factores en estudio, la búsqueda de interacción entre ellos.

### 1.2.2 Principios básicos.

El Diseño Estadístico de Experimentos trata esencialmente de fenómenos que son observables y repetibles, por ende se debe tener mucho cuidado en la planeación y análisis de un experimento, por el hecho de que al ser los experimentos observables y repetibles, estos conceptos por naturaleza se contradicen entre sí.

Cualquier cosa observada se aprecia con variabilidad; es decir, nada ocurre de la misma forma dos veces, incluso mediciones del mismo evento varían. Es por esto que el punto de partida para una planeación es aplicar los principios básicos del Diseño Estadístico de Experimentos, como son la aleatorización, repetición y bloqueo.

- **Aleatorización:** Consiste en hacer corridas experimentales en orden aleatorio; este principio aumenta la posibilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla.
- **Repetición:** Es correr mas de una vez un tratamiento o un conjunto de factores dados, el cual permite distinguir que parte de la variabilidad total de los datos se debe al error aleatorio y cual a los factores. Se debe tener cuidado con confundir este concepto con el de medir varias veces el mismo artículo o producto fabricados en una misma combinación de factores.
- **Bloqueo:** Es nulificar o tomar en cuenta en forma adecuada todos los factores que pueden afectar la respuesta observada.

Además, los 3 principios anteriores permitirán que se cumplan los supuestos necesarios para un correcto análisis de datos en los diseños, los mismos que se presentan más adelante.

### 1.2.3 Clasificación de los Diseños Experimentales.

Existen una gran variedad de Diseño Estadístico de Experimentos los cuales han ido surgiendo con la necesidad de poder controlar y estudiar el sin número de fenómenos, problemas o situaciones que ocurren en la práctica. Por esta razón es necesario saber qué Diseño Estadístico de Experimentos es el adecuado para el problema que se desea resolver. Existen cinco criterios que influyen para la determinación de un Diseño Estadístico de Experimentos correcto para el fenómeno en estudio:

1. El objetivo del experimento.
2. El número de factores a controlar.
3. El número de niveles que se prueba en cada factor.
4. Los efectos que interesan controlar (relación factores–respuesta, llamado interacción).
5. El costo del experimento tiempo y precisión deseada.

Los cinco puntos mencionados anteriormente no son independientes entre sí, pero es importante señalarlos de manera separada, puesto que al cambiar uno de ellos cambia el diseño experimental. En el siguiente cuadro sinóptico se muestra de manera resumida la aplicación de los diseños:

1.- Diseños para comparar dos o más tratamientos	}	Diseño completamente al azar
		Diseño de bloques completos al azar
		Diseño en cuadrado Latino y Grecolatino
2.- Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre una o más variables de respuesta	}	Diseños factoriales $2^k$
		Diseños factoriales $3^k$
		Diseños factoriales fraccionados $2^{k-p}$

Los diseños mencionados anteriormente son los que se van a utilizar y los que caen dentro de nuestra área de investigación.

#### 1.2.4 Verificación de los supuestos.

La validez para las conclusiones a las cuales se llegue a través de un correcto *Análisis de Varianza* (ANOVA) se encuentran sujetas al cumplimiento de los 3 supuestos. Los supuestos que deben cumplirse son los siguientes: normalidad, varianza constante (Homocedasticidad) e independencia. Esto es, la variable respuesta  $Y$  debe provenir de una población con distribución normal o una buena aproximación que todos los tratamientos posean una varianza homogénea (igual) entre ellas y las mediciones deben ser independientes entre sí.

Todos los supuestos presentados anteriormente se traducen a los supuestos analizados dentro del error ( $\epsilon$ ) de 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 mucho más exacto del modelo que se está ocupando. De aquí que se debe cumplir lo siguiente:

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  $\delta^2$

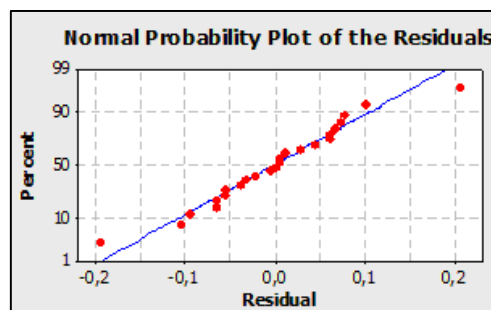
Para cada uno de los supuestos existen pruebas analíticas y gráficas. Si se tienen pocos datos es razonable utilizar las pruebas gráficas ya que son mucho más confiables que las pruebas analíticas puesto que estas últimas pierden su potencia

de confiabilidad cuando no se posee un número razonable de datos perteneciente a la información de la variable en estudio.

#### 1.2.4.1 Normalidad

Se dice que existe normalidad en los datos cuando al ser graficados los residuos se observe claramente que tienden a estar colocados en la gráfica 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 (los datos provienen de una población con distribución normal). El ajuste de los puntos no debe ser perfecto dado que el ANOVA resiste pequeñas desviaciones al supuesto de normalidad. Para obtener la gráfica de la normalidad se debe realizar lo siguiente:

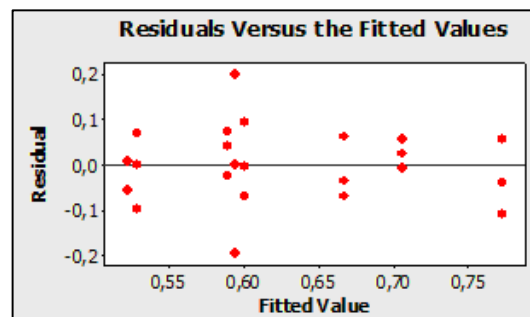
1. Ordenar los  $N$  valores del menor al mayor y asignarles rangos de 1 a  $N$ . Sean  $r_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , los rangos de los datos en orden creciente.
2. Calcular  $\frac{(i-0.5)}{N}$  y luego sean  $Z_i$  los valores tabulados de la distribución normal estándar con los valores calculados.
3. Graficar los residuos de los datos en el eje de las  $X$  y los  $Z_i$  en el eje de las  $Y$ .



**Gráfico 1.- Cumplimiento del supuesto de Normalidad**

### 1.2.4.2 Varianza Constante

Para determinar que la varianza no sea significativamente diferente se grafica los predichos contra los residuos ( $\hat{Y}_{ij}$  vs.  $e_{ij}$ ), generalmente  $\hat{Y}_{ij}$  va en el eje de las X (horizontal) y los residuos en el eje vertical. Si los puntos graficados de la manera indicada anteriormente se distribuyen en manera aleatoria a lo largo de una banda, entonces es una clara señal de que los tratamientos tienen igual varianza. Por el contrario si se distribuyen dando a conocer algún patrón claro y contundente de “corneta o embudo” los datos no cumplirían con este supuesto. Otra gráfica que ayuda a la visualización del cumplimiento de este supuesto es cuando se grafica los niveles de un factor en el eje horizontal contra los residuos correspondientes a cada nivel del factor en el eje vertical, se cumple con el supuesto de igualdad de varianzas cuando la amplitud de la dispersión de los puntos en cada nivel del factor tienden a ser similares. Si existen diferencias fuertes entre esta amplitud es suficiente evidencia para que no se cumpla con el supuesto.



**Gráfico 2.- Homocedasticidad.**

Un método analítico para comparar la igualdad de varianzas es el método de Bartlett que se describe a continuación:

Supongamos que tenemos  $k$  poblaciones o tratamientos los cuales son independientes, cada uno con distribución normal ( $(N(\mu_i; \sigma_i^2), i = 1, 2, \dots, k)$ ), donde las varianzas son desconocidas.

La hipótesis a probar sería:

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

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

De tal modo que el total de mediciones es  $N = n_1 + n_2 + \dots + n_k$ . El estadístico de prueba para la hipótesis está dado por:

$$\chi_0^2 = 2.3026 \frac{q}{c}$$

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

y 
$$c = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left( \sum_{i=1}^k (n_i - 1)^{-1} - (N - k)^{-1} \right) \quad \text{con} \quad S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2}{N - k}$$

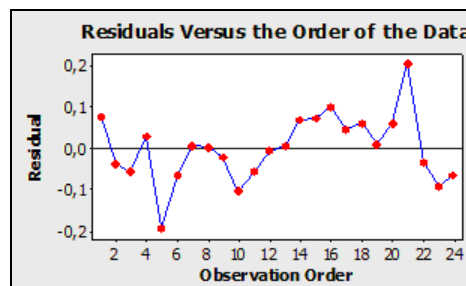
Donde  $S_i^2$  es la varianza muestral del tratamiento  $i$ . Bajo la hipótesis nula de la igualdad de varianzas, el estadístico  $\chi_0^2$  sigue una distribución ji-cuadrada con  $k-1$  grados de libertad, por lo que se rechaza  $H_0$  cuando  $\chi_0^2$  es más grande que  $\chi_{(\alpha, k-1)}^2$ . Cabe indicar que esta prueba es sensible a la falta de normalidad de los datos, así que se debe verificar primero el cumplimiento de este supuesto antes de emitir cualquier criterio.

### 1.2.4.3 Independencia

La suposición de independencia en la independencia en los residuos puede verificarse si se grafica el orden en el que se colectó los datos vs. el residuo correspondiente.

Si al graficar en el eje horizontal el tiempo (orden de corrida) y en el eje vertical los residuos, se detectara un una tendencia o patrón no aleatorio claramente definido, entonces es evidencia de que existe una correlación entre los errores y por tanto el supuesto de independencia no se cumple. Por el contrario si el comportamiento de los puntos graficados se desplaza de modo aleatorio sobre una banda horizontal es evidencia de que se está cumpliendo con este supuesto.

Una de las principales causas cuando no se cumple con este supuesto indica deficiencias en la planeación y ejecución del experimento, además que no se está utilizando de manera adecuada el principio de aleatorización.



**Gráfico 3.- Grafica de la independencia**

Una prueba analítica para verificar la independencia entre residuos consecutivos es la prueba de Durbin-Watson, sin embargo existe el problema esta prueba no es



capaz de detectar otros patrones de correlación entre residuos (no consecutivos) que también son violatorios del supuesto de independencia.

### 1.3 CLASIFICACIÓN DEL DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

#### 1.3.1 Diseño Completamente al Azar (DCA).

Este diseño es el más sencillo de todos y por ese motivo en la mayor parte de investigaciones se usa y abusa de este Diseño Experimental, una debilidad de este diseño es que no proporciona demasiada información del proceso y únicamente evalúa un factor en dos o más niveles. Se lo llama *completamente al azar* porque todas las corridas se las realiza en orden aleatorio completo, ya que al no existir bloques (otros factores adicionales al estudiado), no existe ninguna restricción a la aleatorización. El objetivo de la aleatorización es el de repartir equitativamente los posibles efectos ambientales y temporales a todas y cada una de las observaciones de los distintos tratamientos.

Supongamos que tenemos  $k$  poblaciones, independientes y con medias desconocidas  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$  y varianzas también desconocidas pero se suponen iguales  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$ . Las poblaciones pudieran ser  $k$  métodos de producción,  $k$  tratamientos,  $k$  grupos, etc. y sus medias no son mas que el promedio de todos los datos que caen dentro de cada uno de los tratamientos.

El modelo matemático de un Diseño Completamente al Azar es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde  $\mu$  es el parámetro de escala común a todos los tratamientos, llamado media global, además  $\tau_i$  es un parámetro que mide el efecto del tratamiento  $i$  y  $\varepsilon_{ij}$  es el error aleatorio (más el error experimental) atribuible a la medición  $Y_{ij}$ .

Se considera que este modelo es muy general por considerar solo dos fuentes de variabilidad: los *tratamientos* y el *error aleatorio*.

Un modo de arreglar un Diseño experimental Completamente al Azar sería:

Tratamientos				
$T_1$	$T_2$	$T_3$	...	$T_k$
$Y_{11}$	$Y_{21}$	$Y_{31}$	...	$Y_{k1}$
$Y_{12}$	$Y_{22}$	$Y_{32}$	...	$Y_{k2}$
$Y_{13}$	$Y_{23}$	$Y_{33}$	...	$Y_{k3}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$Y_{1n_1}$	$Y_{2n_2}$	$Y_{3n_3}$	...	$Y_{kn_k}$

**Tabla 1.- Diseño Completamente al Azar**

Las hipótesis a probar para este diseño serían las siguientes:

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

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

La interpretación de las hipótesis se daría de la siguiente manera; si se cumple con la hipótesis nula ( $H_0$ ) se determina que no existe diferencia estadística entre las medias, mientras que al cumplirse con la hipótesis alternativa ( $H_A$ ) la interpretación es que existe una diferencia estadística significativa entre al menos dos de las  $n$  medias pertenecientes a los  $n$  tratamientos en estudio.

Ahora conozcamos el cuadro del Análisis de Varianza para el diseño presentado:

FUENTE DE VARIABILIDAD	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADO	VALOR P
TRATAMIENTO	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{y}_{i\cdot} - \bar{y}_{\cdot\cdot})^2$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
ERROR	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
TOTAL	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{\cdot\cdot})^2$	$N - 1$			

**Tabla 2.- ANOVA del DCA**

- donde
- $n_i$  = Tamaño de la muestra del  $i$ -ésimo tratamiento.
  - $y_{ij}$  = La observación del tratamiento  $i$  con la observación  $j$ .
  - $\bar{y}_{i\cdot}$  = Promedio de las observaciones del tratamiento  $i$ .
  - $\bar{y}_{\cdot\cdot}$  = Promedio global de todas las observaciones.
  - $k$  = Total de tratamientos del experimento.
  - $N$  = Suma de las  $n_i$  muestras de todos los tratamientos.

Donde la hipótesis alternativa se acepta si el  $F$  calculado es mayor que el  $F$  tabulado, este último depende de los mismos grados de libertad que el  $F$  calculado y con una significancia que puede ser fijado por el investigador. Si sucede lo contrario, es decir, el  $F$  calculado es inferior al tabulado, se acepta la hipótesis nula.

Otra debilidad de este diseño experimental es que de existir diferencia entre las medias (aceptar la hipótesis alternativa), no determina cuál(es) de esta(s) es(son) la(s) que se diferencia(n) y cuál(es) no. Un investigador después de determinar si las medias son estadísticamente diferentes está interesado en saber cuales de estas son las mayores y/o menores para así poder tomar decisiones dependiendo del

fenómeno en estudio. Para este tipo de determinaciones se puede utilizar otra técnica estadística como es el Método de Tukey. Prueba que será utilizada más adelante.

### 1.3.2 Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA).

Este diseño es más específico, pues al menos toma en cuenta 3 fuentes de variabilidad los cuales no deben interactuar entre sí, las 3 fuentes son el factor de *tratamientos*, el factor de *bloques* y el *error aleatorio*, es decir, tiene 3 posibles culpables de la variabilidad presentada en los tratamientos. La palabra completo en el diseño se debe a que en cada bloque se prueban todos los tratamientos. La aleatorización se la realiza dentro de cada bloque. El arreglo de los datos y como se pueden presentar en un diseño de este tipo sería el siguiente:

	Bloques					
		1	2	3	...	B
Tratamientos	1	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	...	$Y_{1b}$
	2	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	...	$Y_{2b}$
	3	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{33}$	...	$Y_{3b}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	k	$Y_{k1}$	$Y_{k2}$	$Y_{k3}$	...	$Y_{kb}$

**Tabla 3.- Diseño en Bloques Completamente al Azar**

El modelo estadístico para este diseño está dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij}; \begin{cases} i = 1, 2, \dots, k \\ j = 1, 2, \dots, b \end{cases}$$

donde  $Y_{ij}$  es la medición que corresponde al tratamiento  $i$  y al bloque  $j$ ;  $\mu$  es la media global poblacional;  $\tau_i$  es el efecto debido al tratamiento  $i$ ,  $\gamma_j$  es debido al efecto del bloque  $j$ , y  $\varepsilon_{ij}$  es el error aleatorio atribuible a la medición  $Y_{ij}$ . Cabe indicar que este modelo está sujeto a las suposiciones iniciales (igualdad de varianzas, independencia y normalidad).

Las hipótesis a probar al igual que en el diseño anterior es:

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

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

Esta hipótesis permite la afirmación de que la respuesta media poblacional lograda con cada tratamiento es la misma para los  $k$  tratamientos. De donde se llega a determinar el ANOVA que sirve para este análisis en este diseño y se lo presenta a continuación:

FUENTE DE VARIABILIDAD	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADO	VALOR P
TRATAMIENTO	$SC_{TRAT} = b \sum_{i=1}^k (\bar{y}_{i\cdot} - \bar{y}_{\cdot\cdot})^2$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
BLOQUES	$SC_B = k \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{\cdot j} - \bar{y}_{\cdot\cdot})^2$	$b - 1$	$CM_B = \frac{SC_B}{b - 1}$	$\frac{CM_B}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
ERROR	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT} - SC_B$	$(k - 1)(b - 1)$	$CM_E = \frac{SC_E}{(b - 1)(k - 1)}$		
TOTAL	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y}_{\cdot\cdot})^2$	$bk - 1$			

**Tabla 4.- ANOVA del Diseño de Bloques Completamente al Azar**

donde:  $b =$  Total de bloques aleatorizados.  
 $k =$  Total de tratamientos.  
 $\bar{y}_{i\cdot} =$  Promedio de las observaciones del tratamiento  $i$ .  
 $\bar{y}_{\cdot j} =$  Promedio de las observaciones para el bloque  $j$ .  
 $\bar{y}_{\cdot\cdot} =$  Promedio global de todas las  $bk$  observaciones.

En este diseño experimental, la hipótesis nula se acepta si la  $F$  calculada es inferior a la  $F$  tabulada, la cual es hallada con los mismos grados de libertad que la  $F$  calculada. La diferencia observada entre el ANOVA del Diseño de Bloques Aleatorizados y el diseño anterior (Completamente al Azar) es que el presente diseño toma en cuenta los efectos del bloque y este se encuentra en el segundo reglón de la tabla del ANOVA, con lo que se probarán las siguientes hipótesis:

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \dots = \gamma_b = 0$$

$$H_A : \gamma_j \neq 0 \text{ para algún bloque } j,$$

En el caso de aceptar la hipótesis nula se determina que el efecto del bloque no es estadísticamente significativo para determinar que por esta razón varíe la variable respuesta de donde se tiene el argumento a favor de no controlar este factor en futuros experimentos sobre la misma variable en estudio. Por lo contrario si resulta significativamente diferente implica que el bloque tiene influencia sobre la variable respuesta, y debe ser tomado en cuenta para mejorar la calidad de ésta. Otro supuesto adicional que debe cumplir este tipo de diseño es que no debe existir interacción entre el bloque y el factor de tratamientos. Cuando este supuesto no se cumple, la variabilidad debida a la interacción se incorpora como parte del error, que al ser artificialmente grande enmascara el efecto de los tratamientos. Una manera de determinar la interacción existente entre el bloque y el factor es aplicar un diseño factorial  $b \times k$  con el cual se pueden estudiar los efectos de bloque y de interacción de ambos factores.

### 1.3.3 Diseño Factorial.

El objetivo de un Diseño Factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas o características de calidad, dicho de otra manera busca estudiar la relación entre los factores y la respuesta, con la finalidad de conocer cómo es esta relación y generar conocimiento que permita toma acciones y decisiones que mejoren el desempeño del proceso en estudio. A través de este diseño se puede determinar una combinación de niveles de factores en la cual el desempeño del proceso sea mejor que en condiciones de operación actuales y por ende se pueda disminuir o incluso eliminar problemas de calidad en la variable de salida. Otra ventaja de este diseño es que las variables de entrada en los factores pueden ser del tipo cualitativas (máquinas, operador, tipo de material, etc.) y/o cuantitativas (temperatura, humedad, velocidad, etc.).

#### 1.3.3.1 Experimento con dos factores.

Una característica que siempre se debe cumplir el diseño factorial de dos factores es que deben existir exactamente dos tratamientos para el análisis de dichos factores, en cada uno de los factores de prueba pueden existir dos o mas niveles, siendo independiente el número de niveles de uno u otro factor, un caso muy puntual y utilizado con mayor frecuencia es el diseño  $2^2$ , por comparar el proceso que comúnmente se utiliza versus un proceso nuevo que se desee probar.

El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} ;$$

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

sobre la que imponemos las restricciones por ser contrastes:

$$\sum_{i=1}^a \alpha_i = \sum_{j=1}^b \beta_j = 0 \quad \text{y} \quad \sum_{i=1}^a (\alpha\beta)_{ij} = \sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

donde  $\mu$  es la media general,  $\alpha_i$  es el efecto debido al  $i$ -ésimo nivel del factor A,  $\beta_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor B,  $(\alpha\beta)_{ij}$  representa el efecto de interacción en la combinación  $ij$  y  $\varepsilon_{ijk}$  es el error aleatorio que supone sigue una distribución con media cero y varianza constante  $(N(0, \sigma^2))$  y son independientes entre sí.

Las tres hipótesis a probar son las siguientes:

1.  $H_0'$ :  $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$   
 $H_1'$ : Al menos una de las  $\alpha_i$  no es igual a cero
  
2.  $H_0''$ :  $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$   
 $H_1''$ : Al menos una de las  $\beta_j$  no es igual a cero
  
3.  $H_0'$ :  $(\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ab} = 0$   
 $H_1'$ : Al menos una de las  $(\alpha\beta)_{ij}$  no es igual a cero

A continuación presentamos una manera en la cual se puede representar los datos de un diseño de este tipo:



<b>A</b>	<b>B</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>...</b>	<b>b</b>	<b>Total</b>	<b>Media</b>
<b>1</b>		$y_{111}$	$y_{121}$	$\dots$	$y_{1b1}$	$Y_{1\bullet\bullet}$	$\bar{y}_{1\bullet\bullet}$
		$y_{112}$	$y_{122}$	$\dots$	$y_{1b2}$		
		$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		
		$y_{11n}$	$y_{12n}$	$\dots$	$y_{1bn}$		
<b>2</b>		$y_{211}$	$y_{221}$	$\dots$	$y_{2b1}$	$Y_{2\bullet\bullet}$	$\bar{y}_{2\bullet\bullet}$
		$y_{212}$	$y_{222}$	$\dots$	$y_{2b2}$		
		$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		
		$y_{21n}$	$y_{22n}$	$\dots$	$y_{2bn}$		
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
		$y_{a11}$	$y_{a21}$	$\dots$	$y_{ab1}$	$Y_{a\bullet\bullet}$	$\bar{y}_{a\bullet\bullet}$
		$y_{a12}$	$y_{a22}$	$\dots$	$y_{ab2}$		
		$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		
	$y_{a1n}$	$y_{a2n}$	$\dots$	$y_{abn}$			
<b>Total</b>		$Y_{\bullet 1\bullet}$	$Y_{\bullet 2\bullet}$	$\dots$	$Y_{\bullet b\bullet}$	$Y_{\bullet\bullet\bullet}$	
<b>Media</b>		$\bar{y}_{\bullet 1\bullet}$	$\bar{y}_{\bullet 2\bullet}$	$\dots$	$\bar{y}_{\bullet b\bullet}$		$\bar{y}_{\bullet\bullet\bullet}$

**Tabla 5.- Diseño Factorial para 2 factores con varios niveles.**

Para hallar el Análisis de Varianza se lo realizará mediante las siguientes identidades

$$SC_A = bn \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i\bullet\bullet} - \bar{y}_{\bullet\bullet\bullet})^2$$

$$SC_E = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y}_{ij\bullet})^2$$

$$SC_B = an \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{\bullet j\bullet} - \bar{y}_{\bullet\bullet\bullet})^2$$

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y}_{\bullet\bullet\bullet})^2$$

$$SC_{AB} = n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{ij\bullet} - \bar{y}_{i\bullet\bullet} - \bar{y}_{\bullet j\bullet} + \bar{y}_{\bullet\bullet\bullet})^2$$

Para completar el Análisis de Varianza tenemos la siguiente tabla:

FUENTE DE VARIABILIDAD	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADO	VALOR P
A	$SC_A$	$a - 1$	$CM_A = \frac{SC_A}{a - 1}$	$\frac{CM_A}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
B	$SC_B$	$b - 1$	$CM_B = \frac{SC_B}{b - 1}$	$\frac{CM_B}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Interacción de dos factores					
AB	$SC_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$CM_{AB} = \frac{SC_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{CM_{AB}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
ERROR	$SC_E$	$ab(n - 1)$	$CM_E = \frac{SC_E}{ab(n - 1)}$		
TOTAL	$SC_T$	$abn - 1$			

**Tabla 6.- ANOVA del Diseño Factorial con dos Factores.**

El análisis presentado anteriormente sirve para hallar la relación existente entre 2 factores únicamente, ya sea que estos factores tengan 2 o más niveles.

Al igual que en el caso anterior presentamos el modelo factorial  $2^3$ , es decir 3 factores y como mínimo 2 niveles.

### 1.3.3.2 Experimento con tres factores.

En un diseño factorial de este tipo se consideran 3 factores (A, B y C) y con sus respectivos niveles  $a$ ,  $b$  y  $c$ , para mayor comprensión se presenta el modelo estadístico es el siguiente:

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

$$i = 1, 2, \dots, a; \quad j = 1, 2, \dots, b; \quad k = 1, 2, \dots, c \quad \text{y} \quad l = 1, 2, \dots, n$$

donde  $\alpha_i$ ,  $\beta_j$  y  $\gamma_k$  son los efectos principales;  $(\alpha\beta)_{ij}$ ,  $(\alpha\gamma)_{ik}$  y  $(\beta\gamma)_{jk}$  son los efectos de interacción de dos factores cuya interpretación es la misma que cuando se tiene dos factores. El término  $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$  se llama **efecto de interacción de tres factores**, término que representa una no aditividad de las  $(\alpha\beta)_{ij}$  sobre los diferentes niveles de factor. Como en el caso anterior la sumatoria de los contrastes debe ser igual a cero. Cabe recalcar que para este diseño se necesita que se cumplan con los supuestos de normalidad, independencia e igualdad de varianza.

La suma de cuadrados para este diseño son las siguientes identidades:

$$\begin{aligned}
 SC_A &= bcn \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i\dots} - \bar{y}_{\dots})^2 & SC_{AB} &= cn \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{ij\dots} - \bar{y}_{i\dots} - \bar{y}_{\cdot j\dots} + \bar{y}_{\dots})^2 \\
 SC_B &= acn \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{\cdot j\dots} - \bar{y}_{\dots})^2 & SC_{AC} &= bn \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{i\cdot k\dots} - \bar{y}_{i\dots} - \bar{y}_{\cdot\cdot k\dots} + \bar{y}_{\dots})^2 \\
 SC_C &= abn \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{\cdot\cdot k\dots} - \bar{y}_{\dots})^2 & SC_{BC} &= an \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{\cdot jk\dots} - \bar{y}_{\cdot j\dots} - \bar{y}_{\cdot\cdot k\dots} + \bar{y}_{\dots})^2 \\
 SC_{ABC} &= n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{ijk\dots} - \bar{y}_{ij\dots} - \bar{y}_{i\cdot k\dots} - \bar{y}_{\cdot jk\dots} + \bar{y}_{i\dots} + \bar{y}_{\cdot j\dots} + \bar{y}_{\cdot\cdot k\dots} - \bar{y}_{\dots})^2 \\
 SC_T &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n (y_{ijkl} - \bar{y}_{\dots})^2 & SC_E &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n (y_{ijkl} - \bar{y}_{ijk\dots})^2
 \end{aligned}$$

donde:

$\bar{y}_{\dots}$  = promedio de todas las  $abcn$  observaciones.

$\bar{y}_{i\dots}$  = promedio de las observaciones para el  $i$ -ésimo nivel del factor A.

$\bar{y}_{\cdot j \cdot \cdot}$  = promedio de las observaciones para el *j-ésimo* nivel del factor B.

$\bar{y}_{\cdot \cdot k \cdot}$  = promedio de las observaciones para el *k-ésimo* nivel del factor C.

$\bar{y}_{ij \cdot \cdot}$  = promedio de las observaciones para el *i-ésimo* nivel del factor A y *j-ésimo* nivel del factor B.

$\bar{y}_{i \cdot k \cdot}$  = promedio de las observaciones para el *i-ésimo* nivel del factor A y *k-ésimo* nivel del factor C.

$\bar{y}_{\cdot j k \cdot}$  = promedio de las observaciones para el *j-ésimo* nivel del factor B y *k-ésimo* nivel del factor C

$\bar{y}_{ijk \cdot}$  = promedio de las observaciones para el *ijk-ésima* combinación de tratamientos.

En la siguiente tabla se resume el análisis de varianza para un problema de tres factores con *n* corridas replicadas en cada combinación de factor.

FUENTE DE VARIABILIDAD	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADO
<b>A</b>	$SC_A$	$a - 1$	$CM_A = \frac{SC_A}{a - 1}$	$\frac{CM_A}{CM_E}$
<b>B</b>	$SC_B$	$b - 1$	$CM_B = \frac{SC_B}{b - 1}$	$\frac{CM_B}{CM_E}$
<b>C</b>	$SC_C$	$c - 1$	$CM_C = \frac{SC_C}{c - 1}$	$\frac{CM_C}{CM_E}$
Interacción de dos factores				
<b>AB</b>	$SC_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$CM_{AB} = \frac{SC_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{CM_{AB}}{CM_E}$
<b>AC</b>	$SC_{AC}$	$(a - 1)(c - 1)$	$CM_{AC} = \frac{SC_{AC}}{(a - 1)(c - 1)}$	$\frac{CM_{AC}}{CM_E}$
<b>BC</b>	$SC_{BC}$	$(b - 1)(c - 1)$	$CM_{BC} = \frac{SC_{BC}}{(b - 1)(c - 1)}$	$\frac{CM_{BC}}{CM_E}$
Interacción de tres factores				
<b>ABC</b>	$SC_{BC}$	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	$CM_{ABC} = \frac{SC_{ABC}}{(a - 1)(b - 1)(c - 1)}$	$\frac{CM_{ABC}}{CM_E}$
<b>ERROR</b>	$SC_E$	$abc(n - 1)$	$CM_E = \frac{SC_E}{abc(n - 1)}$	
<b>TOTAL</b>	$SC_T$	$abcn - 1$		

**Tabla 7.- ANOVA del Diseño Factorial con tres Factores.**

## CAPÍTULO II

### 2 CARACTERÍSTICAS Y DIVISIÓN DE “HILSEA INVESTMENTS LTD. GRUPO ESMERALDA ECUADOR”.



Gráfico 4.- Gráfico.-Mapa estratégico del Grupo Esmeralda

#### 2.1 HILSEA INVESTMENTS LTD. GRUPO ESMERALDA ECUADOR

La empresa Florícola “Hilsea Investments Ltd. Grupo Esmeralda ECUADOR” es una empresa dedicada a la propagación, plantación, producción y exportación de distintas variedades de flores a mercados internacionales, siendo uno de los principales el mercado Norte Americano (Estados Unidos) y Europeo (Holanda). Esta empresa posee distintas propiedades llamadas Unidades de Negocio en distintos países del continente Americano como son Colombia, Costa Rica, Perú, México y por supuesto

Ecuador, siendo líder en su campo a nivel nacional e internacional. En Ecuador todas las Unidades de Negocio perteneciente a “Hilsea Investments Ltd. Grupo Esmeralda ECUADOR” se ubican en la parte central de la Región Sierra, esto a causa de las condiciones atmosféricas y climáticas que ofrece dicha región. El número actual de Unidades de Negocio que “Hilsea” posee en nuestro país es de 11 y llevan los siguientes nombres con las actividades que realiza.

EMPRESA	UNIDAD DE NEGOCIO	ACTIVIDAD	UBICACIÓN
<b>Hilsea Investments Ltd.</b>	Propagación	Propagación de plantas de rosas y de flores de verano, para consumo propio y venta a terceros.	Parroquia El Quinche, Sector San Miguel de Atalpamba
	El Chiván	Producción Flores de Verano y Rosas	
	La Mora	Producción Flores de Verano	
	Esmeralda Breeding & Biotechnology	Investigación y desarrollo de nuevas variedades de flores.	
	Central de Pedidos y Logística	Acopio, coordinación de pedidos y embarques.	
	Bouquetería	Elaboración de bouquets	
	La Tolita	Producción de Flores de Verano	Guayllabamba, barrio Santo Domingo de los Duques a 35 Km. al norte de Quito
	Perucho	Producción de Flores de Verano	Vía San José de Minas, Sector el Conrragal (entre Puéllaro y Perucho) 60 Km. al norte de Quito
	Florycampo	<i>Producción de Rosas y Flores de verano</i>	<i>Cayambe, Ayora, Km. 2 1/2 vía Otavalo</i>
	La Victoria	Producción de Flores de Verano	Ibarra, Salinas, Pablo Arenas a 165 Km. al norte de Quito
	Santa Martha	Producción de Flores de Verano	Cayambe; Santa Rosa de Cusubamba, vía a Otón
Esmeralda Sun	Producción de Flores de Verano	Parroquia Ascázubi, Cantón Cayambe	
Representación Comercial de Plantas y Regalías	Representación comercial de las empresas obtentoras y comercialización de variedades (material vegetal)	Cayambe, Ayora, Km. 2 1/2 vía Otavalo	

**Tabla 8.- Unidades de Negocio del Grupo.**

Además Hilsea posee varias certificaciones de calidad, nacionales e internacionales, que regulan y controlan su funcionamiento, al cumplir con los requerimientos establecidos en estas certificaciones ofrece tranquilidad a sus clientes pues estos requerimientos brindan la posibilidad de competitividad en el mercado florícola.

Preocupados por el medio ambiente, actualmente se está implementado las medidas necesarias para poder calificar en la norma ISO 14000, relacionada con causar el menor impacto ambiental posible.

### **MISIÓN DE “HILSEA”.**

La misión de “Hilsea Investments Ltd. Grupo Esmeralda ECUADOR” es liderar el mercado florícola en innovación, calidad y consistencia. Además proveer las flores más frescas y plantas de la mejor calidad para la industria florícola.

### **VISIÓN DE “HILSEA”.**

La visión de “Hilsea Investments Ltd. Grupo Esmeralda ECUADOR” es contar con el mejor y motivado talento humano para lograr eficiencia financiera y de esta manera satisfacer las exigencias dinámicas del mercado florícola.



## 2.2 UNIDAD DE NEGOCIO PROPAGACIÓN.

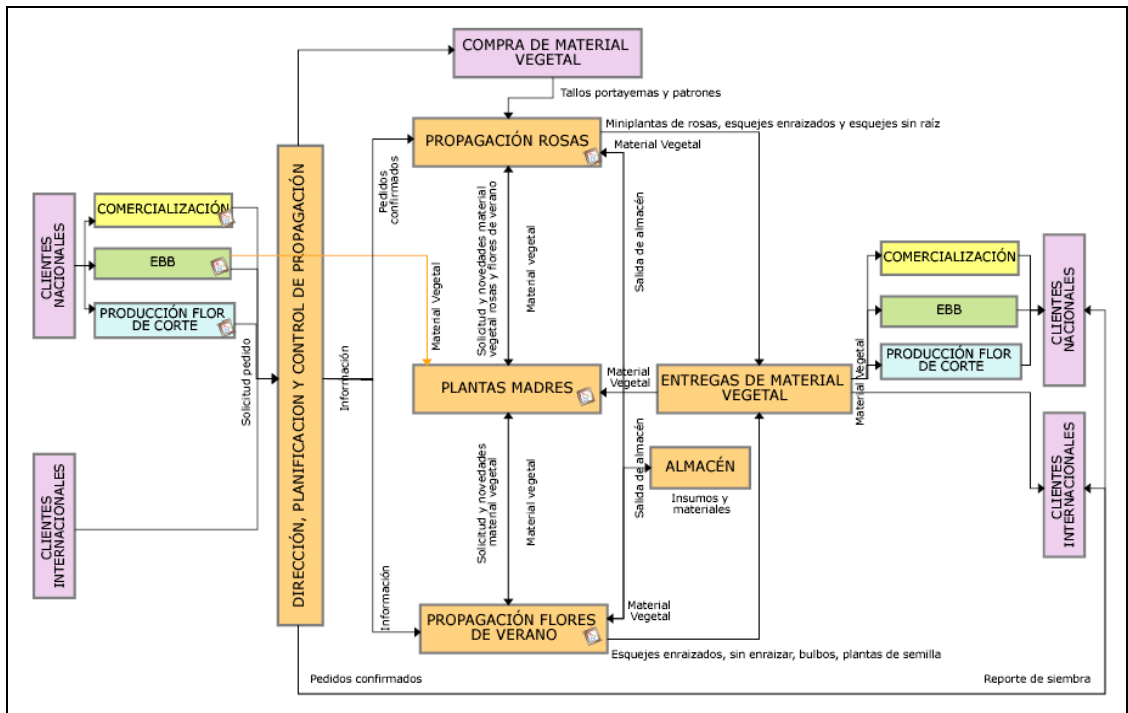


Gráfico 5.- Mapa de procesos de Propagación.

La Unidad de Negocio Propagación se encuentra ubicada en la Parroquia El Quinche, sector San Miguel de Atalpamba, vía a la ciudad de Ibarra en el Km. 30.

La principal actividad de Propagación, como su nombre lo indica, es la de propagar y ser proveedora de material vegetal para las distintas Unidades de Negocio que se dedican a la producción de diferentes variedades de flores que actualmente tiene Hilsea, sean estas variedades pertenecientes a tipos de Flores de Verano o también Bulbos y Lisianthus.

Las unidades de producción utilizan el material vegetal recibido como materia prima para el desarrollo completo de las variedades adquiridas (producción) y así poder llegar a su distribución final y por ende el mercado internacional.

Es importante indicar que el Diseño Estadístico de Experimentos empírico que actualmente se está llevando a cabo en esta Unidad de Negocio no posee una planificación adecuada para lograr resultados que sean estadísticamente significativos para la mejora de la producción, cayendo incluso en el conformismo de únicamente observar los resultados obtenidos, llegando a tomar decisiones basadas en la intuición y experiencia que hasta ahora, aunque lentamente, ha dado resultados.

Se hace necesario por tanto identificar modelos de Diseño Estadístico de Experimentos apropiados a la aplicación de los distintos ensayos que comúnmente se realizan en la Unidad de Negocio Propagación con el propósito de hacer un análisis estadístico, que basado en datos, permita comprender mejor los procesos y garantice la obtención de conclusiones que conduzcan a la toma de decisiones en post del mejoramiento de la producción.

La Unidad de Negocio ULP se encuentra subdividida en cinco áreas, las cuales son:

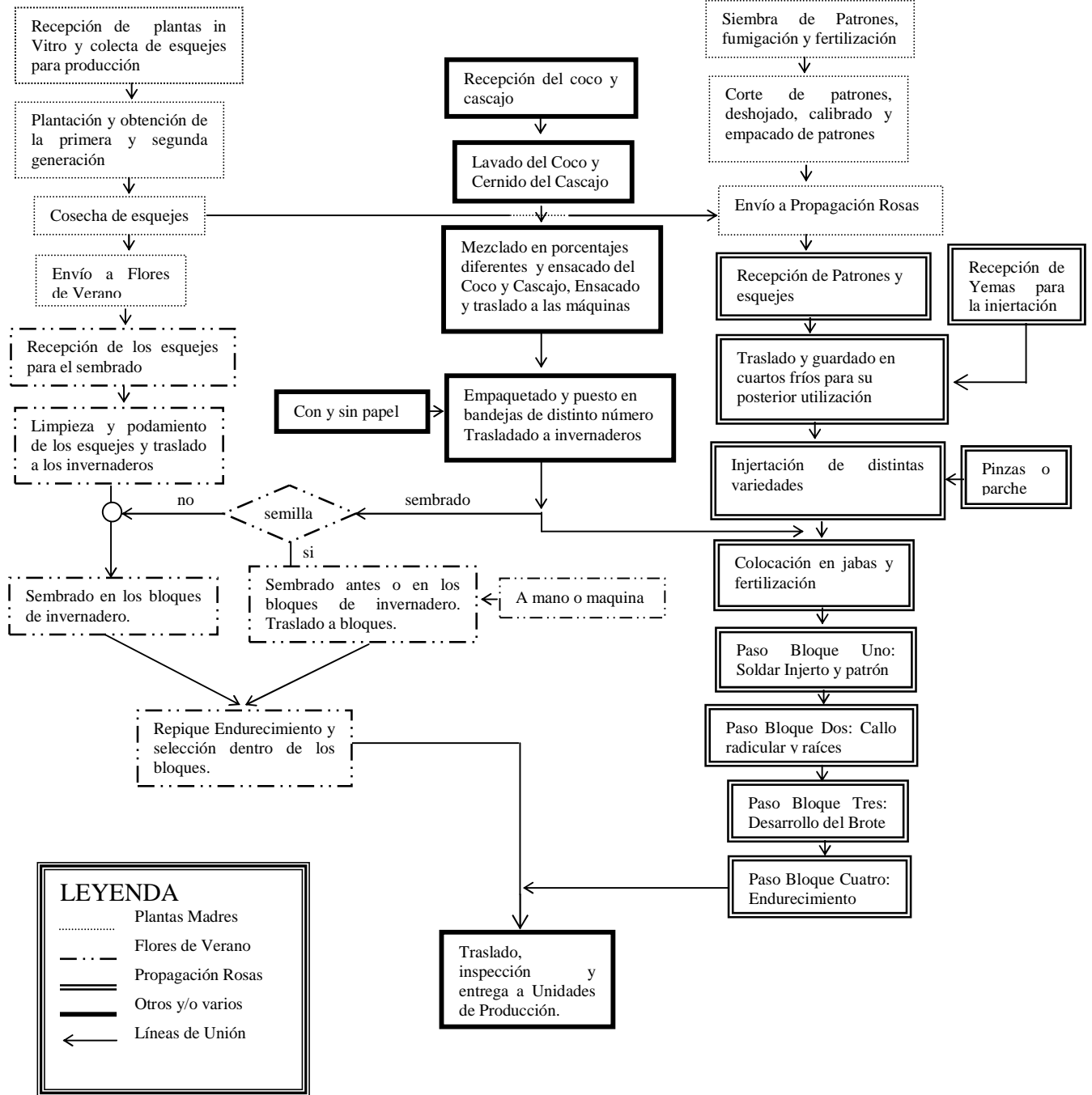
- Propagación Plantas Madres,
- Propagación Bulbos y Lisianthus,
- Propagación Rosas,
- Propagación Flores de Verano,
- Propagación Monitoreo Integrado de Plagas.

Cada una de estas áreas realiza ensayos por su propia cuenta, llegando únicamente a resultados visuales, esto sucede básicamente por el desconocimiento de las distintas técnicas estadísticas y por ende la aplicación de las mismas.

Uno de los puntos clave en cualquiera de las cinco áreas es buscar el mejor proceso para minimizar y/o desaparecer la ineficiencia en lo que a calidad se refiere (germinación, pudrición, etc.) de los distintos cultivos, pues como es de conocimiento general, todos los seres vivos nos encontramos en constante cambio, y no es la excepción el material vegetal como las flores ornamentales, las cuales dependiendo de las condiciones en las que se las adecue pueden dar una mejor producción y acortar el ciclo de adaptación a condiciones climáticas naturales, mientras mejores sean dichos procesos y condiciones, poseen mayor probabilidad de llegar a su etapa final (ventas). Un problema que la experiencia les ha mostrado es que la calidad del producto final muchas de las veces depende de dos factores, la procedencia del material vegetal (proveedor) y la edad de la planta de donde proviene el esqueje, esto afecta directamente la buena calidad de las plantas y por ende la no aceptación de esa materia prima por las distintas Unidades de Negocio dedicadas a la producción.

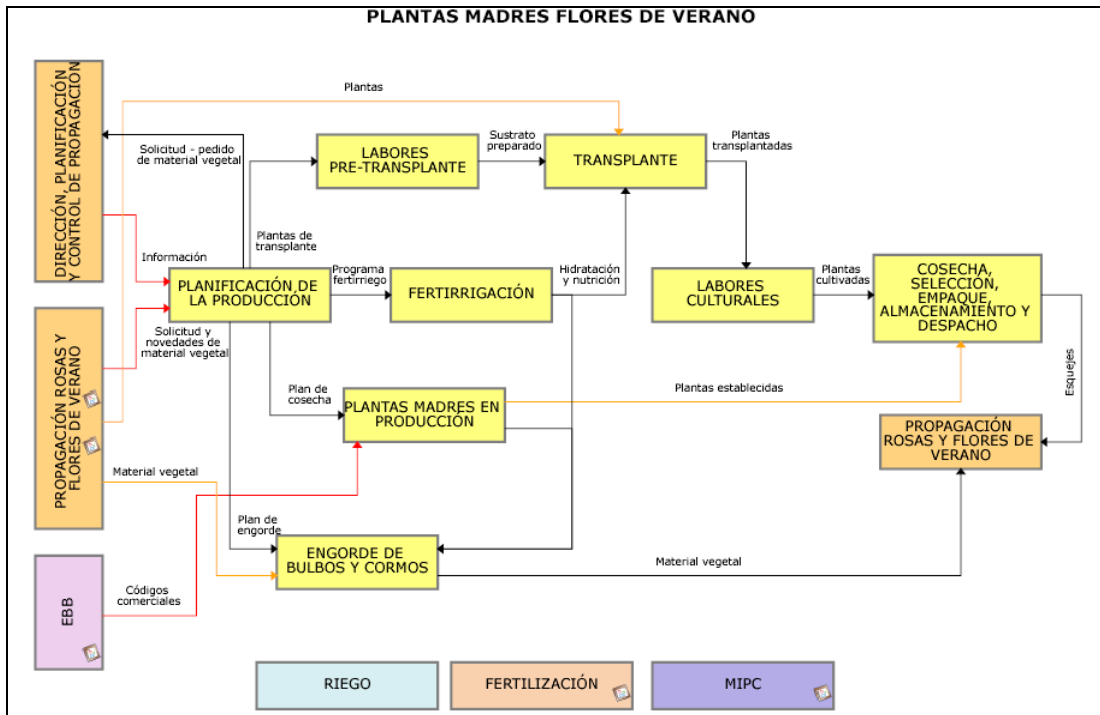
A continuación se resume las actividades que se realizan en cada una de las áreas de la Unidad de Negocio Propagación en una perspectiva macro de las áreas que tienen relación entre sí como son Propagación Plantas Madres, Propagación Flores de Verano y Propagación Rosas.

**ESQUEMA OPERATIVO “UNIDAD DE NEGOCIO PROPAGACIÓN”**



**Gráfico 6.- Operatividad de Propagación**

## 2.2.1 Propagación Plantas Madres.



**Gráfico 7.- Mapa de procesos de Plantas Madres.**

Propagación *PLANTAS MADRES* es una de las áreas de mayor importancia dentro de esta Unidad de Negocio, puesto que se encarga básicamente de proveer material vegetal a dos áreas de la misma Unidad de Negocio Propagación (Véase el gráfico del esquema operativo), como son Propagación Flores de Verano (esquejes) y Propagación Rosas (patrones). Para su correcto funcionamiento consta de un gran número de invernaderos en los cuales se propagan variedades de flores de Verano como por ejemplo: Gypsophila, Trachelium, Phlox, Statice, etc. y también se encarga de los patrones de rosas.

La funcionalidad de esta área es primordialmente el de mantener un stock necesario de material vegetal, ya sea de esquejes y/o patrones, dependiendo esto de la

petición que realicen las áreas para las cuales es proveedor, existen temporadas en las cuales se debe expender un cierto número normal de material vegetal y otras temporadas a las cuales se les denomina picos, donde la demanda del material vegetal aumenta de manera exponencial llegando a superar el mil por ciento (1000 %) de las cantidades normales; para mayor comprensión, en una temporada normal se deben entregar entre cinco mil y diez mil (5.000 – 10.000) esquejes semanales, pero cuando existe un pico de cualquiera de las variedades existentes, esta demanda se transforma en un pedido de ochenta mil (80.000) esquejes semanales, es esta variabilidad la que preocupa a las personas encargadas de la plantación, pues existe básicamente dos maneras de dar un parche a este problema: el primero es el de mantener plantas viejas para poder solventar dicha demanda y la segunda es el de solicitar a otras plantaciones el número de esquejes faltantes para completar el pedido, lo que al mismo tiempo ocasiona otro tipo de inconvenientes, como es la mala calidad de la planta y el alza en los costos de producción ocasionados por los parches anteriormente mencionados.

Además, en esta área los ensayos que se realizan actualmente no son tan notables y mucho menos numerosos, por ser un área que renueva sus plantaciones cada 48 semanas, puesto que una sola planta puede producir muchos esquejes en su vida vegetal útil.

## 2.2.2 Propagación Flores de Verano.

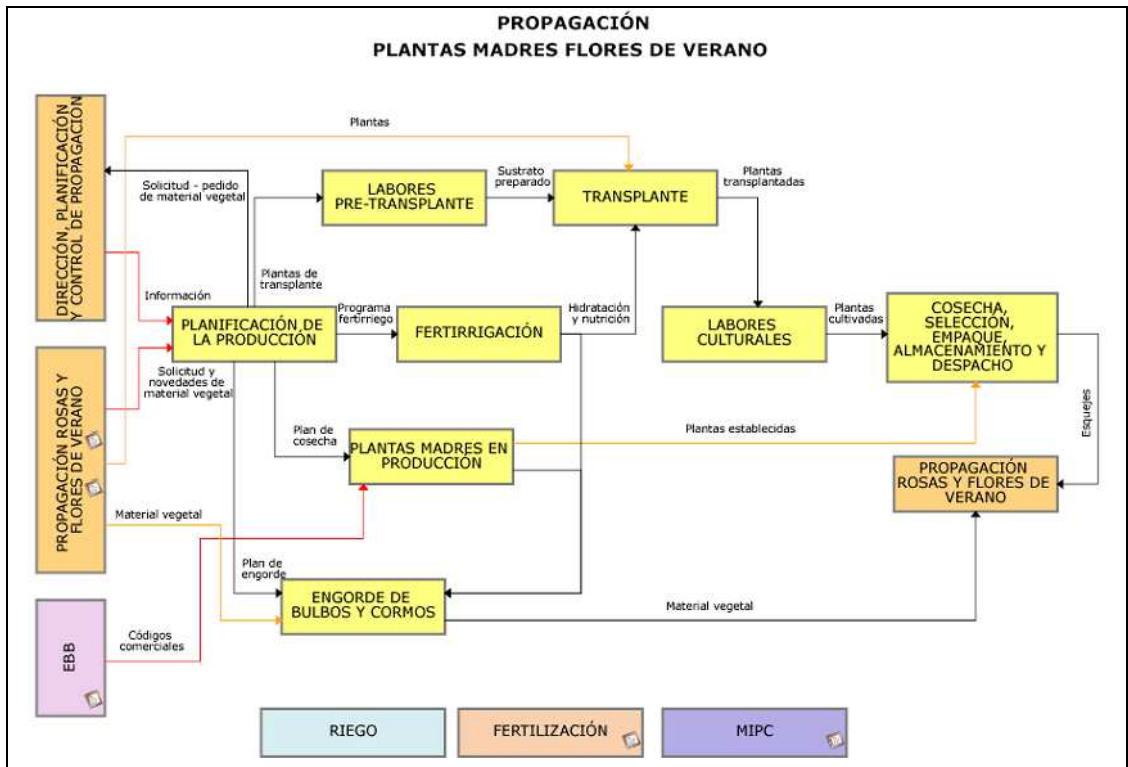


Gráfico 8.- Mapa de procesos de Flores de Verano.

El área de *PROPAGACIÓN FLORES DE VERANO* se caracteriza por sembrar esquejes que provienen del área de Propagación Plantas Madres o de otros proveedores dependiendo de lo explicado anteriormente, se debe tener en cuenta que las Flores de Verano que actualmente llevan a su cargo no solo son plantadas a través de esquejes, pues también existen variedades que son cultivadas mediante semillas, las mismas que son adquiridas a proveedores especializados en esa materia y ajenos a las Unidades de "HILSEA", alguna de las variedades que provienen de semillas llegan incluso a ser adquiridas de importaciones, principalmente siendo comercializadas variedades propias del continente Europeo

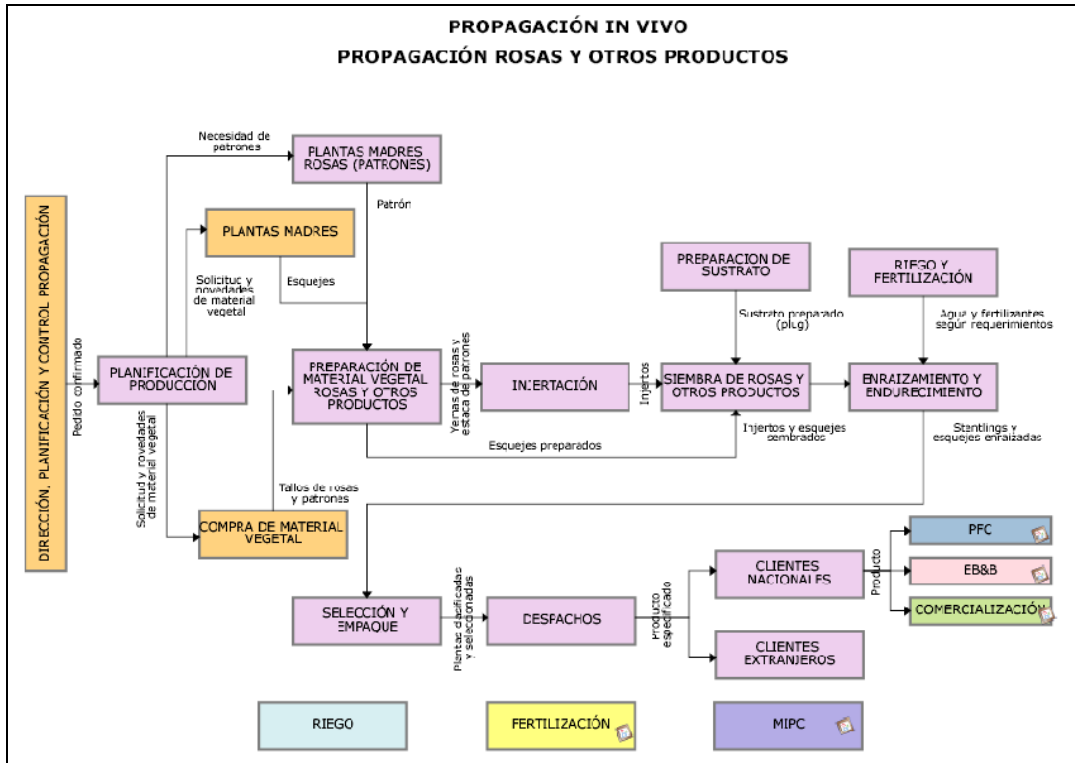
como Holanda, por lo que se tiene que pagar regalías<sup>2</sup>. Los invernaderos en los cuales son desarrolladas estas variedades poseen tecnología Holandesa, siendo esta una de las tecnologías más avanzadas en lo que al campo florícola corresponde. La problemática esencial de esta área es encontrar una productividad aceptable a través del mejoramiento de la eficiencia de germinación que poseen una gran cantidad de variedades en semillas como son: Ammi Majus, Buplerum, Godettia, etc., por citar algunos ejemplos. Como se menciona anteriormente, en la actualidad se realizan distintos ensayos en el cultivo y procesos de fertilización, cambiando los porcentajes de sustratos, regando con distintos niveles de fertilizantes, probando si una buena germinación de semillas se debe al cambio de temperatura a la cual son expuestas en el momento de siembra y así un sin número de pruebas. De todos estos cambios en el proceso únicamente se ha llegado a determinar efectos y respuestas visuales con lo que no se ha llegado a la comprensión completa del comportamiento de ninguno de los procesos en estudio. Esta área es una de las de mayor preocupación y se ha dado énfasis al cambio o movimiento de factores para buscar aquel que sea influyente en la incertidumbre de un buen resultado de la variable respuesta, siendo en nuestro caso en particular, la búsqueda de la mejor germinación de las semillas. Del mismo modo sucede con los esquejes puesto que los problemas que invade a este tipo de cultivos son la pudrición del esqueje, falta de raíz, deshidratación, etc., problemas que de igual modo se han atacado con distintas pruebas ya sea en el cambio de porcentaje de sustratos o probando distintas dosis de fertilizantes. Cabe recalcar que todas las pruebas que comúnmente se han estado llevando a cabo en esta área se lo ha hecho a prueba y error, es decir basados en la experiencia y la intuición, debido al desconocimiento de herramientas estadísticas, lo que les ha conducido a caer en un ejercicio repetitivo y sin un objetivo claro del ¿por qué? están realizando los diferentes ensayos. Aunque los ensayos se han efectuado de este modo, los resultados obtenidos no son del todo erróneos, pero el costo de tiempo y recursos económicos no es del todo beneficioso.

---

<sup>2</sup> Pago de un porcentaje de dinero, dependiendo de las ventas que se hayan realizado de la variedad que posea la patente.



### 2.2.3 Propagación Rosas.



**Gráfico 9.- Mapa de procesos Rosas.**

*PROPAGACIÓN ROSAS*, como su nombre lo revela, es un área cuyo objetivo primordial es el de propagar distintas variedades de rosas y flores de verano, al igual que en el área anterior (Propagación Flores de Verano).

Esta área cuenta con invernaderos de alta tecnología vigilados a través de un software especializado para el control de la velocidad del viento, temperatura y humedad dentro de los mismos, consta de 4 bloques o invernaderos, los cuales cumplen distintas utilidades especiales.

Como se mencionó anteriormente los patrones de rosas provienen de Propagación Plantas Madres, pero las yemas provienen de Unidades de Negocio dedicadas a la producción, pues esta es otra característica en esta área, la manera de cultivo de las distintas variedades de rosas se lo hace por injertación, que consiste en unir el patrón de la rosa con la yema de la variedad que se desee obtener, además que el modo de injertación puede variar dependiendo del tipo de cultivo y variedad deseada ya que el modo de unir estas dos partes (patrón y yema) se lo puede lograr a través de parche con envoltura en plástico o con pinza. El modo más común y productivamente rentable es la injertación en parche a través de la pinza, esto se lo suele hacer en la mayoría de variedades.

Retomando el tema de los bloques, en el primer bloque se encuentran todas las plantas injertadas de rosas a una temperatura y humedad mucho más altas que en el resto de bloques, la temperatura promedio de este bloque es de 38 °C. y su humedad relativa es del 80%, en este bloque se debe mantener al injerto por una semana, esta temperatura y humedad es con el objetivo de lograr que sude la sabia de la yema y pueda pegarse con el patrón para luego formar el callo de unión. En el segundo bloque se requiere de una temperatura y humedad de 40 °C. y 62 % respectivamente, esto se lo hace con el fin de que el injerto despliegue sus primeras raíces, el injerto debe permanecer en estas condiciones durante otra semana. En el tercer bloque se tiene una temperatura promedio de 35 °C. y una humedad relativa de 54 %, el objetivo en este bloque es el de seguir induciendo a la salida de más raíces del injerto y al crecimiento del brote (tallo de interés), el injerto soporta estas condiciones durante dos semanas. En la última etapa y antes del despacho, es decir en el cuarto bloque se debe tener a los injertos a una temperatura de 30 °C. y una humedad de 35 % durante una semana, esto con la intención de darle un acondicionamiento óptimo para que soporte las condiciones climáticas del campo de producción a donde serán enviadas.

El ciclo de tiempo en que generalmente ocurre todo este proceso está entre 4 y 5 semanas, dependiendo de varios factores y de la variedad que se esté produciendo. Todo el proceso de control de temperatura, fertilización, riegos, etc. se consigue a través del sistema computarizado SERCOM el cual es un software especializado para este tipo de trabajo.

Para finalizar, el énfasis que se le añade a los ensayos actualmente en esta área no es el adecuado, esto sucede porque los estudios de ensayos están dirigidos más a la obtención de nuevas variedades de rosas, esta política se la realiza para cumplir con la misión que posee "HILSEA", pues el mercado nacional e internacional siempre se encuentra en una constante búsqueda de novedades y mejoramientos como es el color de sus pétalos, duración y diámetro de la flor y sobre todo el aroma que esta emane; el mercado solicita flores mucho más atractivas que las que se logran producir actualmente.

2.2.4 Propagación Bulbos y Lisianthus.

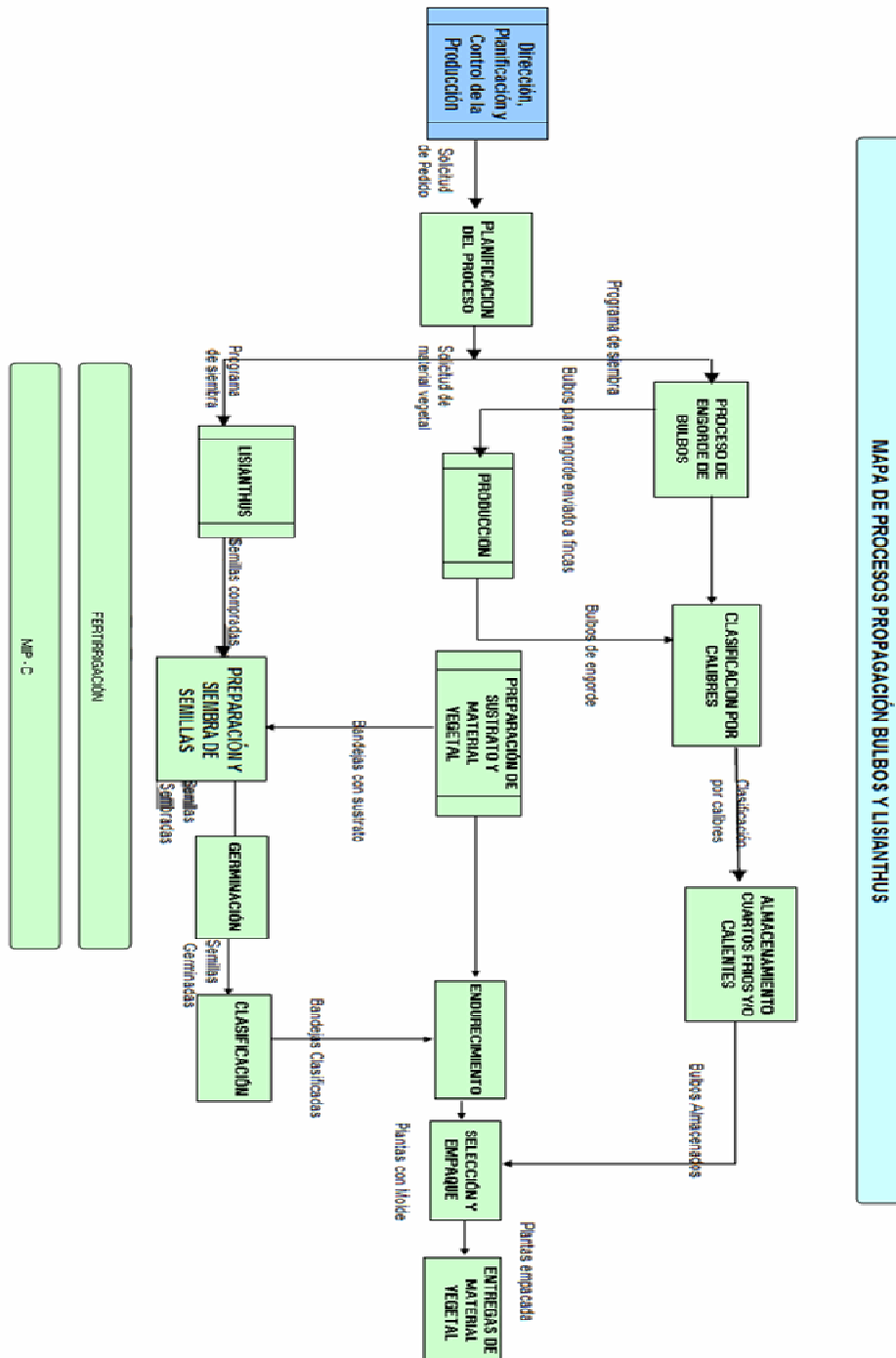
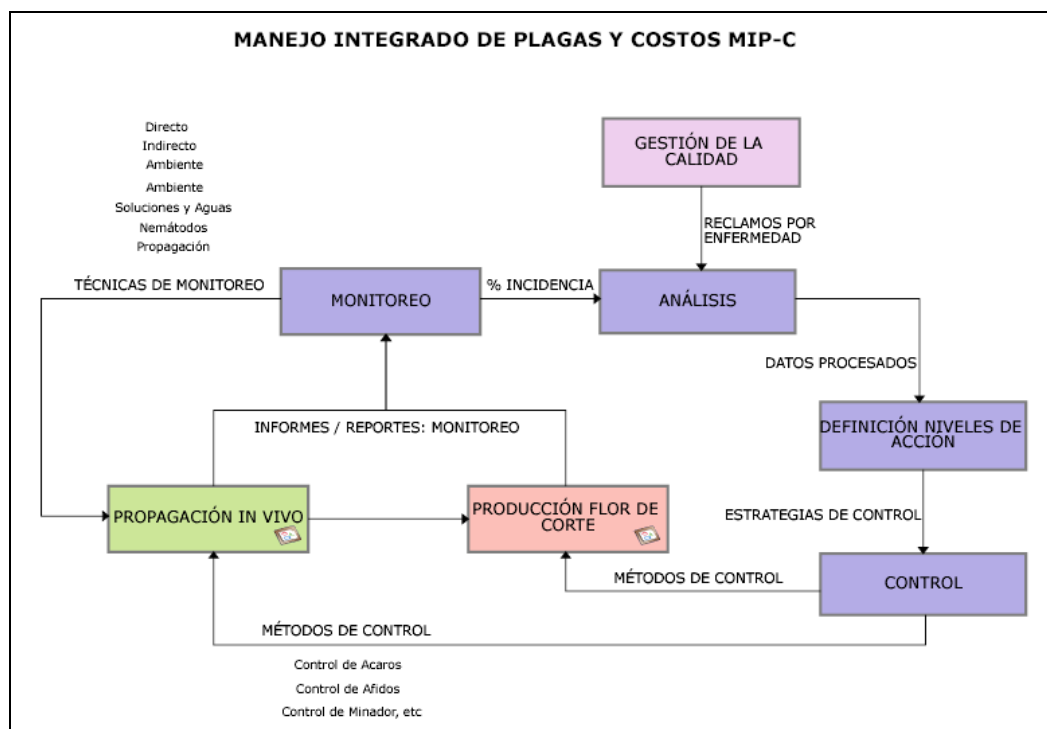


Gráfico 10.- Mapa de procesos de Bulbos y Lisianthus.

*PROPAGACIÓN BULBOS Y LISIANTHUS* es una de las áreas más problemáticas en lo que a ensayos se refiere, puesto que el periodo de la obtención de plantas (bulbos) se encuentran listos para su entrega a las Unidades de Producción entre 28 y 49 semanas de proceso para su completa maduración, esto dependiendo de la variedad que se requiera para despacho, dicho de otra manera la obtención de este producto demora generalmente entre 6 y 11 meses. Durante todo este tiempo pasa por una serie de procesos que también dependen de la variedad en la cual se esté trabajando. El proceso de estas variedades comienza con el engorde del producto, esto se lo realiza en la Unidad de Negocio Santa Rosa, ya que cuenta con el espacio, infraestructura y maquinaria necesarios para alcanzar este objetivo. Para ejemplificar la complejidad del tratamiento al cual deben ser sometidas estas variedades vamos a dar a conocer como funciona con dos de las variedades económicamente rentables y al mismo tiempo las más delicadas, pues si no se manipulan correctamente en cualquiera de los puntos del proceso puede ocurrir una pérdida total del material vegetal. **Lisianthus:** Esta variedad es conseguida a través de la siembra de una semilla, la cual tarda en germinar entre 9 y 10 semanas, luego las bandejas en las cuales fueron sembradas se las tiene que poner a 6 cm. del nivel del piso para evitar que bacterias puedan desarrollarse libremente, esto alrededor de diez semanas, al estar en ese estado se debe tener cuidado con la temperatura y luminosidad pues se debe tenerlas en un estado de equilibrio ya que si no se lo hace se puede perder el cultivo en cuestiones de horas. Al llegar a su estado de madurez entran en un proceso de clasificación para luego ser ambientadas y aclimatadas en un periodo de alrededor de 2 semanas, para su posterior despacho y al igual que en las etapas anteriores se les tiene que dar un cuidado especial por la delicadeza del material vegetal y no perder así, todo el trabajo que hasta es punto se ha invertido. **Bulbos:** Esta variedad es una especie florícola que se adapta con gran normalidad a suelos arenosos y con poca presencia de agua, el inconveniente de esta variedad es su periodo de obtención, pues luego de ser sembrado se debe esperar 40 semanas para la total madurez de dicha variedad.

## 2.2.5 Propagación de Manejo Integrado de Plagas y Costos.



**Gráfico 11.- Mapa de procesos del MIP-C**

Todo ser vivo se encuentra amenazado por algún tipo de enfermedad o plaga, por así llamar, que causan irregularidades al buen desarrollo a nivel celular o aspecto físico de las plantas. Por esta razón se ha implementado el área del MIP-C, la misma que se encuentra especializada en la obtención de esporas, hongos y cultivo de hongos que puedan luchar con agentes patógenos y/o dañinos para el material vegetal de ULP, pues el objetivo de esta área es el de “sustituir el control químico con uso del control biológico mediante el empleo de microorganismos biocontroladores como Antagonistas, Patógenos y Parasitoides”. Dicho de otra manera, el MIP-C busca minimizar e incluso desaparecer el uso de químicos nocivos para la salud de las personas y así de manera indirecta reducir la repercusión que tienen estos químicos en las tierras donde son utilizados; las aplicaciones con productos

obtenidos de la misma naturaleza es benéfico desde varias perspectivas. Generalmente se utilizan este tipo de productos para el control de plagas, desarrollo de las plantas, y fertirrigación.

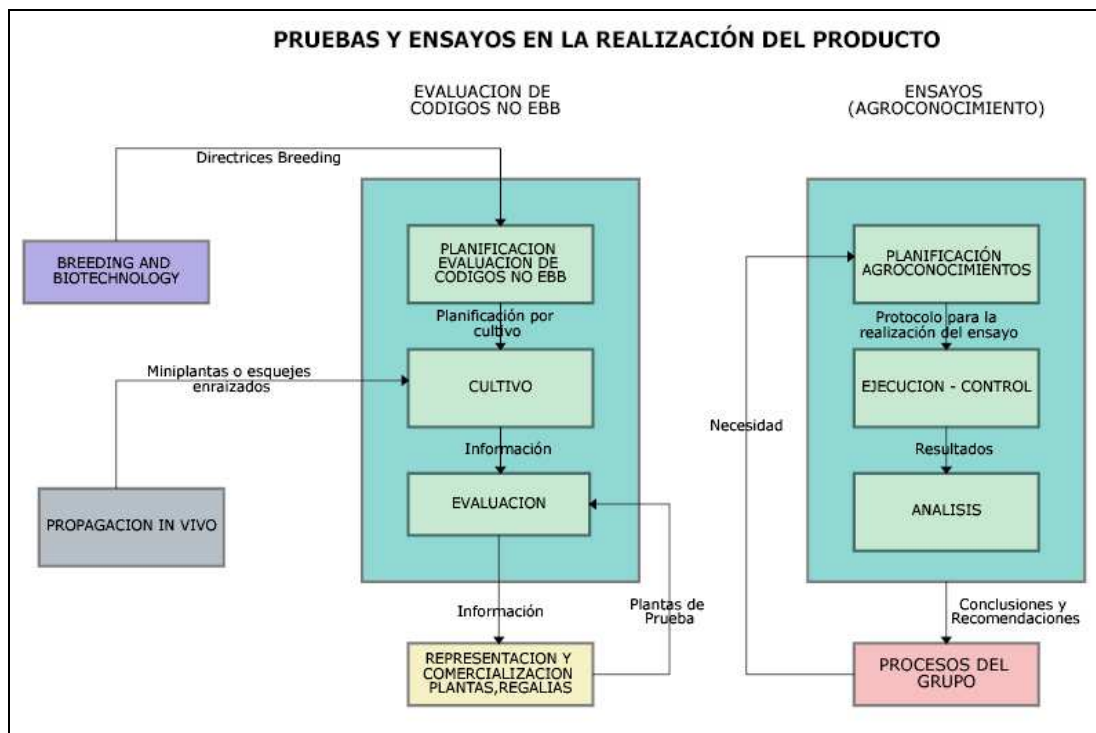
Otro punto que se debe resaltar es que a través de la utilización de estos productos se quiere alcanzar un objetivo macro de la empresa "Hilsea Investments Ltd. Grupo Esmeralda ECUADOR", dicho objetivo es producir las distintas variedades de plantas de Propagación a través de el control de plagas de forma natural, es decir, reducir a cero la utilización de plaguicidas que contienen productos químicos.

Actualmente la producción de los biocontroladores se encuentra en una de sus primeras fases, razón por la cual se tiene una producción a escala reducida, sin embargo aún hay un largo camino de investigaciones y pruebas, es aquí donde entra el Diseño Estadístico de Experimentos, pues se desea determinar los parámetros óptimos de utilización de estos productos, ya que su producción no es del todo económica, además que su obtención demanda productos biodegradables como el estiércol de ganado vacuno, material vegetal de cereales como el trigo, infraestructura y material de investigación especializado.

Sin embargo las aplicaciones que actualmente se las está realizando es una combinación entre productos naturales y químicos de usual aplicación para este tipo de cultivos, de aquí la importancia de determinar los beneficios que se están logrando con la aplicación de los productos obtenidos naturalmente.

Dejando en claro nuevamente que el mercado internacional demanda de productos de calidad y en lo posible que se hayan utilizado la menor cantidad posible de plaguicidas, fungicidas y un sin número de productos químicos que además pueden causar enfermedades cancerígenas en cualquier parte del cuerpo.

### 2.3 PROBLEMA DE LAS ÁREAS DE ULP.



**Gráfico 12.- Mapa de procesos para pruebas y ensayos.**

Aunque existe documentación (procedimientos) en "Hilsea" para la realización de los ensayos en cualquiera que sea el área, la principal problemática de Propagación es el escaso control que actualmente se está llevando a efecto en todas las áreas donde se realizan dichos ensayos, en lo que al levantamiento de datos se refiere. Este problema surge por la poca o casi nula cultura estadística y de manera especial por el desconocimiento de las técnicas de Diseño Estadísticos Experimental. Otro problema es el conformismo que se tiene al realizar ensayos a partir de los cuales los resultados visuales son toda la información con la que se han estado tomando decisiones; a pesar de todo, la información visual les ha brindado resultados, sin embargo no se ha llegado al conocimiento del verdadero proceso y de los factores que son realmente influyentes y por ende interfieren en los diferentes niveles de los tratamientos a probar.



## CAPÍTULO III

### 3 APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DISEÑO EXPERIMENTAL A LOS ENSAYOS DE PROPAGACIÓN.

#### 3.1 APLICACIÓN DEL DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR

Como es de conocimiento la aplicación de este diseño únicamente permite determinar y/o controlar un solo factor y saber si en promedio al menos dos medias son diferentes entre sí. La desventaja de este diseño es que es demasiado sencillo pero en ocasiones sirve, al menos para reconocer si el factor en estudio es o no influyente.

##### 3.1.1 Aplicación de Micorrizas en distintos cultivos.

**Micorrizas:** Son microorganismos que estimulan el desarrollo de las vellosidades de la raíz de las plantas con el objetivo de que aproveche la mayor parte de los nutrientes presentes en el suelo y de manera especial de los fertilizantes que se les añade en su etapa de crecimiento.

De aquí que es importante tener en cuenta el medir una variable que considere la raíz de las plantas. El estudio estadístico se lo realizó mediante la aplicación de un tratamiento (aplicación de Micorrizas) a variedades de semillas y esquejes, donde la aplicación se la comenzó a realizar cuando la planta tenía 2 semanas de edad.

Para presentar los cultivos en los cuales fueron aplicados se resume en la siguiente tabla donde además se coloca el número de bandejas utilizadas, (tanto las testigo como las de aplicación), la semana en la cual fueron sembradas y en la cual fue aplicado el producto (micorrizas).

Unidad de Negocio Propagación							
CULTIVOS Y CANTIDAD PARA EL ENSAYO MICORRIZAS							
BLOQUE	CULTIVO	VARIEDAD	NUMERO BANDEJAS ENSAYO	NUMERO BANDEJAS TESTIGO	SEMANA SIEMBR A	SEMANA DE APLICACIÓN	NUMERO DE PLANTAS ENSAYO
9 FRANCES	GYPSOPHILA	MORENA	50	75	734	736	739
9 FRANCES		ALICIA	40	40	734	736	739
9 FRANCES		PARTY TIME	50	50	734	736	739
5 FRANCES	AMMI MAJUS	N/A	34	34	731	733	737
3 FRANCES	TRACHELIUM	JADE	75	75	734	736	739
11 A	PHLOX	BALTICO	40	40	734	736	739
<b>TOTAL</b>			<b>289</b>				<b>4432</b>

**Tabla 9.- Aplicación de Micorrizas**

### 3.1.1.1 Aplicación de Micorrizas en Ammi Majus.

Las variables medidas durante el ensayo fueron: Masa Follaje, Masa Radicular (Masa Total de las Plantas), longitud radicular, longitud del follaje (Longitud Total de las plantas) las cuales fueron medidas en gramos y en milímetros respectivamente.

El motivo de medir todas las variables mencionadas fue para observar la relación existente entre estas, ya que por simple deducción aquellas plantas que presenten mayor masa radicular también deberían presentar mayor longitud de follaje.

De donde los datos obtenidos se encuentran en las tablas que se presentan a continuación.

**DATOS:**

AMMI MAJUS						
CULTIVO	NUMERO BANDEJAS ENSAYO	NUMERO BANDEJAS TESTIGO	SEMANA SIEMBRA	SEMANA DE LA APLICACIÓN		
AMMI MAJUS	34	34	731	733		

**Testigo**

Nº de Planta	Masa Total Planta (g)	Masa Follaje (g)	Masa Radicular (g)	Longitud Total Planta (mm)	Longitud Follaje (mm)	Longitud Radicular (mm)
1	0,25	0,12	0,13	111,80	41,10	70,70
2	0,43	0,19	0,24	160,00	48,35	111,65
3	0,49	0,25	0,24	158,80	53,20	105,60
4	0,38	0,20	0,18	162,00	46,65	115,35
5	0,41	0,26	0,15	161,75	58,40	103,35
6	0,38	0,22	0,16	143,25	53,10	90,15
7	0,60	0,22	0,38	147,10	51,60	95,50
8	0,25	0,11	0,14	106,35	38,65	67,70
9	0,23	0,14	0,09	120,00	44,00	76,00
10	0,45	0,25	0,20	135,00	38,25	96,75
11	0,52	0,26	0,26	153,00	50,75	102,25
12	0,46	0,30	0,16	159,65	61,85	97,80
13	0,44	0,26	0,18	139,40	50,10	89,30
14	0,47	0,28	0,19	152,25	51,30	100,95
15	0,30	0,17	0,13	136,20	43,60	92,60
16	0,26	0,16	0,10	149,95	46,45	103,50
17	0,52	0,28	0,24	144,80	50,00	94,80
18	0,47	0,24	0,23	128,80	41,75	87,05
19	0,53	0,30	0,23	135,00	43,70	91,30
20	0,28	0,16	0,12	129,00	30,90	98,10
21	0,38	0,22	0,16	149,90	45,45	104,45
22	0,40	0,24	0,16	150,00	51,00	99,00
23	0,58	0,33	0,25	149,40	51,20	98,20
24	0,20	0,11	0,09	117,00	42,50	74,50

**Tabla 10.-Datos de las plantas testigo.**

CULTIVO	NUMERO BANDEJAS ENSAYO	NUMERO BANDEJAS TESTIGO	SEMANA SIEMBRA	SEMANA DE LA APLICACIÓN		
AMMI MAJUS	34	34	731	733		

**Aplicación Micorrizas**

Nº de Planta	Masa Total Planta (g)	Masa Follaje (g)	Masa Radicular (g)	Longitud Total Planta (mm.)	Longitud Follaje (mm.)	Longitud Radicular (mm.)
1	0,43	0,23	0,20	166,40	54,40	112,00
2	0,87	0,45	0,42	162,75	62,00	100,75
3	0,45	0,20	0,25	133,00	46,00	87,00
4	0,64	0,26	0,38	166,30	71,15	95,15
5	0,61	0,26	0,35	144,30	55,30	89,00
6	0,39	0,16	0,23	127,60	42,55	85,05
7	0,36	0,21	0,15	131,00	53,25	77,75
8	0,45	0,23	0,22	153,55	47,90	105,65
9	0,48	0,28	0,20	136,20	54,80	81,40
10	0,32	0,16	0,16	122,90	44,75	78,15
11	0,28	0,17	0,11	113,80	38,80	75,00
12	0,39	0,27	0,12	126,00	39,00	87,00
13	0,28	0,15	0,13	138,00	32,60	105,40
14	0,50	0,29	0,21	140,55	52,10	88,45
15	0,38	0,18	0,20	132,40	42,20	90,20
16	0,45	0,21	0,24	139,50	49,70	89,80
17	0,41	0,19	0,22	131,50	49,90	81,60
18	0,63	0,27	0,36	129,45	45,25	84,20
19	0,26	0,14	0,12	110,70	39,00	71,70
20	0,55	0,23	0,32	122,50	44,10	78,40
21	0,27	0,16	0,11	145,75	42,80	102,95
22	0,56	0,27	0,29	135,75	43,55	92,20
23	0,64	0,38	0,26	149,20	63,75	85,45
24	0,49	0,29	0,20	140,00	50,15	89,85

**Tabla 10.- (continuación) Datos de las plantas testigo.**

### 3.1.1.1.1 Análisis

#### Masa radicular de la planta

Como el interés del estudio se basa en la obtención de mayor cantidad de raíz, la variable de mayor interés y que analizaremos será la masa radicular de la muestra ya que es allá donde se dirige la aplicación de las Micorrizas, por lo que presentamos a continuación los datos de interés.

N°	Testigo	Aplicación	N°	Testigo	Aplicación	N°	Testigo	Aplicación
1	0,13	0,20	9	0,09	0,20	17	0,24	0,22
2	0,24	0,42	10	0,20	0,16	18	0,23	0,36
3	0,24	0,25	11	0,26	0,11	19	0,23	0,12
4	0,18	0,38	12	0,16	0,12	20	0,12	0,32
5	0,15	0,35	13	0,18	0,13	21	0,16	0,11
6	0,16	0,23	14	0,19	0,21	22	0,16	0,29
7	0,38	0,15	15	0,13	0,20	23	0,25	0,26
8	0,14	0,22	16	0,10	0,24	24	0,09	0,20

**Tabla 11.- Masas radiculares medidas en gramos.**

Lo primero que estudiaremos es el cumplimiento de los supuestos a través de técnicas analíticas, la hipótesis más importante es la de la normalidad de los datos, seguida de la hipótesis de la igualdad de varianzas entre los distintos tratamientos y por último la de independencia entre los datos.

Las estadísticas descriptivas serían:

Tratamiento	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1
Masa radicular Testigo	24	0,1838	0,0136	0,0668	0,0900	0,1325
Aplicación	24	0,2271	0,0181	0,0888	0,1100	0,1525

Ahora lo que deseamos es probar si la aplicación de las Micorrizas incide en la masa radicular de las plantas a las cuales se les aplicó dicha sustancia, por lo que las hipótesis serían las siguientes.

Las hipótesis a probar serían:

$$H_0 : \mu_A = \mu_T$$

$$H_A : \mu_A > \mu_T$$

El estadístico a utilizar es una prueba t por únicamente tener dos tratamientos y sería el más apropiado para la demostración de las hipótesis.

Donde:

$\mu_A$  = Promedio de la masa radicular de las plantas con aplicación.

$\mu_T$  = Promedio de la masa radicular de las plantas testigo.

Nota: Utilizamos la hipótesis alternativa con el signo “mayor que” por razón de que se tiene evidencia (medias muestrales) que la masa radicular de las plantas a las cuales fueron aplicadas las Micorrizas poseen mayor masa que la masa radicular del testigo.

A continuación determinaremos el cumplimiento de los supuestos para los datos anteriores.

### 3.1.1.1.2 Normalidad

La prueba a utilizarse es la de Kolmogorov-Smirnov a través del paquete estadístico SPSS. Las hipótesis serían que:

$H_0$  : Los datos tienen una distribución Normal

$H_A$  : Los datos no tienen una distribución Normal

con 95% de confiabilidad de donde los datos arrojan los siguientes resultados:

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Masa Radicular
N		48
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	,2054
	Std. Deviation	,08074
Most Extreme Differences	Absolute	,109
	Positive	,109
	Negative	-,076
Kolmogorov-Smirnov Z		,755
Asymp. Sig. (2-tailed)		,619

a. Test distribution is Normal.  
b. Calculated from data.

**Tabla 12.- Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la normalidad.**

**Conclusión:** Como se puede observar el valor P (señalado en la tabla superior) es mayor al 0,05 (Coeficiente de confiabilidad) que se está dando, por lo que concluimos que no hay suficiente evidencia en los datos para rechazar la hipótesis nula (los datos provienen de una población Normal).

### 3.1.1.1.3 Homocedasticidad

Para el cumplimiento de esta hipótesis utilizaremos el estadístico<sup>3</sup> siguiente:

$f_{CAL} = \frac{S_1^2}{S_2^2}$ , donde el numerador y denominador son las varianzas de las masas radiculares del tratamiento y del testigo respectivamente, sus grados de libertad se dan a partir del número de muestras restando uno.

Por tanto tendríamos que:  $f_{CAL} = \frac{0,00445923}{0,00788242} = 0,565719$

Siguiendo con las hipótesis a probar se tendría que:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_A : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Con una significancia del 5% y la región crítica sería  $f_{0,025}(23,23) = 2,31163$  y para hallar el otro extremo se tendría  $f_{0,975}(23,23) = \frac{1}{f_{0,025}(23,23)} = 0,4326$ .

Por tanto la hipótesis nula se rechaza si  $f_{CAL} < 0,4326$  o  $f_{CAL} > 2,3116$  la misma que es la zona de rechazo.

Comparando el valor calculado (0,5657) con los valores tabulados obtenemos que el valor calculado cae entre estos valores, por ende no se rechazaría la hipótesis nula y se acepta la igualdad de varianzas de los tratamientos.

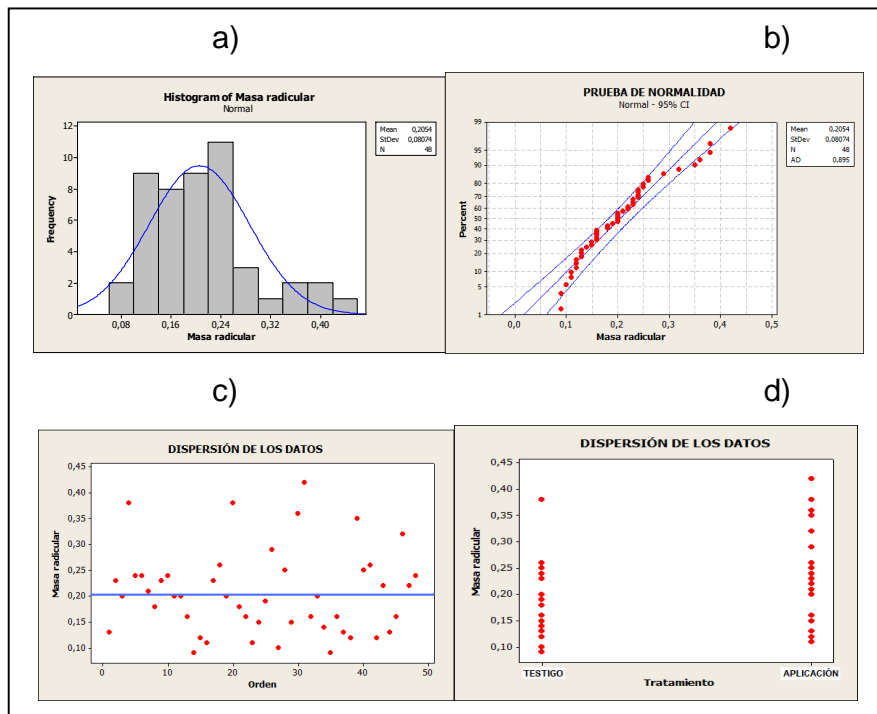
---

<sup>3</sup> Tomado de “Probabilidad y estadística para Ingenieros”, Walpole, pag. 338



### 3.1.1.1.4 Independencia

La independencia de datos se da a partir de una prueba gráfica, la misma que se muestra a continuación, acompañada de pruebas gráficas de los supuestos aceptados anteriormente.



**Gráfico 13.- Cumplimiento de los supuestos: a) y b) Normalidad, c) Independencia, d) Homocedasticidad**

Como podemos observar las hipótesis se cumplen para los datos en estudio, solo por un punto anómalo que se puede observar en el testigo absoluto.

La significancia a utilizar es del 5% y su región crítica sería:  $t_{0,05,46} = 1,679$

### Prueba T combinada de dos muestras<sup>4</sup>

$$t_{CAL} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{s_p \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}, \quad \text{donde} \quad s_p^2 = \frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}.$$

Los cálculos son los siguientes:

$$s_p^2 = \frac{0,00788(24 - 1) + 0,00446(24 - 1)}{24 + 24 - 2} = 0,00617$$

$$t_{CAL} = \frac{(0,227 - 0,184)}{0,00617 \sqrt{1/24 + 1/24}} = 1,911 (3,11\%).$$

La hipótesis se rechaza si  $t_{CAL} > t$ , como esto ocurre entonces se rechaza la hipótesis nula y por ende se acepta la hipótesis alternativa, que indica que existe una diferencia significativa entre las medias, dicha diferencia es mayor en la masa radicular con aplicación de Micorrizas comparada con las masas radiculares del testigo.

Las conclusiones serían entonces:

La aplicación de las Micorrizas en las raíces de esta variedad dan una prueba estadística que están cumpliendo con su función, es decir aumenta significativamente la masa radicular.

Por otro lado la recomendación sería:

- Evaluar las variables del estudio en un mayor tiempo luego de la aplicación, por ejemplo en la etapa de producción, ya que en la etapa de endurecimiento aún las diferencias no son significativas, aunque no son muy claras por encontrarse cerca de a región de rechazo (valor crítico).

---

<sup>4</sup> Tomado de “Probabilidad y estadística para Ingenieros”, Walpole, pag. 314

- Además que se debería dar un seguimiento a dicha aplicación para determinar su verdadera efectividad en el campo.

### 3.1.2 Hidratación con diferentes sustancias a la variedad de semilla de Ammi Majus

Este diseño se aplicó para determinar si realmente la hidratación que se le da a las semillas durante dos horas antes de su siembra está cumpliendo con el verdadero objetivo para el cual se está aplicando. Se utilizó 4 sustancias y un testigo para determinar la eficacia de la hidratación antes de la siembra y con el afán de mejorar la germinación.

Se realizó 9 repeticiones de cada uno de los tratamientos que consistieron en sembrar 30 semillas por celda en un semillero debidamente separado.

1			2			3		
Vitavax			Agua Tipo C			Testigo		
10	12	16	11	15	15	12	10	15
3	1	11	10	18	11	9	14	11
3	3	14	19	13	17	14	14	7
9	14	22	14	13	16	18	15	18
7	13	25	12	12	15	16	23	13
Trichoderma			Score			Trichoderma		
						Score		

Tabla 13.- Número de semillas germinadas de un total de 30 por celda

Para resumir los mismos datos se los presenta en la tabla siguiente:

<b>SUSTANCIA DE HIDRATACIÓN</b>										
Nº	<b>Vitavax</b>		<b>Agua Tipo C</b>		<b>Trichoderma</b>		<b>Score</b>		<b>Testigo</b>	
	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%
1	10	33%	11	37%	9	30%	14	47%	12	40%
2	12	40%	15	50%	14	47%	13	43%	10	33%
3	16	53%	15	50%	22	73%	16	53%	15	50%
4	3	10%	10	33%	7	23%	12	40%	9	30%
5	1	3%	18	60%	13	43%	12	40%	14	47%
6	11	37%	11	37%	25	83%	15	50%	11	37%
7	3	10%	19	63%	18	60%	16	53%	14	47%
8	3	10%	13	43%	15	50%	23	77%	14	47%
9	14	47%	17	57%	18	60%	13	43%	7	23%

Promedio 8,11 27% 14,33 48% 15,67 52% 14,89 50% 11,78 39%

**Tabla 14.- Número de semillas germinadas con su porcentaje**

Procedemos a realizar el análisis estadístico con respecto al diseño más adecuado que en este caso es el Diseño completamente al azar.

Las hipótesis a probar serían:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu$$

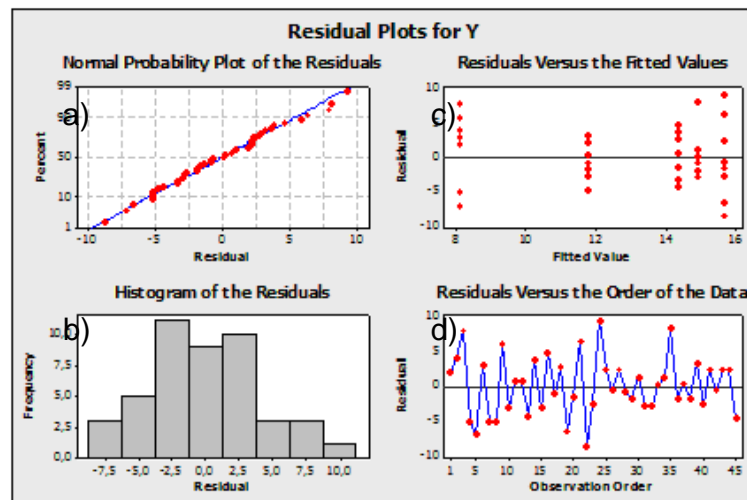
$$H_A : \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

Donde:

$\mu_i$  = Promedio de germinación de los niveles del tratamiento con  $i = 1, 2, \dots, 5$ .

Con una significancia es del 5%.

Nuevamente probamos los supuestos que se deben incluir para que los resultados sean confiables utilizaremos el software Minitab, a través de los métodos gráficos de donde tenemos:



**Gráfico 14.- Cumplimiento de los supuestos: a) y b) Normalidad, c) Homocedasticidad, d) Independencia.**

El estadístico a utilizar es el indicado en el ANOVA de Diseño Completamente al Azar.

Los resultados se muestran a continuación:

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Des. Estándar</i>
Vitavax	9	2,433	0,270	0,035	0,187
Agua Tipo C	9	4,300	0,478	0,012	0,109
Trichoderma	9	4,700	0,522	0,037	0,193
Score	9	4,467	0,496	0,013	0,114
Testigo	9	3,533	0,393	0,008	0,091

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,378	4	0,095	4,485	0,004	2,606
Dentro de los grupos	0,844	40	0,021			
Total	1,222	44				

**Tabla 15.- Tabla del ANOVA**

Como podemos observar el valor de probabilidad de la tabla anterior es inferior a nuestro nivel de significancia ( $0,004 < 0,05$ ), por lo que se rechaza la hipótesis nula y aceptaríamos la hipótesis alternativa, con lo cual determinamos que existen diferencias al menos entre 2 de los 5 promedios de los tratamientos.

### 3.1.2.1.1 Método de Tukey

Luego de determinar que existe una diferencia significativa entre 2 o más medias procedemos a utilizar otro método estadístico que me permite hallar cuales son las medias pertenecientes a distintos o igual grupos, lo cual lo podemos determinar a través de el Método de Tukey, este método consiste en hacer comparaciones pareadas e implica encontrar una diferencia significativa entre las medias  $i$  y  $j$  ( $i \neq j$ ) si  $(\bar{y}_i - \bar{y}_j)$  excede  $q[\alpha, k, v]s\sqrt{1/n}$ .

Para continuar con la prueba se coloca los promedios de modo ascendente:

<b><i>Vitavax</i></b>	<b><i>Testigo</i></b>	<b><i>Agua Tipo C</i></b>	<b><i>Score</i></b>	<b><i>Trichoderma</i></b>
8,11	11,78	14,33	14,89	15,67
27%	39%	48%	50%	52%

**Tabla 16.-Germinación promedio en semillas y porcentaje ordenados ascendentemente.**

Con una significancia del 5% el valor de  $q(0.05,5,40) = 4.04$

Por lo que las diferencias absolutas se comparan con:

$$4.04 \sqrt{\frac{0.021}{9}} = 0.195 = 19.5\%$$

Como resultado de las diferencias consecutivas entre las medias se obtiene.

Vitavax	12,22%	20,74%	22,59%	25,19%
	Testigo	8,52%	10,37%	12,96%
		Agua Tipo C	1,85%	4,44%
			Score	2,59%
				Trichoderma

**Tabla 17.- Diferencias consecutivas entre medias.**

Porcentaje de Germinación				
	Sustancia de Hidratación	N	Subset	
			1	2
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	VITABAX	9	,2704	
	TESTIGO	9	,3926	,3926
	AGUA TIPO C	9		,4778
	SCORE	9		,4963
	TRICHODERMA	9		,5222
	Sig.			,396
Duncan <sup>a,b</sup>	VITABAX	9	,2704	
	TESTIGO	9	,3926	,3926
	AGUA TIPO C	9		,4778
	SCORE	9		,4963
	TRICHODERMA	9		,5222
	Sig.			,082

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

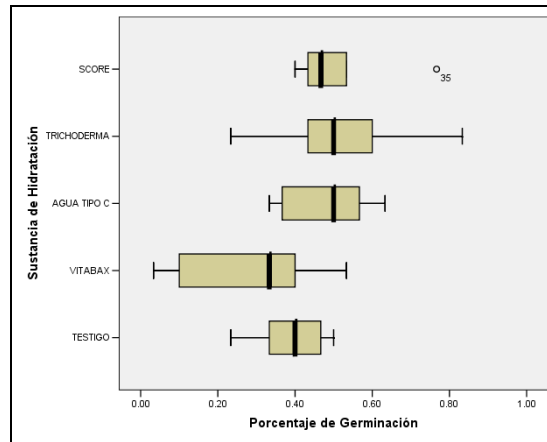
The error term is Mean Square(Error) = ,021.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,05.

**Tabla 18.- Tabla de diferencias**

De la tabla anterior los valores superiores al 19.5% muestran una diferencia significativa entre las medias. A continuación se muestra el resultado obtenido en el software SPSS.



**Gráfico 15.- Diagramas de Caja y bigote para el porcentaje de Germinación.**

Las conclusiones a las que se puede llegar a través de este estudio y como se puede observar en la Tabla de ANOVA el modelo estadístico es altamente significativo (0,004), además coincidiendo con el valor P, el cual al ser menor que 0,05 nos indica que aceptamos la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), lo cual significa que existe una diferencia en al menos 2 de las 5 medias en estudio, por lo cual se procede a analizar que medias son las que tienen diferencias estadísticamente diferentes, para lo cual nos guiamos en las pruebas que comparan las diferencias entre medias, las pruebas más comunes son la prueba de Tukey y Dúncan, mismas que arrojan resultados similares en la tabla de diferencias, para una mejor comprensión mostramos las diferencias existentes entre estas medias a través de la siguiente ilustración:

Vitavax   Testigo   Agua Tipo C   Trichoderma   Score

---

La conclusión para este estudio sería que la sustancia Vitavax es la única que da una diferencia significativa entre las medias, excepto al compararla con el testigo (no se encontró diferencia estadística entre estas dos sustancias), el testigo es indiferente al tratamiento pues no da una diferencia significativa con ninguna de las medias.



Aunque no existe una diferencia significativa la sustancia de Trichoderma es la que mejor resultado arroja en el porcentaje de germinación.

La conclusión que se puede emitir en este experimento es que el peor tratamiento que se les puede dar a las semillas, es el hidratar en la sustancia química Vitavax, ya que esta hidratación disminuye significativamente el porcentaje de germinación que se puede alcanzar con las otras sustancias.

Se recomienda tomar en cuenta el resultado y considerar más factores puesto que este no es el único causante del bajo porcentaje de germinación.

### **3.2 APLICACIÓN DEL DISEÑO DE BLOQUES COMPLETAMENTE AL AZAR**

La aplicación de este diseño experimental en los ensayos realizados en la Unidad de Negocio Propagación, no es recomendable por varias razones, una de las más importantes es que este diseño no arroja resultados confiables a menos que estemos seguros que no existe interacción entre el factor en estudio y bloque que se está controlando, por esa razón al tratar de evaluar este diseño se tiene que estar completamente seguro de la falta de interacción mencionada anteriormente, porque de lo contrario todo el trabajo, tiempo, esfuerzo, etc. se lanzarían al cesto de basura. Un error muy usual que se ha observado acerca de este diseño es que como no se tiene presente la existencia de esta interacción, los resultados obtenidos son incoherentes y muchas de las veces descabellados, por esa razón al aplicar los resultados conseguidos a través de la investigación los resultados obtenidos no son los deseados.

### **3.3 APLICACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL**

Este modelo es el más aplicativo de todos los anteriormente presentados, por varias razones, entre estas por la facilidad de comprensión de los resultados que arroja, además la intervención de un sin número de factores y con distintos niveles por

factor, sin importar el estudio o ensayo que se desee comparar, además para iniciar utilizaremos el diseño factorial  $2^k$ , el más sencillo dentro de este diseño, con el que se presentaran los conceptos y ayudará a la comprensión de los principios del mismo.

### 3.3.1 Aplicación de Hormona líquida en distintas edades del esqueje.

Para el presente ensayo se aplicará el diseño experimental Factorial, con 2 factores y a dos niveles cada uno de ellos.

Para la siembra de esquejes se utiliza una hormona, cuyo objetivo es ayudar a brotar raíces de las distintas variedades de esquejes que se manejan actualmente en la Unidad de Negocio Propagación, por lo que se va a estudiar el efecto que tiene el utilizar esquejes de distinta edad y utilizar hormona líquida de enraizamiento con distintas porciones por millón (ppm). En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos del cultivo y variedad Gypsophila Alicia respectivamente.

GYPSOPHILA ALICIA						
CULTIVO	NUMERO BANDEJAS ENSAYO	SEMANA SIEMBRA	SEMANA DE DATOS			
GYP ALICIA	33	734	739			
<b>1000 ppm</b>				<b>1</b>		
<b>Esqueje Nuevo</b>						
Nº de Planta	Masa Total Planta (g)	Masa Follaje (g)	Masa Radicular (g)	Longitud Follaje (mm)	Longitud Radicular (mm)	Diametro del Tallo (mm)
1	2,37	1,91	0,46	60,30	112,45	5,10
2	1,63	1,35	0,28	54,25	90,85	4,15
3	2,10	1,79	0,31	54,90	149,55	3,80
4	2,60	2,27	0,33	65,75	116,30	4,70
5	2,46	2,05	0,41	62,30	106,95	5,20
6	1,74	1,47	0,27	59,00	110,50	4,75
7	2,26	2,00	0,26	57,30	147,60	5,25
8	2,60	2,25	0,35	72,75	114,75	5,35
9	2,57	2,00	0,57	53,50	96,20	6,00
10	1,70	1,45	0,25	52,50	122,50	4,60
<b>2500 ppm</b>				<b>2</b>		
<b>Esqueje Nuevo</b>						
Nº de Planta	Masa Total Planta (g)	Masa Follaje (g)	Masa Radicular (g)	Longitud Follaje (mm)	Longitud Radicular (mm)	Diametro del Tallo (mm)
1	1,16	1,05	0,11	45,50	91,45	4,75
2	2,29	2,12	0,17	57,25	111,40	4,55
3	2,09	1,86	0,23	65,80	125,25	5,05
4	1,33	1,13	0,20	57,45	119,30	3,50
5	1,29	1,13	0,16	47,25	99,35	4,15
6	1,97	1,67	0,30	68,10	100,95	4,75
7	2,66	2,38	0,28	56,50	106,70	6,20
8	1,61	1,38	0,23	51,00	100,70	4,70
9	1,59	1,39	0,20	51,65	90,25	5,00
10	1,63	1,47	0,16	49,80	112,90	5,55
Nº de Planta	Masa Total Planta (g)	Masa Follaje (g)	Masa Radicular (g)	Longitud Follaje (mm)	Longitud Radicular (mm)	Diametro del Tallo (mm)
1	1,66	1,32	0,34	67,70	120,05	5,10
2	1,49	1,20	0,29	62,00	67,65	4,05
3	1,17	1,00	0,17	58,10	88,05	4,75
4	1,75	1,62	0,13	45,55	74,00	4,85
5	1,27	1,12	0,15	50,00	45,80	5,25
6	1,73	1,49	0,24	61,80	94,20	5,25
7	2,01	1,87	0,14	75,20	54,55	6,20
8	2,95	2,51	0,44	65,00	38,15	4,80
9	1,50	1,31	0,19	48,50	113,55	4,65
10	1,69	1,36	0,33	62,60	85,55	5,05
Nº de Planta	Masa Total Planta (g)	Masa Follaje (g)	Masa Radicular (g)	Longitud Follaje (mm)	Longitud Radicular (mm)	Diametro del Tallo (mm)
1	1,17	1,04	0,13	52,00	90,00	5,50
2	1,48	1,35	0,13	65,85	98,75	3,45
3	1,45	1,32	0,13	49,50	100,75	4,40
4	1,62	1,49	0,13	74,15	112,35	5,00
5	1,12	0,99	0,13	59,70	101,60	3,60
6	1,82	1,61	0,21	56,30	89,40	4,75
7	2,14	1,87	0,27	56,30	74,75	5,60
8	1,62	1,23	0,39	58,35	96,75	4,05
9	1,42	1,29	0,13	61,70	111,80	5,00
10	2,17	1,98	0,19	57,30	85,20	5,75

**Tabla 19.- Datos de diseño factorial 2k**

Los datos obtenidos de una muestra pueden ser observados en la tabla anterior, la variable de interés para nuestro estudio es la masa radicular, puesto que la hormona ayuda principalmente al desarrollo de las raíces y por consecuencia se esperaría una mayor longitud radicular, un mayor diámetro, etc.

A continuación presentamos los datos a utilizar:

Edad del esqueje	Cantidad de Hormona para la siembra (p.p.m.)									
	1000 ppm.					2500 ppm.				
Nuevo	0,46	0,28	0,31	0,33	0,41	0,11	0,17	0,23	0,2	0,16
	0,27	0,26	0,35	0,57	0,25	0,3	0,28	0,23	0,2	0,16
Viejo	0,34	0,29	0,17	0,13	0,15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
	0,24	0,14	0,44	0,19	0,33	0,21	0,27	0,39	0,13	0,19

**Tabla 20.- Masa radicular medida en gramos.**

Las hipótesis a evaluarse en el ANOVA van a ser las siguientes:

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = 0$$

$$H_A : \alpha_i \neq 0 \text{ para algún } i$$

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

$$H_A : \beta_j \neq 0 \text{ para algún } j$$

y

$$H_0 : (\alpha\beta)_{ij} = 0 \text{ para todo } ij$$

$$H_A : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0 \text{ para algún } ij$$

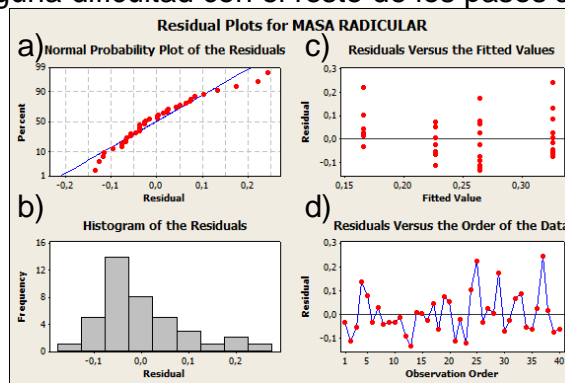
Donde:

$\alpha$  : es el efecto del Factor A (Edad del esqueje),

$\beta$  : es el efecto del Factor B (Porción por millón) y

$\alpha\beta$  : Es la interacción existente entre los factores (AB)

Para su estudio primero mostraremos el cumplimiento de los supuestos y poder así continuar sin ninguna dificultad con el resto de los pasos a seguir.

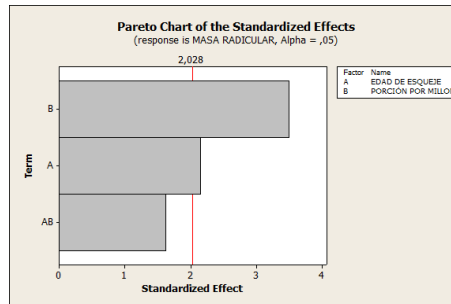


**Gráfico 16.- Cumplimiento de los supuestos: a) y b) Normalidad, c) Homocedasticidad, d) Independencia.**

Como se puede observar todos los supuestos (normalidad, independencia y Homocedasticidad) se cumplen por lo que procedemos al siguiente paso que es el de aplicar el diseño experimental a los datos y el estudio del ANOVA, con la ayuda del software Minitab obtenemos las siguiente tabla de Análisis de Varianza;

<b>Factorial Fit: MASA RADICULAR versus EDAD DE ESQUEJE. PORCIÓN POR MILLON</b>					
Estimated Effects and Coefficients for MASA RADICULAR (coded units)					
<b>Term</b>	<b>Effect</b>	<b>Coef</b>	<b>SE Coef</b>	<b>T</b>	<b>P</b>
EDAD DE ESQUEJE	-0,06100	-0,03050	0,01416	-2,15	0,038
PORCIÓN POR MILLON	-0,09900	-0,04950	0,01416	-3,50	0,001
EDAD DE ESQUEJE*PPM	0,04600	0,02300	0,01416	1,62	0,113

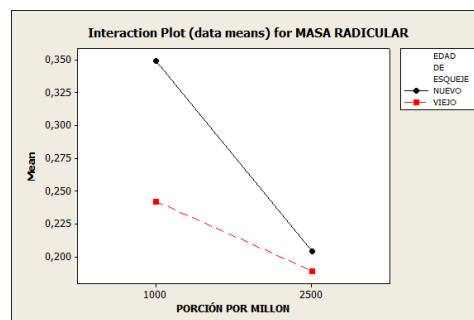
Tabla 21.- ANOVA del Diseño Factorial.



**Gráfico 17.- Diagrama de Pareto de los factores de la masa radicular.**

El gráfico superior muestra los factores influyentes en nuestro experimento factorial, estos factores son significativos en el diseño cuando las barras sobrepasan la línea crítica (línea en el gráfico), como se puede observar en nuestro estudio los factores A y B son los influyentes, mas no así la interacción existente entre estos factores (AB), por lo que procedemos a eliminar este factor del análisis de Varianza y su error entra a la sumatoria del error total.

Además nos podemos apoyar en el gráfico siguiente que nos da una idea clara de que no existe interacción entre los factores ya mencionados.



**Gráfico 18.- Porción por millón vs. edad del esqueje.**

Por esta razón se realiza un nuevo ANOVA sin considerar la interacción entre los factores.

<b>Factorial Fit: MASA RADICULAR versus EDAD DE ESQUEJE. PORCIÓN POR MILLON</b>					
Estimated Effects and Coefficients for MASA RADICULAR (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,24600	0,01447	17,00		0,000
EDAD DE ESQUEJE	-0,06100	-0,03050	0,01447	-2,11	0,042
PORCIÓN POR MILLON	-0,09900	-0,04950	0,01447	-3,42	0,002

Tabla 22.- ANOVA modificado del Diseño Factorial.

De aquí se puede observar que la edad del esqueje y la porción por millón (ppm) de hormona son influyentes en la masa radicular, e incluso la mejor combinación y con la cual se esperaría un magnifico resultado es la de utilizar esquejes de edad óptima con 1000 ppm.

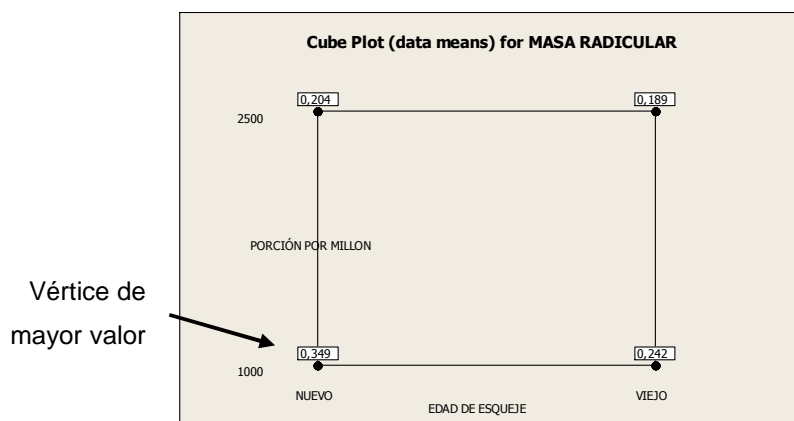


Gráfico 19.- Cubo de los factores con sus niveles.

La conclusión para este experimento factorial se daría por la interpretación del diagrama de cubo, en la parte superior, el cuál indica el mejor tratamiento que en este caso se daría para la obtención de la mayor masa radicular. Para esta obtención se tiene que preferir sembrar esquejes de edad joven con 1000 p.p.m. de hormona líquida para obtener la mayor masa radicular.

La recomendación es que en lo posible no se siembre esquejes de edad vieja con una cantidad de 2500 p.p.m. de hormona líquida, pues es el peor tratamiento que se le puede dar a los esquejes.

Cabe indicar que si no queda de otra y se deben utilizar esquejes que tengan edad mayor a la óptima, es recomendable sembrarlas con 1000 p.p.m. de hormona, pues según el estudio este tratamiento daría mejor resultado.

### **3.3.2 Hidratación y temperatura de almacenamiento de la Molucella.**

En la aplicación de este experimento factorial se consideraron 2 factores que son los permitidos, con 2 y 5 niveles respectivamente, además que se tiene 9 repeticiones para cada tratamiento, de donde el total de observaciones es de 90.

Básicamente esta aplicación consiste en hallar si la hidratación (Factor A) de la semilla antes de su siembra tiene algún tipo de influencia en el porcentaje de germinación, y además buscando la influencia de la temperatura a la que son almacenadas (Factor B) dichas semillas antes de su siembra.

En la tabla siguiente se presenta los datos pertenecientes a cada tratamiento y bloque para su posterior análisis.

		Temperatura de almacenamiento de semillas					
		Temperatura					
Sustancia de Hidratación		Ambiente 18 °C.			Con frío 6 días 2 °C.		
		Score	40,0	66,7	46,7	56,7	56,7
	Score	63,3	63,3	56,7	50,0	50,0	56,7
		50,0	50,0	36,7	60,0	63,3	53,3
	Trichoderma	43,3	50,0	50,0	53,3	50,0	66,7
		56,7	53,3	43,3	60,0	43,3	63,3
		30,0	50,0	40,0	46,7	40,0	60,0
	Vitavax	53,3	53,3	46,7	53,3	73,3	33,3
		56,7	36,7	66,7	43,3	60,0	40,0
		60,0	73,3	53,3	46,7	53,3	46,7
	Agua tipo C	63,3	63,3	46,7	56,7	53,3	20,0
		80,0	60,0	53,3	60,0	53,3	73,3
		53,3	50,0	33,3	56,7	53,3	60,0
	Testigo	73,3	60,0	50,0	60,0	36,7	70,0
		60,0	46,7	63,3	50,0	66,7	66,7
		53,3	60,0	36,7	53,3	53,3	66,7

**Tabla 23.- Porcentajes de Germinación.**

Las hipótesis a probar en el ANOVA son las siguientes:

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 0$$

$$H_A : \alpha_i \neq 0 \text{ para algún } i$$

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

$$H_A : \beta_j \neq 0 \text{ para algún } j$$

y



$$H_0 : (\alpha\beta)_{ij} = 0 \text{ para todo } ij$$

$$H_A : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0 \text{ para algún } ij$$

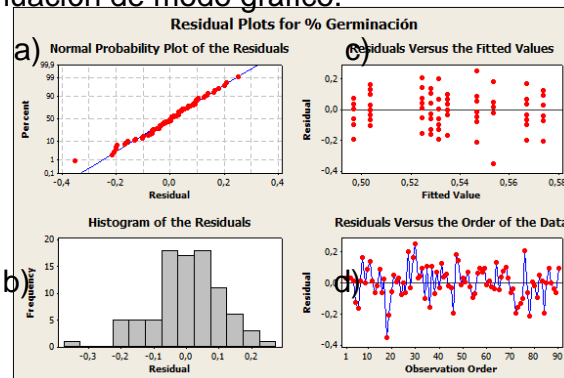
Donde

$\alpha$  : es el efecto del Factor A (Sustancia de Hidratación),

$\beta$  : es el efecto del Factor B (Temperatura de almacenamiento) y

$\alpha\beta$  : Es la interacción existente entre los factores (AB)

Para continuar con el análisis se tiene que cumplir con los supuestos los mismos que se presentan a continuación de modo gráfico.



**Gráfico 20.- Cumplimiento de los supuestos: a) y b) Normalidad, c) Homocedasticidad, d) Independencia.**

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos podemos continuar con el siguiente paso.

Al realizar el análisis de Varianza en el software Minitab obtenemos:

Analysis of Variance for % Germinación, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
T. de Secado	1	0,00101	0,00101	0,00101	0,09	0,771
Hidratación	4	0,04975	0,04975	0,01244	1,06	0,384
T. de Secado*Hidratación	4	0,04198	0,04198	0,01050	0,89	0,473
Error	80	0,94272	0,94272	0,01178		
Total	89	1,03546				

**Tabla 24.- ANOVA completo del experimento factorial.**

Como se puede observar el valor P de la interacción (0,473) no es influyente en el modelo por lo que se procede, al igual que en el ejemplo anterior, a eliminar del análisis la interacción existente entre estos dos factores y a realizar nuevamente el estudio de la varianza, de donde se obtiene:

<b>Analysis of Variance for % Germinación, using Adjusted SS for Tests</b>						
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Seq SS</b>	<b>Adj SS</b>	<b>Adj MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
T. de Secado	1	0,00101	0,00101	0,00101	0,09	0,770
Hidratación	4	0,04975	0,04975	0,01244	1,06	0,381
Error	84	0,98470	0,98470	0,01172		
Total	89	1,03546				

**Tabla 25.- ANOVA del experimento factorial sin la interacción.**

La conclusión a la que se puede llegar a través de los valores P obtenidos en cada uno de los factores, sobrepasa por mucho el valor apriori del 0,05 (valor de significancia), mismo que nos guía e indica qué factores estudiados en este experimento cumplen con las hipótesis nulas, lo que quiere decir que los factores en estudio no son influyentes para el porcentaje de germinación del cultivo Molucella.

La recomendación a seguir para este estudio es evaluar otros posibles factores que intervengan en el tiempo que las semillas se encuentran en etapa de germinación como por ejemplo la temperatura luego de la siembra, tipo de sustrato, aplicación de un producto (bioles) en el sustrato.

## CAPÍTULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- Las técnicas de Diseño Experimental que se utiliza con mayor frecuencia en la Unidad de Negocio Propagación son el Diseño Completamente Aleatorizado y el Experimento Factorial.
- La automatización del proceso de Diseño Experimental de los ensayos que se practican obliga a la Unidad de Negocio Propagación a la recopilación de información con el propósito de efectuar estudios estadísticos, dejando de lado el actual procedimiento empírico.
- La elaboración del manual facilita el análisis de la información y ayuda a comprender mejor los resultados obtenidos al aplicar el Diseño Completamente Aleatorizado, el Diseño de Bloque Aleatorizado y los Experimentos Factoriales a través de gráficos.
- La aplicación de los Diseños Experimentales permite un mejor conocimiento del proceso de propagación a través de la identificación de factores influyentes en la variable de interés, que desembocan en el mejoramiento de la productividad.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Dar mayor énfasis al estudio de los ensayos practicados en la Unidad de Negocio Propagación con la ayuda del Diseño Experimental para una correcta toma de decisiones.
- Recopilar información con respecto a las variables de interés en todos los ensayos de manera frecuente para efectuar futuros estudios estadísticos.
- Continuar investigando la presencia de otros posibles factores que afectan la variable de interés en los cultivos ya estudiados.
- Contratar personal especializado en el ámbito de la estadística para el manejo del software e interpretación de los resultados obtenidos.
- Utilizar sobre todo los Experimentos Factoriales en los ensayos con el propósito de identificar los tratamientos óptimos.
- Socializar los resultados obtenidos en todas las Unidades de Negocio pertenecientes a HILSEA para promover la cultura estadística en la empresa y abandonar el tradicional procedimiento empírico.

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue aplicar la técnica estadística conocida como Diseño de Experimentos a los ensayos que se realizan en la empresa HILSEA INVESTMENTS LIMITED Unidad de Negocio PROPAGACIÓN, ubicada en el Quinche prov. Pichincha, para corregir procesos de siembra y mejorar la calidad de plantas ornamentales. Se utilizaron materiales tales como sustancias químicas y orgánicas, sustratos y variación de temperaturas para que a través de la observación, medición y análisis de datos recolectados se puedan tomar las mejores decisiones respecto a la variable de interés.

La investigación presenta aplicaciones prácticas del diseño completamente aleatorio y los experimentos factoriales a través de los cuales se han detectado varios problemas en los procesos de producción entre los cuales destacamos la ineficiencia de germinación de semillas por problemas con el sustrato, que luego de ser corregidos aumentó en un 15% la eficiencia de germinación o la obtención de al menos 20 gramos más de masa radicular en los cultivos al combinar apropiadamente factores durante la siembra, logrando así el aumento en la productividad general en un 8.2%, y reduciendo el costo de planta exportable de 3.22 centavos a 2.84 centavos por hectárea.

En el análisis estadístico se utilizó el software estadístico MINITAB para una mejor comprensión de los resultados de la aplicación de estas técnicas experimentales.

Se recomienda la utilización de los Experimentos Factoriales para comprender mejor los procesos y así mejorar la calidad del producto.

## SUMMARY

The objective of this research was to improve seeding processes and quality of ornamental plants. In order to do this, the statistical technique known as EXPERIMENTAL DESIGN was applied in the trials done at the HILSEA INVESTMENTS LIMITED Unidad de Negocio PROPAGACIÓN, located in Quinche, Province of Pichincha. Materials such as chemical and organic substances, substrates and temperature variation were used. In order to make the best decisions about the target variable observation, measurement, and data collection were developed.

This research shows practical applications of the design made at random, and factorial experiments. Some problems about production were determined among others: Low seed germinating efficiency because of substrate problems. After its correction, 15% efficiency was increased, and at least 20 grams of root mass was incremented in cultivation. This was done by combining factors properly during sowing 8.2% of general productivity was incremented. The cost of the exportable plant was reduced from USD 3.22 to 2.84/Ha.

MINITAB statistical software was used to improve results comprehension of these experimental techniques.

It is recommended the usage of factorial experiments to improve product quality process.

# ANEXOS

**AUTOMATIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DISEÑO EXPERIMENTAL  
APLICADAS Y MANUAL DEL USUARIO**

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**MANUAL PARA RESOLVER ENSAYOS  
APLICANDO DISEÑO ESTADÍSTICO DE  
EXPERIMENTOS**

---

**MINITAB® Release 14**  
Statistical Software

**GUÍA  
DEL  
USUARIO**



## **MANUAL DE USUARIO**

### **Introducción.**

Bienvenidos a la documentación del manual para resolver ensayos aplicando DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS.

Esta es una guía completa para la utilización adecuada del software estadístico MINITAB como herramienta para la realización de análisis estadísticos en el área de diseño estadístico de experimentos.

Se ha tratado de detallar cada uno de los procesos, sus herramientas, ayuda, etc. para la correcta utilización e interpretación de los distintos resultados que se pueden llegar a obtener con este paquete estadístico muy versátil. MINITAB incorpora una ayuda que permite encontrar rápidamente el tema que interesa, casi siempre explicado de forma clara y concreta. La intención ha sido presentar la información de forma muy visual, de manera que no haga falta leer largos párrafos para entender cómo se hacen las cosas.

Está dirigido a los usuarios finales con algún grado de conocimiento en el área del Diseño Experimental.

Los usuarios tendrán la posibilidad de conocer los pasos para poder determinar el modelo matemático más adecuado y así analizar los datos obtenidos en cualquier tipo de ensayo o experimento.

Indicamos que MINITAB es únicamente una herramienta para poder resolver con mayor facilidad cualquier problema estadístico, lo cual indica que nosotros somos los responsables por los resultados obtenidos en este software y además somos los que

podemos verificar si las cosas se están dando de manera correcta en los datos que hayamos recolectado.

### **Empezar a trabajar con un diseño experimental adecuado.**

Antes de empezar a realizar cualquier ensayo, debemos reconocer el problema y saber cuales van a ser los objetivos que se desean alcanzar a través de la investigación, para poder ir al siguiente paso que es el de determinar las variables a controlar y poder adecuar el ensayo al diseños experimental que cumplan con las condiciones que necesita cada uno de ellos.

Otro paso que tiene mucha importancia es la recolección de información, pues se necesita la información más confiable y medida con aparatos que den una precisión en la medida de la variable o variables que se estén estudiando. Una vez cumplido estos pasos se debe realizar un correcto análisis para que la decisión a tomar dé los resultados esperados y poder mejorar el proceso en cualesquiera de sus etapas. Para hacer un breve recuento de los diseños experimentales utilizables y sobre todo aplicables a nuestros ensayos nos guiaremos en la siguiente tabla:

<b>DISEÑO</b>	<b>FACTORES QUE ANALISA</b>	<b>PRINCIPAL VENTAJA</b>	<b>PRINCIPAL DESVENTAJA</b>
Diseño completamente al azar.	Uno.	La sencillez del diseño experimental.	Si las unidades experimentales no son homogéneas el diseño no es apropiado.
Diseño de bloques completamente al azar.	Uno.	Ayuda a controlar una sola fuente extraña de variabilidad.	No sirve si existe interacción entre el factor y el bloque controlado.
Experimentos Factoriales.	Más de Un factor.	Facilita la comprensión de resultados obtenidos a través de gráficos.	Complejidad del modelo matemático y del ANOVA.

Información de los Diseños experimentales.

## Pantalla de acceso.

Una vez que tenga instalado el software aparecerá una pantalla con el siguiente gráfico.



A partir de la pantalla principal que presentaremos a continuación se detallará como trabajar con las distintas ventanas de las mismas y sus respectivos nombres.

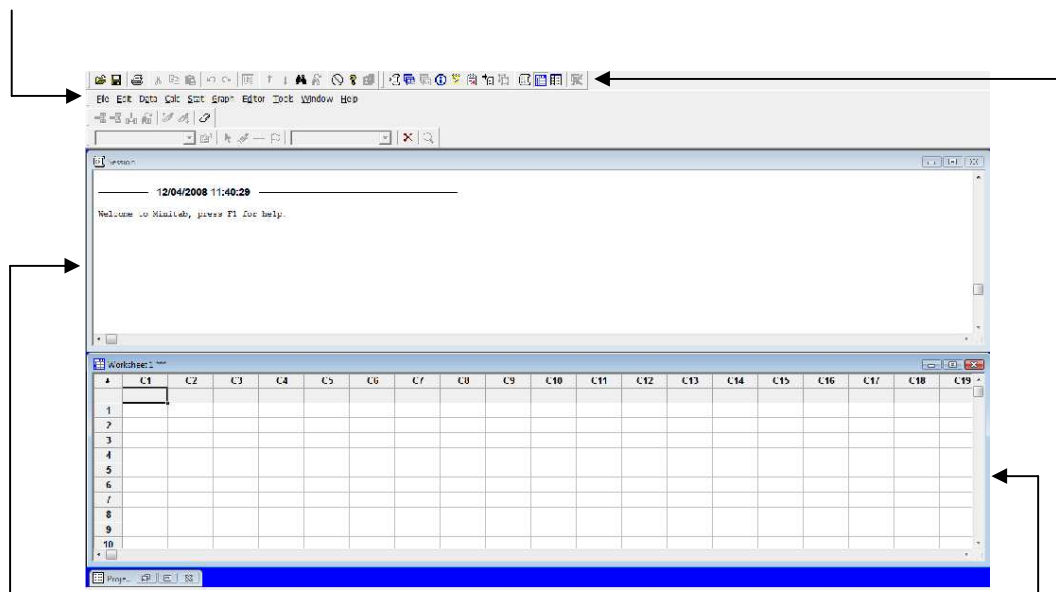
## Pantalla Inicial

### Menú principal

Haciendo clic sobre cualquier opción aparecen los submenús

### Botones de acción

Dejando el cursor encima aparece un rótulo indicando lo que hace.



### Ventana de Sesión

Es la parte donde aparecen los resultados de los análisis realizados. También sirve para escribir instrucciones como forma alternativa al uso de los menús.

### Hoja de datos

Tiene el aspecto de una hoja de cálculo, con filas y columnas. Las columnas se denominan C1, C2... tal como está escrito, pero también se les puede dar un nombre, escribiéndolo debajo de C1, C2...

## Entrar datos.

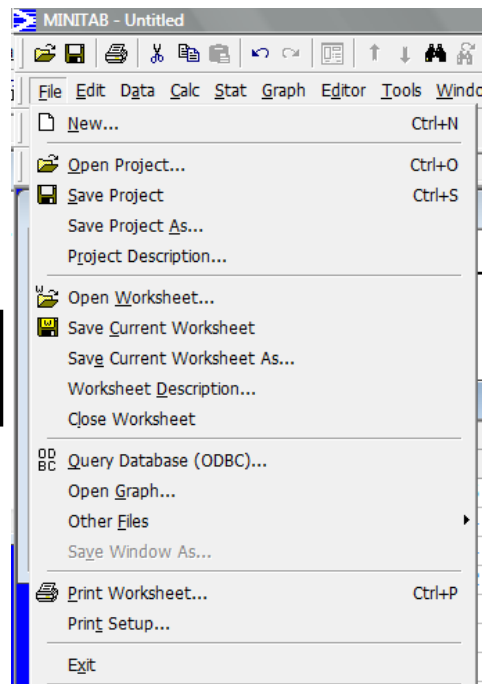
Los datos pueden entrarse directamente a través del teclado o recuperarlos de un archivo grabado previamente.

	C1-T	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
1	NORTE	24	65	75	43								
2	SUR	32	54	76	78								
3	ESTE	34	34	75	55								
4	OESTE	34	22	65	44								
5													
6													
7													
8													
9													
10													

## Guardar datos: Hojas de datos y Proyectos

**Project**  
Guarda toda la información que contiene MINITAB, incluyendo hoja de datos, contenido de la ventana de Sesión y de los cuadros de diálogo y gráficos que se hayan creado.

**Worksheet**  
Guarda solo el contenido de la hoja de datos.



Un archivo sólo se puede recuperar de la forma como ha sido grabado **Worksheet** (hoja de datos) se recupera como **Worksheet**. De igual manera para los **Project**.

Además que MINITAB se entiende muy bien con Excel (archivos xls). Puede importar una hoja de datos de Excel usando la opción **Open Worksheet**.

### Introducción al manejo de datos: Borrar e insertar.

#### Borrar columna

Haga clic en el nombre de la columna (el nombre por defecto: C1, C2...) y pulse la tecla [Suprimir]. Las columnas que quedan a la derecha se desplazan para ocupar el de la eliminada.

#### Borrar fila

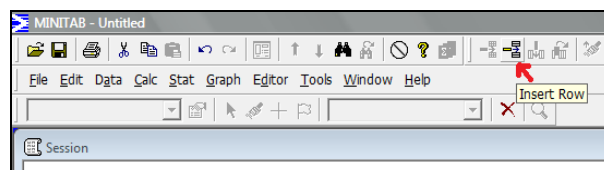
Haga clic sobre el número de la fila y pulse la tecla [Suprimir]. Las filas que quedan debajo suben para ocupar el lugar de la eliminada.

#### Borrar celda

Situarse sobre la celda y pulsar la tecla [Suprimir].

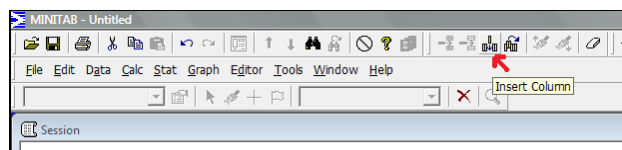
#### Insertar fila

Haga clic sobre el número de la fila encima de la cual se quiere insertar la nueva y a continuación clic en el botón de **Insert rows**.



#### Insertar columna

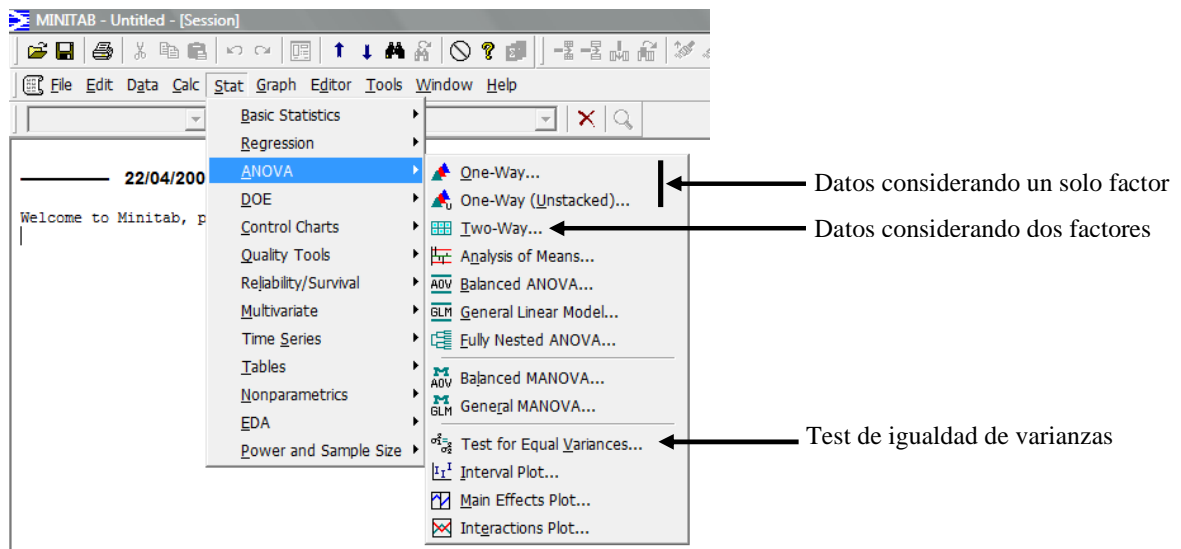
Haga clic sobre el nombre (C1, C2...) de la columna a la izquierda de la cual se quiere insertar la nueva. A continuación clic en el botón de **Insert columns**.



Si los iconos de insertar filas y columnas no aparecen en su barra de herramientas vaya **Tools > Toolbar** y marque la opción **Worksheet**. Si los iconos aparecen pero no están activados es porque no ha seleccionado dónde se debe insertar la fila o columna.

## ANALISIS DE VARIANZA PARA EL DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR

### Stat > ANOVA



Para la comprensión de la utilización de esta parte de herramientas estadísticas tomaremos un ejemplo sencillo en el cual se considera un solo factor a 3 niveles de comparación.

#### Datos considerando un solo factor.

Se realiza un experimento para determinar si el porcentaje de germinación de un cultivo depende de la variedad de la cual provengan.

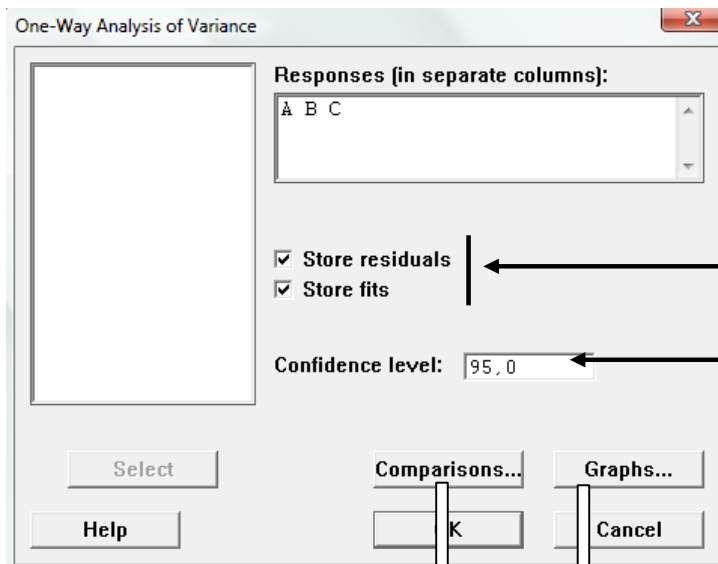
Los datos representan en porcentaje, la germinación que se obtuvo luego de sembrar 100 semillas por repetición.

Variedad A	41,8	39,6	46,2	39,6		
Variedad B	35,2	24,5	28,6	30,8	24,2	
Variedad C	28,6	35,2	39,6	24,2	33,0	24,2

¿Hay alguna variedad que tenga mayor porcentaje de germinación?

Se trata de un problema de comparación de las medias de 3 tratamientos, donde solo se considera la influencia del factor “Variedad”. Al colocar los datos diferentes columnas en la hoja Worksheet de MINITAB obtenemos:

**Stat > ANOVA > One-way (Unstacked)**

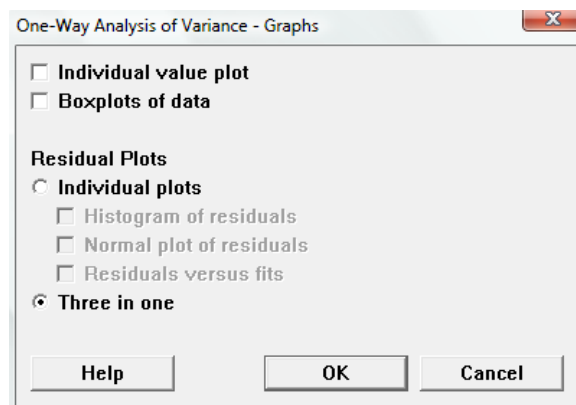
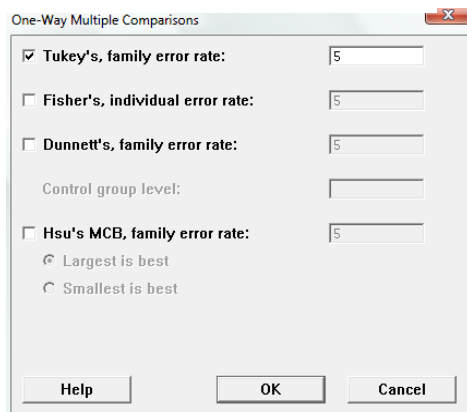


Almacena los residuos y los valores previstos en la hoja de datos.

Nivel de confianza de los intervalos que aparecen en las medias.

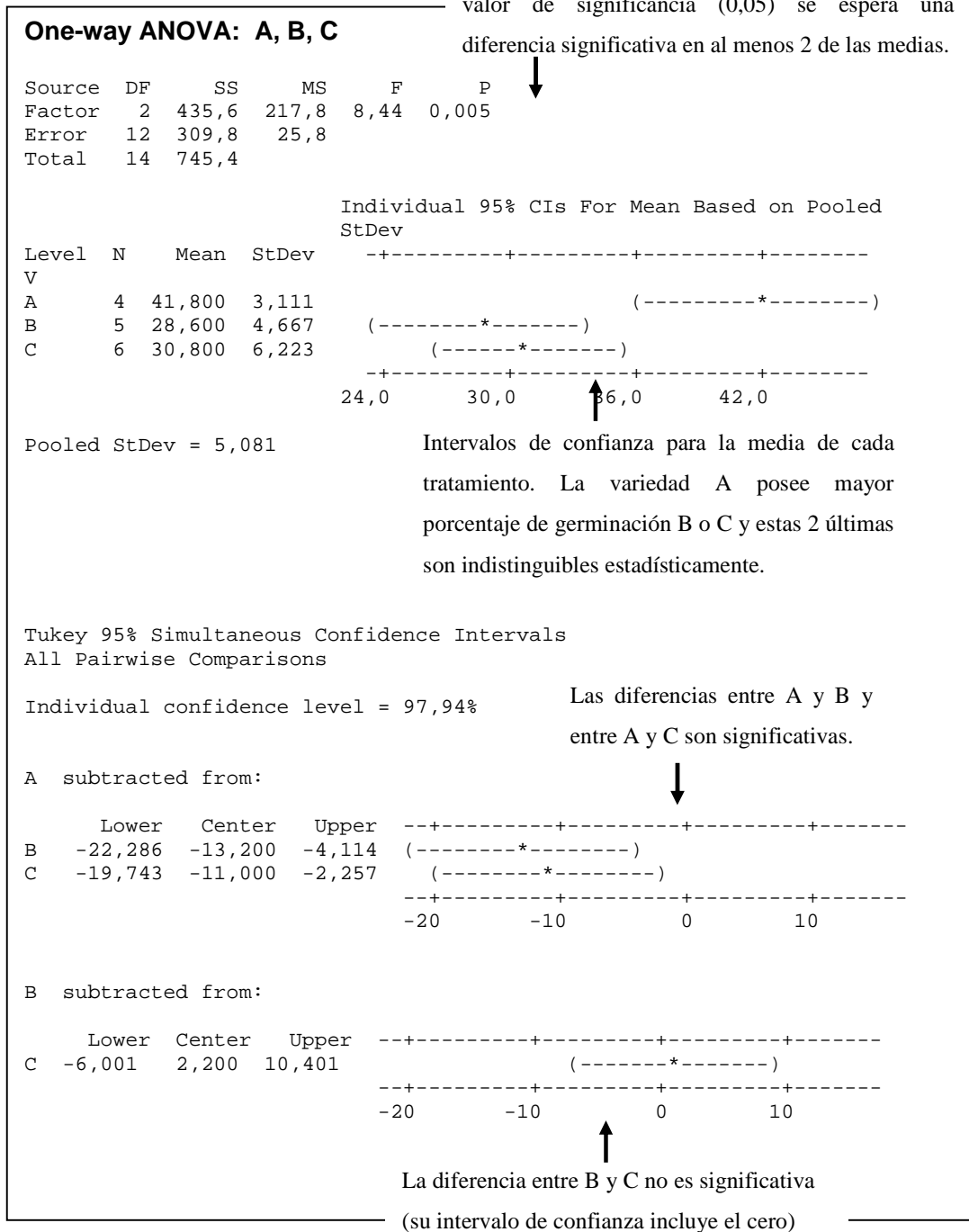
Varios métodos para obtener intervalos de confianza de las diferencias entre tratamientos dos a dos.

Gráficos de valores individuales y de residuos. Una buena opción es el tres en uno.

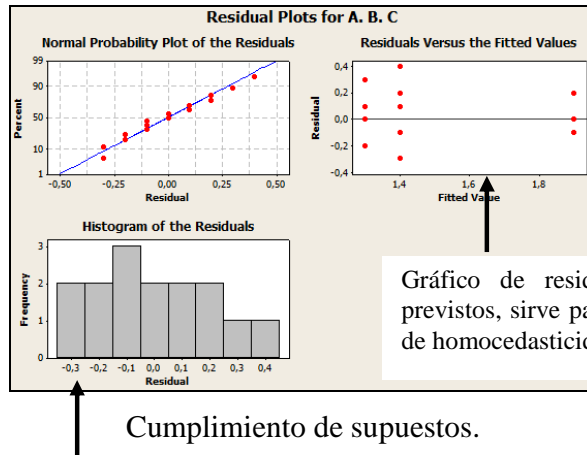


Además los resultados arrojados en el análisis de Varianza se presentan en la **Ventana de Sesión**, (explicada en la primera seccion)

Como el valor obtenido en el valor P es inferior al valor de significancia (0,05) se espera una diferencia significativa en al menos 2 de las medias.







Histograma y representación de los residuos en papel probabilístico normal (verifica la normalidad y la no existencia de anomalías).

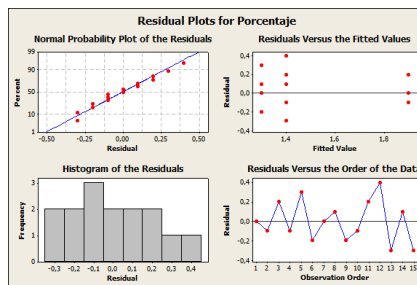
En la hoja de datos quedan almacenados los valores de los residuos y los valores previstos (porque se marcaron esas opciones).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	V1	V2	V3	RESID	RESID	FITSS	FITSS	FITSS			
1	41,8	35,2	28,6	-0,0	-6,6	-2,2	41,8	28,6	30,8		
2	39,6	24,2	35,2	-2,2	-4,4	4,4	41,8	28,6	30,8		
3	46,2	28,6	39,6	4,4	0,0	8,8	41,8	28,6	30,8		
4	39,6	30,8	24,2	-2,2	2,2	-6,6	41,8	28,6	30,8		
5		24,2	39,6		-4,4	2,2		28,6	30,8		
6			24,2			-6,6			30,8		
7											
8											
9											
10											
11											

Si los datos se encuentran en una sola columna hay que hacer:

**Stat > ANOVA > One-way**

Todas las opciones y los resultados son los mismos excepto para los gráficos en que sustituye el “Tres en uno” por el “Cuatro en uno”, añadiendo un gráfico de residuos en función del orden en que aparecen los datos.



## ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DISEÑO DE BLOQUES COMPLETAMENTE AL AZAR

### Datos considerando dos factores (Two-Way)

Se realiza un estudio para analizar si al sembrar esquejes con distintas dosis de hormona líquida para enraizamiento, de las tres disponibles, afecta la masa radicular, además se sospecha que la edad del esqueje influye en la obtención de mayor masa radicular, se bloquea el diseño colocando cinco plantas para cada edad de esqueje. Los resultados obtenidos son:

ESQUEJE	DOSIS								
	1			2			3		
1	7,3	7,0	7,0	6,2	6,5	6,4	5,5	6,0	6,7
	6,5	7,6		7,2	6,3		6,1	6,5	
2	6,9	7,1	7,2	5,7	6,4	6,9	6,9	5,7	7,0
	7,4	6,3		6,0	6,8		6,5	6,3	

¿Puede decirse que la dosis de hormona afecta la obtención de masa radicular?

Obsérvese que ahora tenemos un factor en estudio pero se cree que existe la influencia de otro factor para nuestra variable respuesta, por lo que se ha decidido realizar la investigación correspondiente.

Los datos son colocados en la hoja de datos de la forma:

	C1	C2	C3	C4
	Masa	Dosis	Esqueje	RESI1
1	7,3	1	1	
2	6,2	2	1	
3	5,5	3	1	
4	7,0	1	1	
5	6,5	2	1	
6	6,0	3	1	
7	7,0	1	1	
8	6,4	2	1	
9	6,7	3	1	
10	6,5	1	1	
11	7,2	2	1	
12	6,1	3	1	
13	7,6	1	1	
14	6,3	2	1	
15	6,5	3	1	
16	6,9	1	2	
17	5,7	2	2	
18	6,9	3	2	
19	7,1	1	2	
20	6,4	2	2	
21	5,7	3	2	
22	7,2	1	2	
23	6,9	2	2	
24	7,0	3	2	
25	7,4	1	2	

C1: Valores de la masa radicular. (gramos)

C2: Dosis de la hormona líquida (p.p.m.)

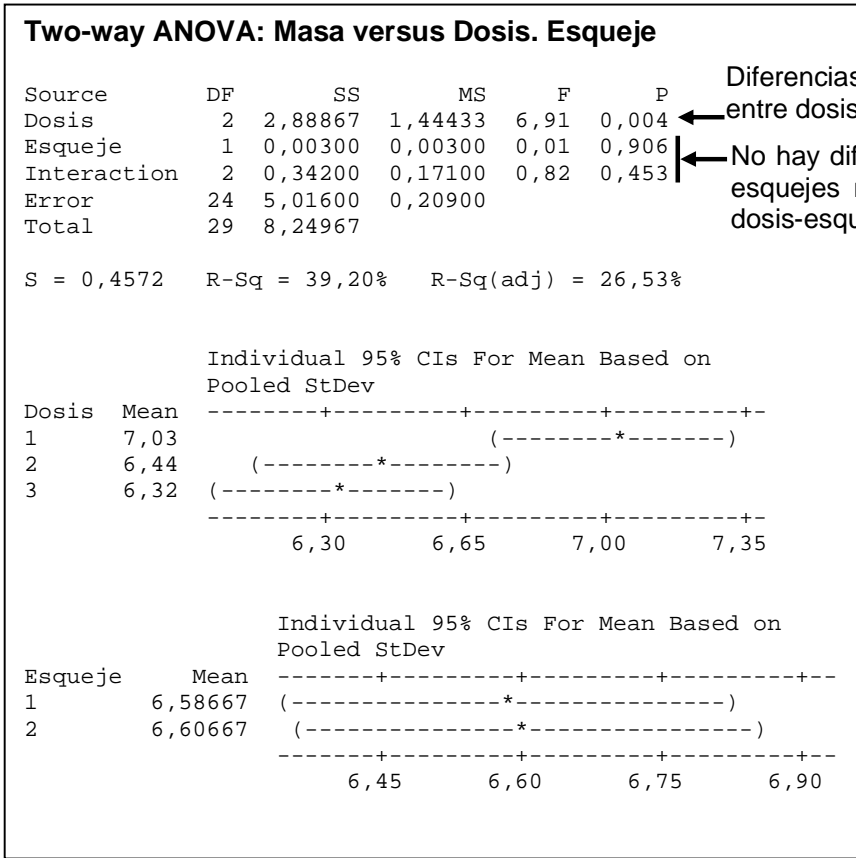
C3: Edad del esqueje

**Stat > ANOVA > Two –way**

**Display means:** Muestra intervalos de confianza para las medias.

Almacena residuos y valores previstos

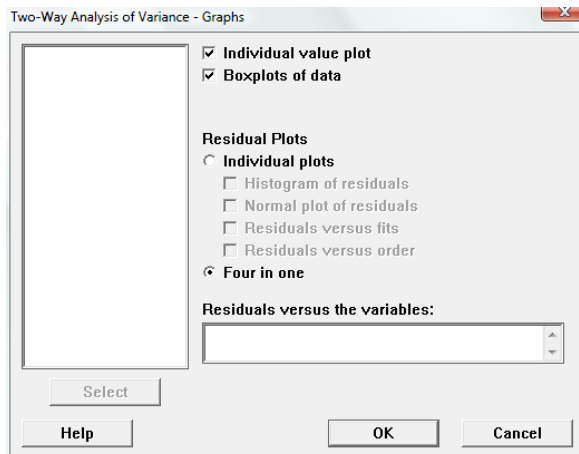
Si está marcado: modelo aditivo. No considera la posible interacción entre los factores.



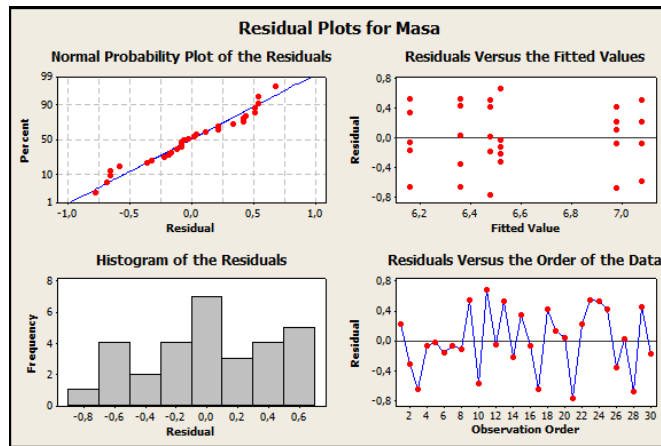
Diferencias significativas entre dosis.

No hay diferencia entre esquejes ni interacción dosis-esquejes

El botón **Graph** permite obtener diferentes tipos de gráficos de los residuos.



Utilizando la opción "Four in one" se obtiene la siguiente ventana con 4 gráficos para juzgar el comportamiento de los datos.



### Test de Igualdad de varias varianzas.

Stat > ANOVA > Test for Equal Variances

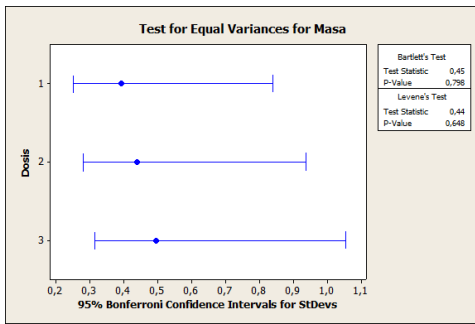
Retomamos los datos del estudio para comparar el la masa radicular según la variedad de la planta. ¿Puede decirse que existen diferencias de variabilidad en la masa radicular según sea la variedad del cultivo?

Vamos a **Test for Equal Variances:**

The screenshot shows the 'Test for Equal Variances' dialog box with the following settings:

- Response:** Masa
- Factors:** Dosis
- Confidence level:** 95.0
- Title:** (empty)

Buttons at the bottom include: Select, Storage..., Help, OK, and Cancel.



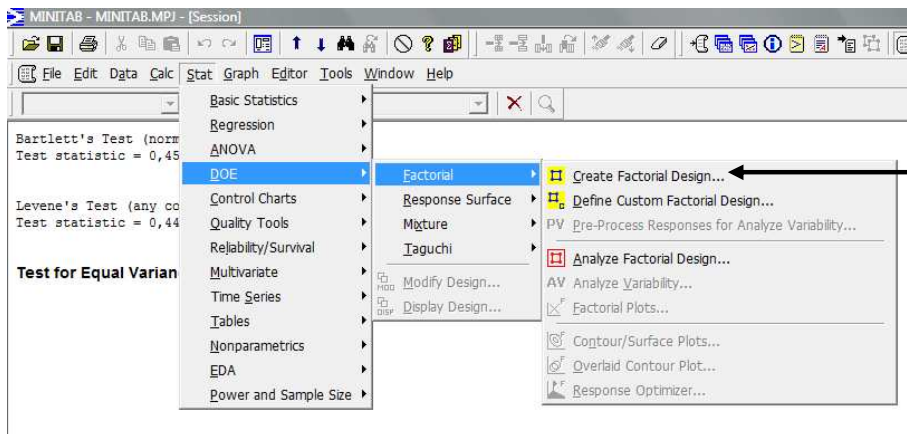
Los 3 intervalos de confianza para las desviaciones tipo tienen zonas comunes. Los valores P de los test que realiza son grandes; no puede decirse que hay variabilidad.

## DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIALES

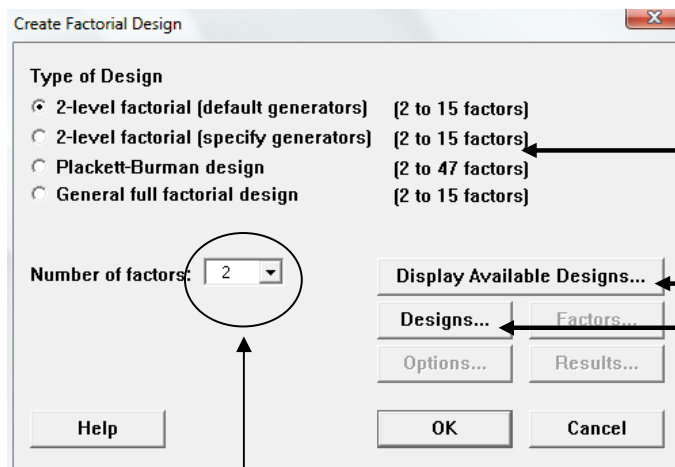
### Selección del plan de experimentación utilizando un diseño factorial

#### Creación de la matriz del diseño

Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design



Acceso al cuadro de diálogo para escoger el diseño experimental que se desea realizar. El resto de las opciones están inactivas hasta que se crea el diseño.



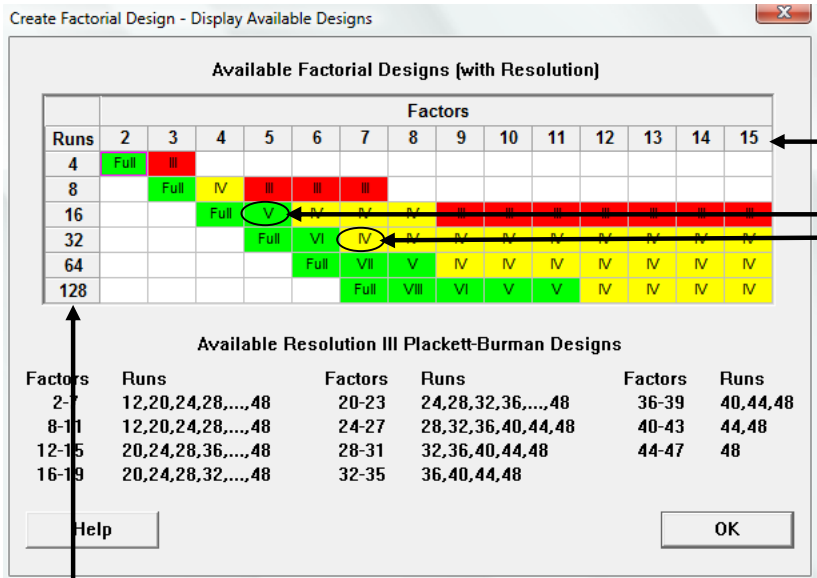
Diseño factorial  $2^k$  (los más habituales), MINITAB escoge los mejores generadores para el caso de diseño factorial fraccional

Pantalla informativa con la resolución que se puede conseguir para cada diseño experimental

Cuadro de diálogo para escoger el diseño factorial completo o fraccional deseado

Número de factores del diseño

Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design > Display Available Designs



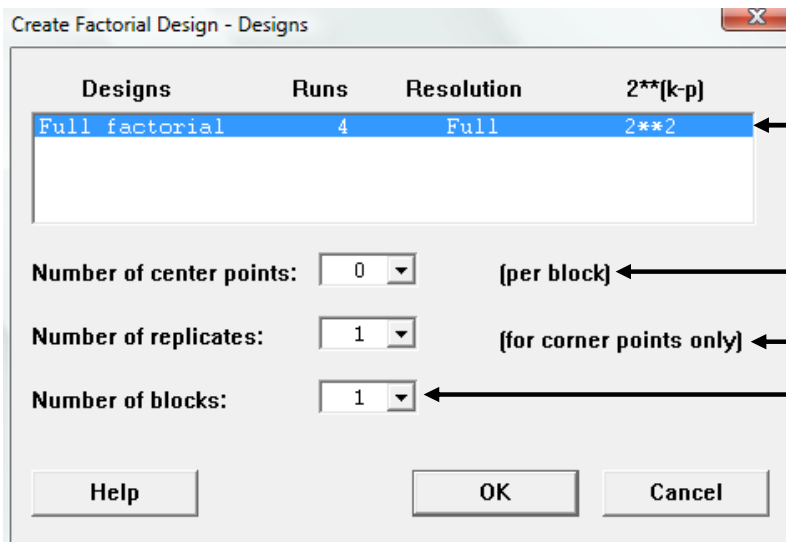
Número de factores del diseño

Ejemplo:  $2^{5-1}$ , con resolución V

Ejemplo:  $2^{7-2}$ , con resolución IV

Número de condiciones experimentales

Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design >



Elección del diseño factorial completo o fraccional.

Número de puntos centrales.

Número de replicas.

Número de bloques.

**Number of center points** (0 por defecto): Si coloca puntos centrales podrá determinar si modelo necesita términos cuadráticos, o por el contrario es suficiente con los términos lineales interacciones de orden 2.

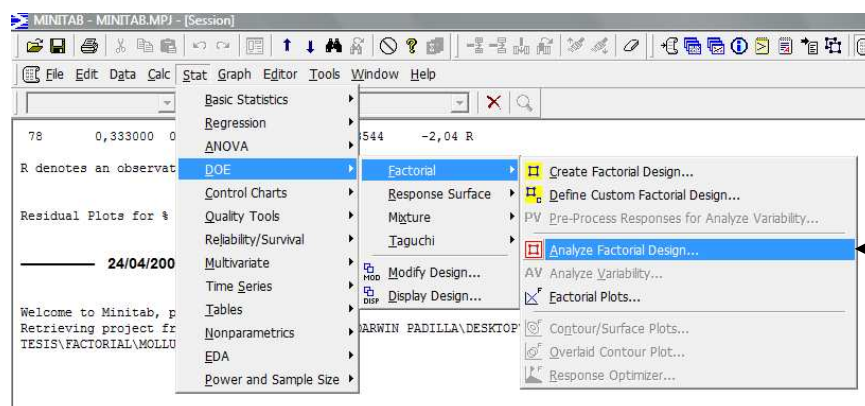
**Number of replicales** (1 por defecto): Hacer réplicas permite tener una estimación de la desviación tipo de los efectos, y por lo tanto disponer de pruebas de significación para ver si es significativo o no cada uno de los efectos.

**Number of blocks** (1 por defecto): Si por alguna razón se ve obligado a hacer los experimentos en bloques distintos (por ejemplo, en 2 días), escoja aquí el número de bloques para que se asigne cada condición experimental a uno de los bloques (de esta manera podrá analizar los resultados teniendo en cuenta el posible efecto del factor de bloqueo).

## ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE UN DISEÑO FACTORIAL.

### Cálculo de los efectos y selección de los significativos

#### Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design



Acceso al cuadro de diálogo para calcular los efectos de un diseño de experimentos y analizar su significación.

Esta opción aparece activa se en la hoja de datos se tiene un diseño de experimentos. Se debe, por tanto, haber usado antes el **Create Factorial Design** o el **Define Custom Factorial Design**.



Gráficos para el análisis de la significación de los efectos

Columna de la hoja de datos que contiene la respuesta del experimento. Si se coloca más de una respuesta, obtendrá los efectos para cada una de las respuestas.

**Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design > Graphs**

Representa los efectos en papel probabilístico normal

Hace un diagrama de Pareto de los efectos en valor absoluto (permite ver fácilmente cuáles son los mas grandes).

**Gráficos para los efectos principales y las interacciones**

**Stat > DOE > Factorial > Factorial plots**

Factorial Plots

- Main Effects Plot
- Interaction Plot
- Cube Plot

Type of Means to Use in Plots

- Data Means
- Fitted Means

Las salidas de todos estos menús se verán con claridad a partir del ejemplo siguiente:

**Ejemplo:**

**Descripción del diseño factorial.-** El objetivo de este diseño experimental es mejorar el porcentaje de germinación en las semillas Ammi Majus, controlando tres factores que pueden ser los influyentes en la variable en estudio, el primer factor a controlar es el sustrato, se colocó en 2 semilleros distintos los sustratos a probar, estos son: el que comúnmente se utiliza y otro sustrato que se desea probar, siendo respectivamente BM2 y 70/30.

Las semillas fueron sumergidas en una misma sustancia denominada Trichoderma, para la hidratación antes de su siembra, esta hidratación fue durante dos horas, la diferencia que se tiene en esta sustancias radica en la maduración de las misma, pues la primera tuvo una maduración de 6 días y la otra de 8 días.

Luego del proceso de la hidratación se procedió a secar las semillas en distintas temperaturas siendo estas las siguientes: temperatura Ambiente (18 °C) y a temperatura dentro de un invernadero (37 °C) durante 2 horas.

La siembra de esta variedad se lo hizo contando un total de 30 semillas por separación realizada en los semilleros, con lo que se logró ejecutar 3 repeticiones, es decir hubo un total de 720 semillas sembradas.

		<b>Sustrato 70 / 30</b>		<b>Sustrato BM2</b>	
		<b>Trichoderma Joven (6)</b>	<b>Trichoderma Vieja (8)</b>	<b>Trichoderma Joven (6)</b>	<b>Trichoderma Vieja (8)</b>
<b>Invernadero</b>	<b>Ambiente</b>	20	14	18	18
	<b>Invernadero</b>	12	16	22	22
	<b>Ambiente</b>	17	14	22	21
	<b>Invernadero</b>	18	18	20	21
	<b>Ambiente</b>	19	16	19	16
	<b>Invernadero</b>	24	13	25	23

Número de semillas germinadas por celda.

Una vez conseguidos los datos procedemos a determinar los debidos porcentajes, estos porcentajes se obtienen realizando un cociente entre el número de semillas germinadas por celda y 30 (que son las semillas sembradas). Los datos se presentan a continuación:

		Tipo de Sustrato							
		70 / 30				BM2			
Temperatura de Secado		Trichoderma Joven (6)		Trichoderma vieja (8)		Trichoderma Joven (6)		Trichoderma vieja (8)	
		Ambiente (18 °C)	20	66,67	14	46,67	22	73,33	22
	17	56,67	14	46,67	20	66,67	21	70,00	
	19	63,33	16	53,33	25	83,33	23	76,67	
Invernadero (37 °C)	12	40,00	16	53,33	18	60,00	18	60,00	
	18	60,00	18	60,00	22	73,33	21	70,00	
	24	80,00	13	43,33	19	63,33	16	53,33	

Número de semillas germinadas con su porcentaje

Estos datos son ingresados a la hoja de Minitab, (recordar antes de nada crear el diseño factorial según se indica en la parte de “SELECCIÓN DEL PLAN DE EXPERIMENTACIÓN UTILIZANDO UN DISEÑO FACTORIAL”) de donde se obtiene la tabla de datos:

	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Sustrato	Hidratacion	T Secado	Y	Y2
1	4	1	1	1	BM2	T Vieja	Ambiente	22	0,733333
2	1	2	1	1	70/30	T Joven	Ambiente	20	0,666667
3	14	3	1	1	BM2	T Joven	Invernadero	18	0,600000
4	22	4	1	1	BM2	T Joven	Invernadero	22	0,733333
5	11	5	1	1	70/30	T Vieja	Ambiente	14	0,466667
6	10	6	1	1	BM2	T Joven	Ambiente	22	0,733333
7	6	7	1	1	BM2	T Joven	Invernadero	19	0,633333
8	8	8	1	1	BM2	T Vieja	Invernadero	18	0,600000
9	13	9	1	1	70/30	T Joven	Invernadero	12	0,400000
10	15	10	1	1	70/30	T Vieja	Invernadero	16	0,533333
11	3	11	1	1	70/30	T Vieja	Ambiente	14	0,466667
12	19	12	1	1	70/30	T Vieja	Ambiente	16	0,533333
13	16	13	1	1	BM2	T Vieja	Invernadero	21	0,700000
14	5	14	1	1	70/30	T Joven	Invernadero	18	0,600000
15	21	15	1	1	70/30	T Joven	Invernadero	24	0,800000
16	23	16	1	1	70/30	T Vieja	Invernadero	18	0,600000
17	12	17	1	1	BM2	T Vieja	Ambiente	21	0,700000
18	20	18	1	1	BM2	T Vieja	Ambiente	23	0,766667
19	17	19	1	1	70/30	T Joven	Ambiente	19	0,633333
20	9	20	1	1	70/30	T Joven	Ambiente	17	0,566667
21	2	21	1	1	BM2	T Joven	Ambiente	20	0,666667
22	7	22	1	1	70/30	T Vieja	Invernadero	13	0,433333
23	18	23	1	1	BM2	T Joven	Ambiente	25	0,833333
24	24	24	1	1	BM2	T Vieja	Invernadero	16	0,533333

Con **Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design**, colocando la columna C9 como respuesta y pidiendo (pulsando en el botón **Graphs**) que nos dibuje los efectos en papel probabilístico normal, obtenemos esta salida en la ventana de datos:

**Factorial Fit: Porcentaje versus Sustrato. Hidratacion. T Secado**

Estimated Effects and Coefficients for Porcentaje (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,62222	0,01925	32,33	0,000
Sustrato	0,12778	0,06389	0,01925	3,32	0,004
Hidratacion	-0,06667	-0,03333	0,01925	-1,73	0,102
T Secado	-0,05000	-0,02500	0,01925	-1,30	0,212
Sustrato*Hidratacion	0,03889	0,01944	0,01925	1,01	0,327
Sustrato*T Secado	-0,05556	-0,02778	0,01925	-1,44	0,168
Hidratacion*T Secado	0,00556	0,00278	0,01925	0,14	0,887
Sustrato*Hidratacion*T Secado	-0,02222	-0,01111	0,01925	-0,58	0,572

El valor de los efectos principales y las interacciones.

S = 0,0942809 R-Sq = 54,50% R-Sq(adj) = 34,60%

Analysis of Variance for Porcentaje (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0,139630	0,139630	0,046543	5,24	0,010
2-Way Interactions	3	0,027778	0,027778	0,009259	1,04	0,401
3-Way Interactions	1	0,002963	0,002963	0,002963	0,33	0,572
Residual Error	16	0,142222	0,142222	0,008889		
Pure Error	16	0,142222	0,142222	0,008889		
Total	23	0,312593				

Análisis de Varianza

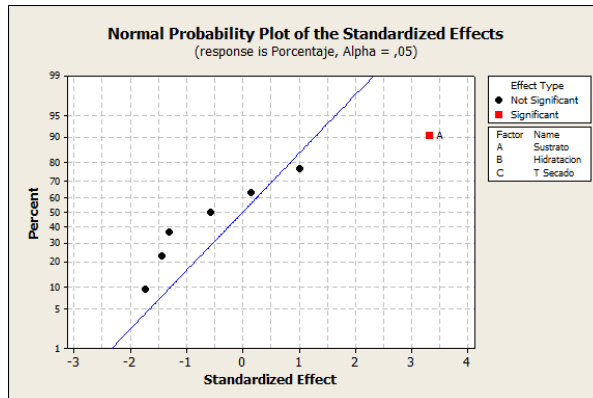
Estimated Coefficients for Porcentaje using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0,622222
Sustrato	0,0638889
Hidratacion	-0,0333333
T Secado	-0,0250000
Sustrato*Hidratacion	0,0194444
Sustrato*T Secado	-0,0277778
Hidratacion*T Secado	0,0027778
Sustrato*Hidratacion*T Secado	-0,0111111

← Los coeficientes del modelo

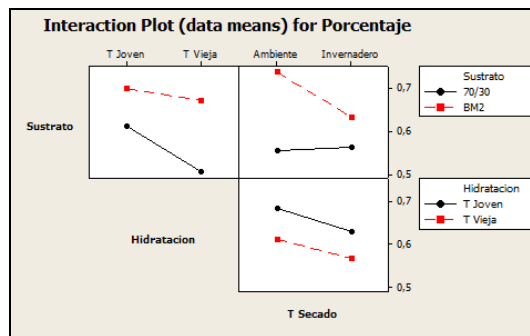
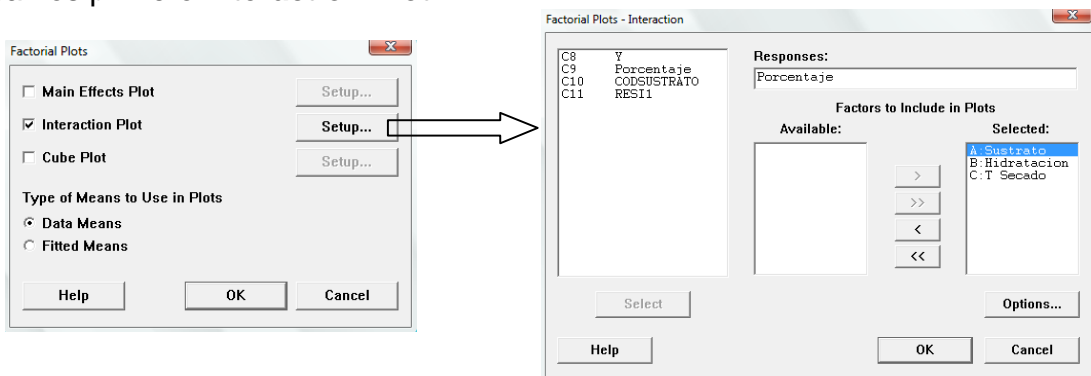
A través de esta tabla podemos determinar los efectos que son significativos en el diseño para atacar únicamente estos diseños para un mayor apoyo de lo obtenido analíticamente, se puede observar gráficamente a continuación en la siguiente figura.

A menudo el diagrama de puntos (siguiente Gráfico) de los efectos es suficiente para discriminar los efectos significativos de los no significativos. En este caso aparecen como significativo el efecto principal A (A, Sustrato). Los otros factores (B, C y las interacciones entre estos) son inertes.



Para determinar la interacción existente entre los factores hay que realizar un gráfico de interacción para poder interpretar bien el resultado. Usamos **Stat > DOE > Factorial > Factorial Plots**.

Usamos primero **Interaction Plot**.



Además como la significancia de la interacciones no es significativa, a excepción de la interacción entre AC (AC, Sustrato y Temperatura de secado), se tienen que eliminar del modelo, por lo que obtenemos la siguiente tabla ANOVA.

**Factorial Fit: Porcentaje versus Sustrato. Hidratacion. T Secado**

Estimated Effects and Coefficients for Porcentaje (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,62222	0,01840	33,81	0,000
Sustrato	0,12778	0,06389	0,01840	3,47	0,003
Hidratacion	-0,06667	-0,03333	0,01840	-1,81	0,086
T Secado	-0,05000	-0,02500	0,01840	-1,36	0,190
Sustrato*T Secado	-0,05556	-0,02778	0,01840	-1,51	0,148

S = 0,0901591    R-Sq = 50,59%    R-Sq(adj) = 40,19%

Analysis of Variance for Porcentaje (coded units)

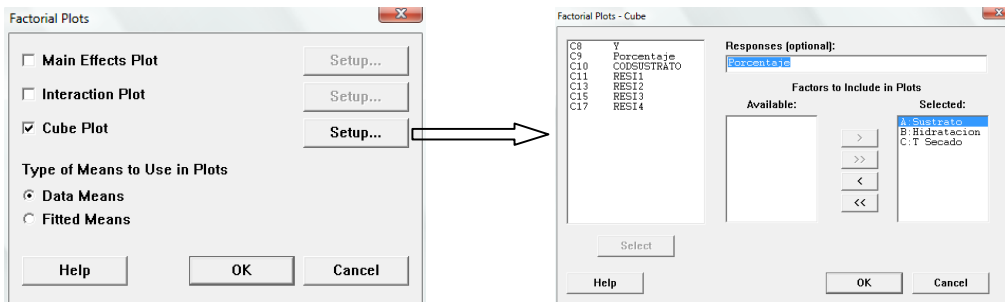
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0,13963	0,13963	0,046543	5,73	0,006
2-Way Interactions	1	0,01852	0,01852	0,018519	2,28	0,148
Residual Error	19	0,15444	0,15444	0,008129		
Lack of Fit	3	0,01222	0,01222	0,004074	0,46	0,715
Pure Error	16	0,14222	0,14222	0,008889		
Total	23	0,31259				

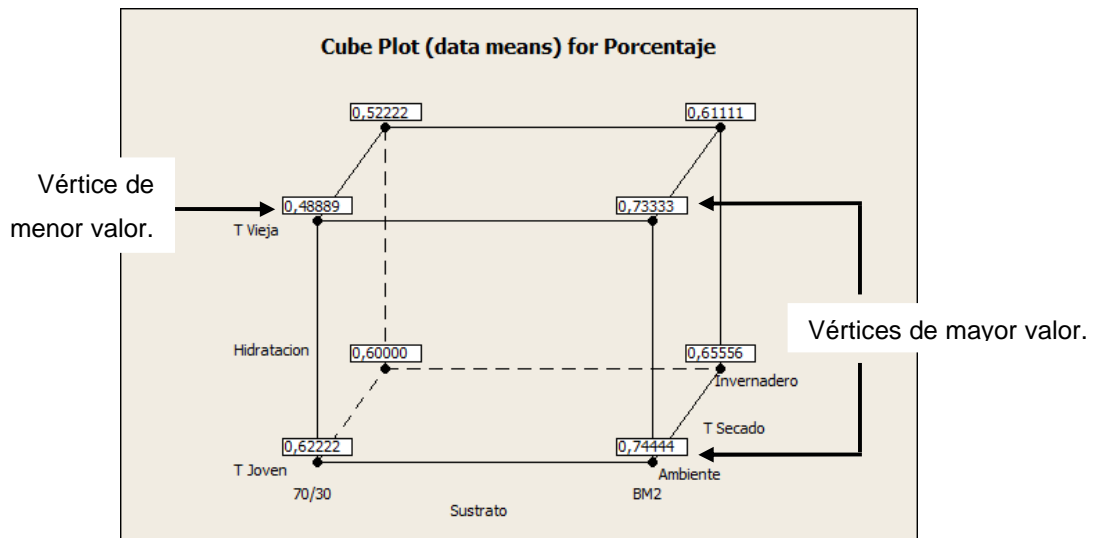
Estimated Coefficients for Porcentaje using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0,622222
Sustrato	0,0638889
Hidratacion	-0,0333333
T Secado	-0,0250000
Sustrato*T Secado	-0,0277778

Esta tabla se encuentra sin las interacciones de los factores.

Usamos ahora **Cube Plot**. El cuadro de diálogo es equivalente al anterior.





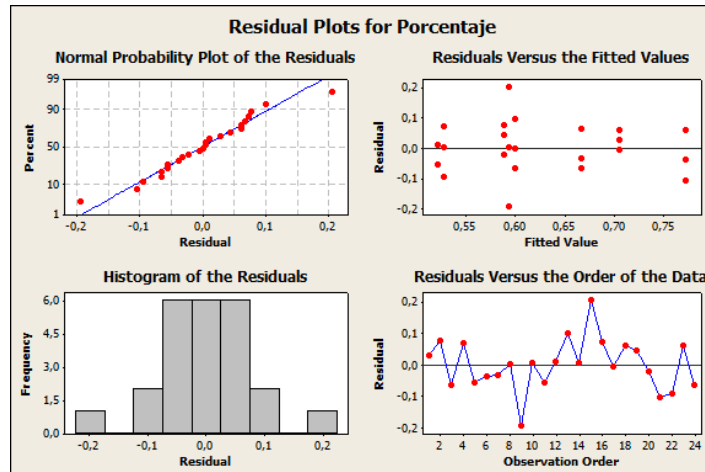
Esta figura es mucho más clara, pues nos permite determinar cuál de los factores y en que nivel nos da el mejor porcentaje de germinación. También podemos observar y determinar cuál es el peor tratamiento que se le puede dar a las semillas para tener un porcentaje de germinación ineficiente.

La conclusión es que para la obtención de un porcentaje de germinación óptimo (vértice de mayor valor), se debe sembrar las semillas en el sustrato del tipo **BM2**, sin importar la maduración de la sustancia de hidratación (a Trichoderma de 6 o de 8 días de maduración), otro factor que se debe tener en cuenta es que para el secado de las semillas se lo tiene que realizar a temperatura ambiente. Además este gráfico nos permite determinar el peor tratamiento que se le puede dar a las semillas (vértice de menor valor), que en nuestro caso sería el sembrar las semillas en sustrato del tipo **70/30** al hidratarla en Trichoderma de maduración de 8 días y secarla en temperatura ambiente.

La recomendación es, repetir el ensayo para estar seguros de los resultados obtenidos y estudiar otros factores que pueden dar influencia en el bajo porcentaje de germinación, como por ejemplo otro tipo de sustrato o la combinación de los mismos.



**Nota:** El cumplimiento de los supuestos en el ejemplo anterior los mostramos a continuación a través de la metodología gráfica.



**BIBLIOGRAFÍA****ESPECÍFICA**

1. ALMAGRO, Lluís. Estadística práctica con MINITAB, Pearson Prentice Hall, España, 2004.
2. GIRÓN, Pedro. Diseño de Experimentos: soluciones con SAS y SPSS, Pearson Prentice Hall, Madrid, 2005.
3. GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. Análisis y Diseño de Experimentos. Mc Graw Hill Interamericana, México, 2004.
4. WALPOLE, Estadística y Probabilidad para Ingenieros. 6a.ed. McGraw –Hill, España, 1999.

**GENERAL**

5. AZORIN, SANCHEZ. Métodos y aplicaciones del Muestreo, Alianza Editorial, España, 1986.
6. DALLAS, Johnson. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Internacional Thomson Editores, México, 1998.
7. DISEÑOS EXPERIMENTALES  
[www.lamolina.com/](http://www.lamolina.com/)  
20071007
8. EPPEN, y otros. Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. 3a.ed. Prentice-Hall, México, 1992.
9. GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. Calidad Total y Productividad. Mc Graw Hill, México, 2003.
10. HAIR, J.F.; y otros. Análisis Multivariante. 5a.ed. Prentice Hall Iberia, España, 1999.
11. VISAUTA - VINACUA B. Análisis estadístico con SPSS para Windows. Vol. II. McGraw –Hill, Interamericana de España, 1998.