

# APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DE FLORES DE EXPORTACIÓN

ALEXANDER CORREA ESPINAL

*Departamento de Sistemas y Administración, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín,*

**RESUMEN.** El objetivo principal de este trabajo es mostrar el mejoramiento de la producción de flores de exportación, para esto selecciona la etapa de enraizamiento como la más significativa del proceso, con la ayuda de técnicas como la lluvia de ideas, diagramas de pareto entre otras herramientas. a partir de esta selección se definen las variedades más significativas para desarrollar el análisis, las cuales fueron la fiorella y el rony, debido a su alto porcentaje de pérdidas y su alto volumen de producción. una vez identificado el objeto de estudio se procede a utilizar la técnica de diseños factoriales y se identifica que los factores más significativos en las pérdidas de la etapa son: la composición de la hormona y el riego, para cada uno de ellos se determina el nivel "óptimo"; obteniéndose los siguientes resultados: reducción en el porcentaje de pérdidas totales con respecto a la media histórica de las variedades del 8 %, disminuir la utilización de la hormona en un 10%, no utilizar la escoria como medio de cultivo, disminuir la utilización de agua en un 5%. todo esto implica ahorros anuales de \$41.337.417 en la etapa analizada. Por lo anterior se puede considerar que la aplicación de diseños factoriales en el mejoramiento de la producción de flores de exportación es una herramienta adecuada y puede ser extendida a las demás etapas de este proceso.

**PALABRAS CLAVES.** Diseño de Experimentos, Mejoramiento de Procesos, Análisis de Varianza, Análisis de Residuales, Regresión Lineal, Flores, Colombia.

**ABSTRACT.** The main goal of this work is to improve the production of exportation flowers. This process has never been completely studied in Colombia. In order to set up the scope of this work, our first step was to collect the available information regarding the matter of study. The techniques used in it were brain storm and pareto's diagram. The results of this techniques are the main support to choose the most important stages in flowers' production. Our findings show that in this case it was the stage to root raising. With this selection the flowers chosen were the Fiorella and Rony varieties because of its high production level and level of damage. In the next step the technique of factorial design were used to improve the production process. Applying the technique of factorial design, the irrigation root raising and hormonal composition were found like main factors and therefore its optimum levels were determined. The performance of Fiorella and Rony can be used with all varieties of mini - carnation. The most important results are that the total relative losses were 46.4 % lower between the two Experiments, and 8% lower related to its historic averages. The use of hormone were 10% lower. The scum is not adequate because it is 100% more expensive than the husk. Additionally there was a 5% savage in water consumption. The total savage were estimated to be US\$20,670 per year. Therefore the factorial designs are adequate for improving the stage of root raising and all the stages of the process.

**KEYWORDS.** Design of Experiments, process Improvement, Analysis of variance, residuals Analysis, linear regression, Flowers, Colombia.

## 1. INTRODUCCIÓN

¿Qué es el diseño experimental? Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta (Montgomery, 1991).

El diseño experimental es un medio de importancia crítica en el medio de la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura. También se emplea extensamente en el desarrollo de nuevos procesos. Las técnicas de diseño experimental puede dar por resultado:

- Mejora en el rendimiento del proceso.
- Menor variabilidad y mayor apego a los requerimientos

nominales u objetivo.

- Menor tiempo de desarrollo.
- Menores costos globales, Etc.

Para ampliar estos conceptos puede consultarse a Montgomery capítulo I.

Teniendo claras estas premisas básicas se utilizó esta herramienta estadística para mejorar el proceso de producción de flores de exportación.

Vale la pena destacar que en las consultas realizadas tanto en la Asociación de Floricultores de Colombia (ASOCOLFLORES) y en las fincas del grupo Florex, la utilización de este tipo de técnicas para realizar investigación y mejoramiento de estos procesos en el sector no han sido utilizadas y por lo tanto prima el ensayo y error como herramienta de mejoramiento, que de acuerdo a los autores más

destacados en este tema es la forma más costosa e ineficiente de realizar investigación (Montgomery, 1991).

## 2. DESARROLLO

Teniendo en cuenta que el sector floricultor es uno de los más promisorios entre los diferentes sectores productivos del país, de acuerdo al estudio de productividad realizado por la firma Monitor para Colombia, es necesario mejorar algunos aspectos relacionados con la producción para conservar su competitividad.

Es el momento de fortalecer la investigación en lo relacionado con la producción de flores en el medio, ya que gran cantidad de datos que son necesarios para la planeación de su producción, son desconocidos o estimados de una forma no muy clara y en la actualidad se trabajan de una manera bastante empírica en el medio.

El objetivo de este trabajo es investigar las posibles herramientas estadísticas que pueden ayudar a resolver algunos de estos interrogantes a través de la utilización específica de métodos de diseño de experimentos y validar su aplicación en un caso particular.

Determinar cuales son las etapas más susceptibles para realizar este tipo de análisis y seleccionar una de interés con el fin de aplicar las herramientas seleccionadas.

Identificar los posibles factores que deben ser tenidos en cuenta en el proceso productivo y con estos validar el modelo de diseño de experimentos analizado, sirviendo entre otros como medio para evaluar lo apropiado de la herramienta utilizada.

Conociendo que el diseño de experimentos es una herramienta importante para el mejoramiento de procesos tanto industriales como de servicios. El interés principal de este trabajo es el de utilizar dicha herramienta en el mejoramiento del proceso de producción de flores de exportación.

### 2.1 EXPERIMENTO INICIAL

Con la ayuda de técnicas como la lluvia de ideas, diagramas de Pareto entre otras herramientas fue realizada la selección de la etapa de enraizamiento como la etapa más significativa del proceso de producción de flores de exportación, debido al volumen de pérdidas presentadas en dicha etapa y las implicaciones que presenta esta etapa en la programación de las siguientes etapas del proceso. A partir de esta selección se definió la variedad más significativa para desarrollar el análisis, la cual fue la Fiorella, debido a su alto porcentaje de pérdidas y su alto

volumen de producción. Una vez identificado el objeto de estudio se procedió a definir la técnica de diseños factoriales como la más adecuada para el mejoramiento del proceso, debido a las características del proceso analizado.

Con la utilización del diseño de experimentos para el mejoramiento de la etapa de enraizamiento de esquejes en el proceso de producción de flores de exportación, fue realizado un experimento inicial, con el fin de identificar los factores más significativos en las pérdidas de dicha etapa, para esto fue necesario identificar todos los factores que intervenían en dicha etapa resultando un total de 26 factores de los cuales solo cuatro fueron utilizados (Composición de la hormona (A), medio de cultivo (B), densidad de siembra (C) y Riego (D)), ya que a través de la utilización de la lluvia de ideas [Barker, 1994] con las personas más experimentadas en el proceso, estos fueron los que en su criterio tendrían la mayor probabilidad de incidir en las pérdidas de dicha etapa [Agricola, 1998]. Una vez seleccionados los factores el siguiente paso fue determinar los niveles para cada uno de los factores a través de la misma técnica (lluvia de ideas) obteniéndose como resultado los niveles que se muestran a continuación.

TABLA 1. Niveles de los factores A, B, C y D para el experimento Inicial

Factor	Niveles		
	1	2	3
A	0.8hor:1fun	0.9hor:1fun	1hor:1fun
B	100% cascarilla, 0%escoria	80%cascarilla, 20%escoria	
C	4cm*4cm	3.5cm*3.5cm	
D	1x	2x	

Lo que permitió definir un diseño factorial  $3^1 \times 2^3$ . Para cada una de las corridas presentadas se realizaron dos replicas, con el fin de facilitar el análisis y una mejor estimación del error experimental.

En la ejecución del experimento fue realizada en la finca el Castillo, ubicada en el municipio de Tocancipa entre enero y noviembre de 1998. Los esquejes utilizados en el experimento fueron extraídos del mismo lote de plantas madres y conservados en un cuarto frío durante tres semanas (promedio de permanencia de los esquejes). La siembra fue realizada en dos bancos de enraizamiento de un mismo invernadero con diferentes válvulas de riego para controlar los programas de riego; las hormonas, el medio de

cultivo y la separación entre esquejes fue aleatorizada y definida en el momento de la siembra (ver figura 1). Los resultados del porcentaje de pérdidas para cada una de las causas, es decir, Pudrición Basal, Bajos de Raíz y Pérdidas Totales fueron obtenidos tres semanas después de la siembra de los esquejes sin raíz y de acuerdo a la matriz experimental, estos se pueden observar en la tabla 2:

Con estos resultados se procedió a realizar un análisis de varianza con la ayuda del paquete estadístico Statgraphics para determinar la significancia de los factores analizados en cada uno de los tipos de pérdidas y en el total. Los resultados del porcentaje de pérdidas totales se muestran en la tabla 3, por ser los más representativos.

significancia, esto indicaría que la experimentación debe repetirse con los mismos factores y niveles, lo cual no aporta al mejoramiento del proceso ya que se realizaría el mismo experimento y por esto se decide continuar con el proceso de experimentación solo con los factores significativos.

Con Respecto a la tabla de análisis de medias y los gráficos de medias, se puede observar el mejor comportamiento en cada uno de los factores se presenta en los siguientes niveles con un nivel de significancia del 95% y sus intervalos de confianza correspondientes del 95%

De la anterior tabla de análisis de varianza se puede observar que los factores principales significativos con un 95% de confianza para el porcentaje de pérdidas totales, son el factor A (Composición de la Hormona) y el factor D (Programa de Riego) y las interacciones dobles BD (Interacción entre el medio de cultivo y el riego) y la CD (Interacción entre la densidad de siembra y el riego), debido a que los valores del valor p (última columna de la tabla) son menores que 0.05 [Devor, 1992]. Dichas interacciones pueden causar un enmascaramiento de los factores B y C, lo que puede ser causa de su no

Factor A (Composición de la Hormona), en el nivel medio, es decir con una relación de 1Kg. de hormona por 1Kg. de Fungicida (Ver Figura 2), obteniéndose una reducción en pérdidas de este nivel con respecto al nivel bajo 7.0% y del 14.23% con respecto al nivel alto (Ver Tabla 4).

Factor B (Composición del medio), en el nivel bajo, es decir con una composición de 100% cascarilla quemada (Ver Figura 3), con una reducción del 1.08% con respecto al nivel alto (Ver Tabla 4).



FIGURA 1. Montaje del experimento

Factor C (Densidad de Siembra), en el nivel bajo, es decir con una densidad de siembra de 4 cm \* 4 cm (Ver Figura 4), presentándose una disminución del 2.05% en pérdidas con respecto al nivel alto (Ver Tabla 4).

Factor D (Programa de Riego), en el nivel bajo, es decir a un riego 2X (Ver Figura 5), presentándose una reducción del 6.25% con respecto al nivel alto (Ver Tabla 4).

TABLA 2. Resultados del experimento inicial

CORRIDA	A	B	C	D	% PERDIDAS		
					P. BASAL	B. RAIZ	T. PERDIDA
1	50 hor. 100 fung.	100%cas 0%es	4cm*4cm	2x	19.29	6.08	25.37
2	50 hor. 100 fung.	80% cas 20%es	4cm*4cm	2x	21.92	2.74	24.66
3	50 hor. 100 fung.	100%cas 0%es	3.5cm*3.5cm	2x	18.68	3.70	22.37
4	50 hor. 100 fung.	80% cas 20%es	3.5cm*3.5cm	2x	33.64	3.97	37.62
5	50 hor. 100 fung.	100%cas 0%es	4cm*4cm	1x	34.28	6.55	40.83
6	50 hor. 100 fung.	80% cas 20%es	4cm*4cm	1x	33.26	8.20	41.46
7	50 hor. 100 fung.	100%cas 0%es	3.5cm*3.5cm	1x	32.18	6.48	38.66
8	50 hor. 100 fung.	80% cas 20%es	3.5cm*3.5cm	1x	37.22	2.86	40.08
9	100hor 100fun	100%cas 0%es	4cm*4cm	2x	27.43	8.23	35.65
10	100hor 100fun	80% cas 20%es	4cm*4cm	2x	21.94	11.55	33.49
11	100hor 100fun	100%cas 0%es	3.5cm*3.5cm	2x	26.37	3.38	29.75
12	100hor 100fun	80% cas 20%es	3.5cm*3.5cm	2x	31.18	3.12	34.30
13	100hor 100fun	100%cas 0%es	4cm*4cm	1x	16.95	6.44	23.39
14	100hor 100fun	80% cas 20%es	4cm*4cm	1x	15.67	3.65	19.31
15	100hor 100fun	100%cas 0%es	3.5cm*3.5cm	1x	15.22	7.17	22.39
16	100hor 100fun	80% cas 20%es	3.5cm*3.5cm	1x	19.96	4.61	24.56
17	100hor 50 fun	100%cas 0%es	4cm*4cm	2x	46.22	3.24	49.46
18	100hor 50 fun	80% cas 20%es	4cm*4cm	2x	34.96	7.52	42.48
19	100hor 50 fun	100%cas 0%es	3.5cm*3.5cm	2x	38.85	2.65	41.50
20	100hor 50 fun	80% cas 20%es	3.5cm*3.5cm	2x	41.61	0.67	42.28
21	100hor 50 fun	100%cas 0%es	4cm*4cm	1x	31.67	3.47	35.14
22	100hor 50 fun	80% cas 20%es	4cm*4cm	1x	31.89	0.65	32.54
23	100hor 50 fun	100%cas 0%es	3.5cm*3.5cm	1x	43.89	0.66	44.54
24	100hor 50 fun	80% cas 20%es	3.5cm*3.5cm	1x	47.61	0.87	48.48

TABLA 3. Análisis de varianza para las pérdidas totales en el experimento inicial

1

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	g.l.	Media de Cuadrados	Fo	Valor p
EFECTOS PRINCIPALES					
A:EXPERIME.composi	1625.7710	2	812.88552	8.586	0.0014
B:EXPERIME.medio	13.9213	1	13.92130	0.147	0.7086
C:EXPERIME.densidad	50.2048	1	50.20475	0.530	0.4807
D:EXPERIME.riego	469.6880	1	469.68797	4.961	0.0348
INTERACCIÓN					
AB	72.17405	2	36.08703	0.381	0.6868
AC	41.72370	2	20.86185	0.220	0.8037
AD	260.25146	2	130.12573	1.374	0.2708
BC	169.91450	1	169.91450	1.795	0.1920
BD	905.06385	1	905.06385	9.559	0.0047
CD	752.00417	1	752.00417	7.943	0.0091
ABC	3.10180	2	1.55090	0.016	0.9838
ABD	430.37948	2	215.18974	2.273	0.1231
ACD	101.04526	2	50.52263	0.534	0.5928
BCD	1.58777	1	1.58777	0.017	0.8993
RESIDUAL	2461.6194	26	94.677670		
TOTAL (CORREGIDO)	7358.4505	47			

TABLA 4. Medias para el porcentajes de pérdidas totales en el experimento inicial

Nivel	Desviación Cantidad	Intervalo de Confianza Promedio	Estándar	95% para la media	
GRAN MEDIA	48	34.768125	1.4044399	31.880574	37.655676
A: EXPERIME. composi					
1	16	34.229375	2.4325613	29.227990	39.23
2	16	27.925000	2.4325613	22.923615	32.92
3	16	42.150000	2.4325613	37.148615	47.15
B: EXPERIME. medio					
1	24	34.229583	1.9861780	30.145969	38.197
2	24	35.306667	1.9861780	31.223053	39.0281
C: EXPERIME. densidad					
1	24	33.745417	1.9861780	29.661803	37.829031
2	24	35.790833	1.9861780	31.707219	39.874447
D: EXPERIME. riego					
1	24	31.640000	1.9861780	27.556386	35.723614
2	24	37.896250	1.9861780	33.812636	41.979864

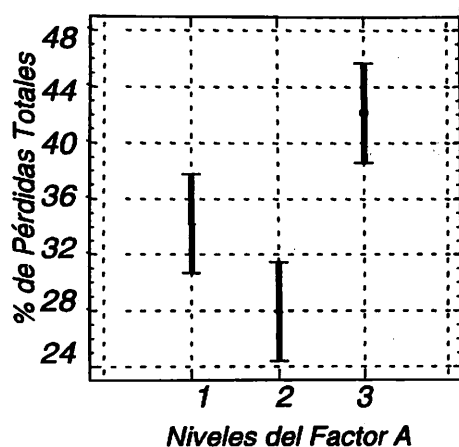


Figura 2 Intervalo de confianza al 95% medias del factor A para el porcentaje de pérdidas totales, en el experimento inicial

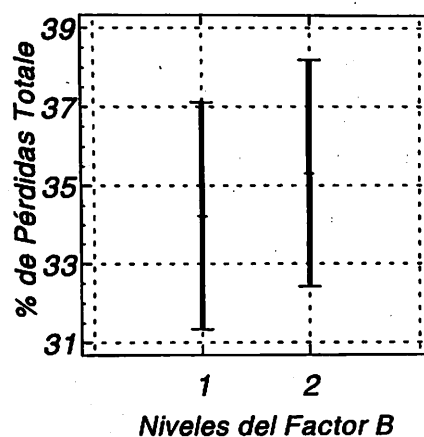


Figura 3 Intervalo de confianza al 95% medias del factor B para el porcentaje de pérdidas totales, en el experimento inicial

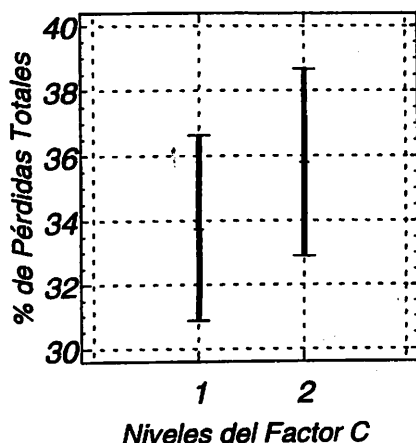


Figura 4 Intervalo de confianza al 95% medias del factor C para el porcentaje de pérdidas totales, en el experimento inicial

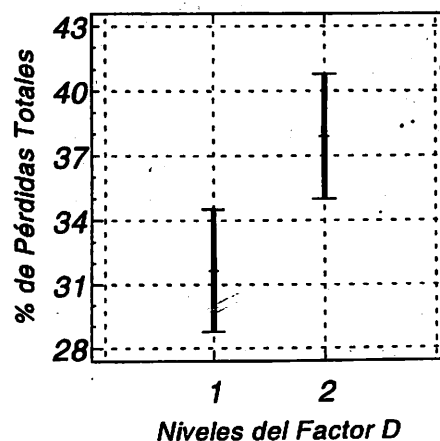


Figura 5 Intervalo de confianza al 95% medias del factor D para el porcentaje de pérdidas totales, en el experimento inicial

Con el fin de confirmar los supuestos del modelo acerca de la normalidad, media cero, aleatoriedad e igualdad en la varianza de los datos del porcentaje de pérdidas totales se realizó un análisis de residuales, consistente de las gráficas

de residuales, histograma, prueba chi-cuadrado, prueba de Bartlett, en las cuales no se rechaza la hipótesis nula de las pruebas y por lo tanto las conclusiones obtenidas son válidas [Devor, 1992] y

(Montgomery, 1981).

Como conclusión de los análisis realizados para el experimento inicial, se puede decir que la principal causa de las pérdidas totales son el factor A (composición de la hormona) y el factor D (programa de riego) y por lo tanto será necesario estudiarlos en mayor detalle para el segundo experimento (mayor número de niveles). En cuanto a los factores B (Medio de cultivo) y C (Densidad de Siembra) no presentaron significancia y por lo tanto se tomaran sus mejores niveles para la realización del experimento confirmatorio, estos niveles son cascarilla quemada y densidad de siembra de 4 cm \* 4 cm.

## 2.2 EXPERIMENTO CONFIRMATORIO

A partir de estos resultados se determino realizar un análisis más exhaustivo de estos dos factores, con el fin de encontrar información mas detallada acerca del nivel más adecuado en cada uno de estos factores que permitan disminuir la cantidad de pérdidas y aumentar la productividad del proceso de enraizamiento, para lo cual se realizaron las siguientes actividades.

### 2.2.1 Determinación del número de niveles.

Nuevamente con la participación de las personas expertas que están involucradas en el proceso (Jefe de bancos de enraizamiento, Agrónomo, Supervisores y Operarios), y con el análisis estadístico de los resultados, se determino que el número de niveles mas adecuado para analizar cada factor teniendo en cuenta los aspectos técnicos son:

El Factor A (composición de la hormona), debido a su alto grado de significancia el cual fue de un 95% de confianza y la concavidad de la gráfica de medias nos llevan a sospechar que alrededor del nivel medio (1. hormona : 1. de fungicida) existe un mínimo por lo cual, se decide que debe ser analizado a cinco niveles alrededor del punto medio e igualmente espaciados con el fin de corroborar las sospechas.

En cuanto al Factor D (programas de riego), el cual presenta una significancia del 95% de confianza y el mejor comportamiento de las medias tiende a presentarse al nivel bajo, se decide analizar este factor a tres niveles, uno a este mismo nivel y dos más bajos para determinar si esta tendencia continua. Este número de niveles seleccionados, es debido a los problemas técnicos en cuanto a las válvulas reguladoras de riego y los relojes temporizadores.

Específicamente los niveles que van a ser analizados son los que se muestran en la tabla 5.

TABLA 5. Niveles de los factores A y D para el experimento confirmatorio

Factor	Nivel				
	1	2	3	4	5
A	0.8hor:1 fun	0.9hor:1 fun	1hor:1fu n	1hor:0.9 fun	1hor:0.8 fun
B	1X	2X	3X		

Con la definición de los niveles anteriores se procedió a determinar la matriz experimental más adecuada para llevar a cabo dicho experimento, resultando en un experimento factorial  $5^1 * 3^1$ . Con el fin de obtener una mayor información se definió la necesidad de realizar dos replicas de cada uno de los tratamientos.

Ahora para extender las conclusiones a otras variedades, adicionalmente a la variedad Fiorella, se decidió tomar la variedad Rony, ya que presenta el mas alto volumen de producción y el segundo porcentaje medio de pérdidas, después de la Fiorella, adicional a esto el Rony es una de las variedades que es producida por casi la totalidad de los floricultores de la sabana de Bogotá. Por lo anterior se realizó un experimento con las mismas características que se definió para la Fiorella.

Los resultados obtenidos para este experimento confirmatorio, de acuerdo a la matriz experimental se presentan en la tabla 6 para la Fiorella y en la tabla 7 para el Rony

Realizando el análisis de los resultados anteriores se obtiene lo siguiente:

- Para la Fiorella Para el análisis del porcentaje de perdidas totales de la Fiorella en el experimento confirmatorio, se pueden ver en las tabla 8 y en las figuras 6 y 7.

Para probar la validez de los resultados obtenidos se realizó un análisis de los residuales con las mismas pruebas realizadas en el experimento anterior y los resultados obtenidos confirman la validación del modelo.

- Para el Rony

El análisis de los datos del porcentaje de pérdidas totales para el Rony en el experimento confirmatorio se pueden observar la tabla 9 y las figuras 8 y 9.

TABLA 6. Resultados para la Fiorella en el experimento confirmatorio

COR.	A	D	VARIED	% PERDIDAS		
				P. BASAL	B. RAIZ	T. PERDIDA
1	0.8hor:1fung	1X	FIOREL	6.16	11.37	17.54
2	0.8hor:1fung	2X	FIOREL	6.83	8.78	15.61
3	0.8hor:1fung	3X	FIOREL	6.38	12.77	19.15
4	0.9hor:1fung	1X	FIOREL	2.46	2.46	4.93
5	0.9hor:1fung	2X	FIOREL	3.94	7.39	11.33
6	0.9hor:1fung	3X	FIOREL	4.33	14.90	19.23
7	1hor:1fung	1X	FIOREL	2.53	7.58	10.10
8	1hor:1fung	2X	FIOREL	3.00	5.00	8.00
9	1hor:1fung	3X	FIOREL	7.69	16.92	24.62
10	1hor:0.9fun	1X	FIOREL	7.39	11.82	19.21
11	1hor:0.9fun	2X	FIOREL	8.12	11.68	19.80
12	1hor:0.9fun	3X	FIOREL	5.56	14.65	20.20
13	1hor:0.8fung	1X	FIOREL	6.16	15.17	21.33
14	1hor:0.8fung	2X	FIOREL	3.05	9.64	12.69
15	1hor:0.8fung	3X	FIOREL	21.47	17.80	39.27
1	0.8hor:1fung	1X	FIOREL	7.39	7.88	15.27
2	0.8hor:1fung	2X	FIOREL	13.07	8.54	21.61
3	0.8hor:1fung	3X	FIOREL	8.72	11.28	20.00
4	0.9hor:1fung	1X	FIOREL	5.42	5.42	10.84
5	0.9hor:1fung	2X	FIOREL	6.70	6.70	13.39
6	0.9hor:1fung	3X	FIOREL	0.00	8.50	8.50
7	1hor:1fung	1X	FIOREL	6.00	12.50	18.50
8	1hor:1fung	2X	FIOREL	6.63	9.69	16.33
9	1hor:1fung	3X	FIOREL	4.23	10.33	14.55
10	1hor:0.9fun	1X	FIOREL	2.04	16.84	18.88
11	1hor:0.9fun	2X	FIOREL	11.06	9.05	20.10
12	1hor:0.9fun	3X	FIOREL	12.56	17.49	30.04
13	1hor:0.8fung	1X	FIOREL	12.24	21.43	33.67
14	1hor:0.8fung	2X	FIOREL	14.58	16.15	30.73
15	1hor:0.8fung	3X	FIOREL	8.42	18.42	26.84

TABLA 7. Resultados para el Rony en el experimento confirmatorio

COR.	A	D	VARIED	% PERDIDAS		
				P. BASAL	B. RAIZ	T. PERDIDA
1	0.8hor:1fung	1X	RONY	2.42	5.80	8.21
2	0.8hor:1fung	2X	RONY	7.54	12.56	20.10
3	0.8hor:1fung	3X	RONY	3.48	20.40	23.88
4	0.9hor:1fung	1X	RONY	0.99	4.95	5.94
5	0.9hor:1fung	2X	RONY	4.10	8.21	12.31
6	0.9hor:1fung	3X	RONY	3.55	19.80	23.35
7	1hor:1fung	1X	RONY	3.48	4.48	7.96
8	1hor:1fung	2X	RONY	2.53	10.10	12.63
9	1hor:1fung	3X	RONY	11.06	23.62	34.67
10	1hor:0.9fun	1X	RONY	1.99	1.00	2.99
11	1hor:0.9fun	2X	RONY	4.15	13.47	17.62
12	1hor:0.9fun	3X	RONY	4.71	17.28	21.99
13	1hor:0.8fung	1X	RONY	3.00	6.50	9.50
14	1hor:0.8fung	2X	RONY	4.76	9.05	13.81
15	1hor:0.8fung	3X	RONY	2.84	6.64	9.48
1	0.8hor:1fung	1X	RONY	1.45	3.38	4.83
2	0.8hor:1fung	2X	RONY	1.00	2.99	3.98
3	0.8hor:1fung	3X	RONY	9.23	13.33	22.56
4	0.9hor:1fung	1X	RONY	0.56	0.56	1.11
5	0.9hor:1fung	2X	RONY	2.54	3.55	6.09
6	0.9hor:1fung	3X	RONY	3.59	10.77	14.36
7	1hor:1fung	1X	RONY	0.00	4.00	4.00
8	1hor:1fung	2X	RONY	3.48	7.46	10.95
9	1hor:1fung	3X	RONY	3.02	12.56	15.58
10	1hor:0.9fun	1X	RONY	1.00	7.00	8.00
11	1hor:0.9fun	2X	RONY	3.00	5.50	8.50
12	1hor:0.9fun	3X	RONY	6.50	24.50	31.00
13	1hor:0.8fung	1X	RONY	0.00	2.94	2.94
14	1hor:0.8fung	2X	RONY	4.80	15.60	20.40
15	1hor:0.8fung	3X	RONY	7.46	24.38	31.84

TABLA 8. Análisis de varianza para el porcentaje pérdidas totales en la Fiorella para el experimento confirmatorio

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	g.l.	Media de Cuadrados	Fo	Valor p
EFECTOS PRINCIPALES					
A:EXPERFIO.hormona	890.40718	4	222.60180	5.723	0.0053
B:EXPERFIO.riego	183.56318	2	91.78159	2.360	0.1285
INTERACCIONES					
AB	95.759320	8	11.969915	0.308	0.9513
RESIDUAL	583.39020	15	38.892680		
TOTAL (CORREGIDO)		1753.1199	29		

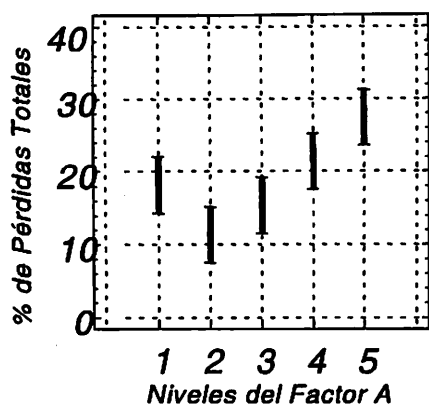


Figura 6. Intervalo de confianza al 95% medias del factor A para el porcentaje de perdidas totales en la Fiorella, para el experimento confirmatorio

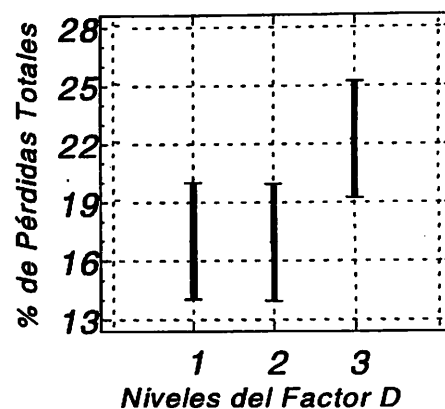


Figura 7. Intervalo de confianza al 95% medias del factor D para el porcentaje de perdidas totales en la Fiorella

TABLA 9. Análisis de varianza para el porcentaje de pérdidas totales en el Rony

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	g.l.	Media de Cuadrados	Fo	Valor p
EFECTOS PRINCIPALES					
A:EXPERONY.hormona	78.8212	4	19.70529	0.375	0.8226
B:EXPERONY.riego	1516.8748	2	758.43739	14.449	0.0003
INTERACCIONES					
AB	77.297887	8	9.6622358	0.184	0.9895
RESIDUAL	787.33830	15	52.489220		
TOTAL (CORREGIDO)		2460.3321	29		



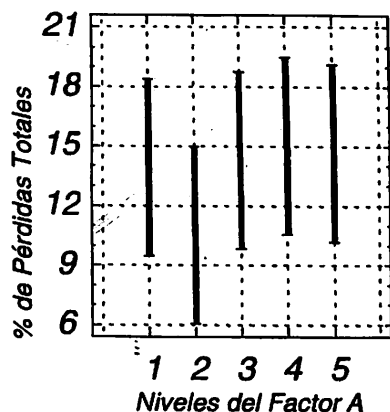


Figura 8. Intervalo de confianza al 95% medias del factor A para el porcentaje de pérdidas totales en el Rony

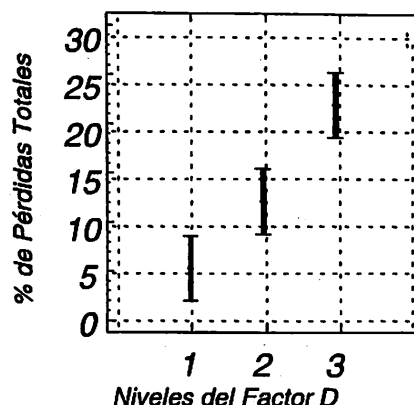


Figura 9. Intervalo de confianza al 95% medias del factor D para el porcentaje de pérdidas totales en el Rony

Como conclusión del experimento confirmatorio se puede afirmar que existe un nuevo nivel de composición de hormona (0.9 hor:1 fun), diferente al obtenido en el experimento inicial que permite disminuir las pérdidas totales. En cuanto al riego se puede afirmar que el nivel riego puede ser definido como 1X para todas las variedades con el mismo objetivo que el anterior. Adicionalmente los niveles de los factores hallados como los mejores pueden ser generalizados a las demás variedades del miniclavel, ya que el comportamiento obtenido en las dos variedades mas representativas es similar y por lo tanto se puede esperar que estas características se extiendan a las demás variedades

### 3. MODELO DE REGRESIÓN

#### □ Para la Fiorella

Para La Fiorella se tiene que su mejor comportamiento es representado por el siguiente modelo, después del análisis de todas las posibles combinaciones de los modelos que podrían representar el comportamiento se selecciono este debido a su  $R^2$  es de .8992, lo que nos permite afirmar este modelo representa en un 89.92% el comportamiento de este proceso y además la prueba de Durbin-Watson tiene un valor de 1.511 el cual es menor que 2 y por lo tanto la autocorrelación no es significativa.

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2$$

TABLA 10. Modelo de Regresión múltiple para la Fiorella en el experimento confirmatorio

Variable Independiente	Coefficiente	Varianza Estandar	to	Valor p
EXPERFIO.hormona	3.496493	0.658444	5.3102	0.0000
EXPERFIO.riego	3.909152	1.010908	3.8670	0.0006
R-SQ. (ADJ.) = 0.8992 SE= 6.537236 MAE= 5.079065 DurbWat= 1.511				

Para la validación del modelo anterior se realizaron pruebas con el fin de probar la normalidad de los residuales y media cero, para esto se realizaron pruebas de análisis de varianza, prueba de chi-cuadrado, entre otros, en los cuales se demostró la no violación de los supuestos y por lo tanto el modelo es valido.

Para el Rony se realizó un análisis de regresión similar al de la Fiorella obteniéndose resultados similares.

#### 4. BENEFICIOS ALCANZADOS

Los ahorros obtenidos gracias a estos niveles son los siguientes:

Disminución en pérdidas del experimento confirmatorio con respecto al promedio histórico es del 8% (para la Fiorella 15.8%-7.8% y para el Rony 11.5%-3.5%) lo que corresponde ahorros anuales de 33.471.417 \$/año

Con respecto a los insumos tenemos:

Eliminación de la escoria como medio de cultivo corresponde a 4.536.000\$/año

Reducción de un 10% de hormona lo que corresponde a 1.800.000 \$/año

Ahorros en agua 1.553.000 \$/año

Totalizando todos estos ahorros tenemos ahorros anuales de \$41.337.417.

Entre los resultados podemos destacar reducciones en el porcentaje de pérdidas totales de un experimento al otro del 46.4% y con respecto a la media histórica de las variedades Fiorella y Rony de 8 % en ambas variedades, una disminución en la utilización de la hormona en un 10%, la no utilización de la escoria como medio de cultivo el cual tiene un costo de 100% mas que la cascarilla, disminución en la utilización de agua en un 5%. Todos estos ahorros implican una disminución en costos anuales de 41.337.417 millones de pesos en la etapa analizada.

#### 5. CONCLUSIONES

Los factores significativos en el proceso de enraizamiento de esquejes son la composición de la hormona y el programa de riego.

La composición de la hormona que permite disminuir el nivel de pérdidas en el proceso de enraizamiento del miniclavel es la 0.9. hormona por 1 fungicida.

El programa de riego (1X), que permite disminuir el nivel de pérdidas en el proceso de enraizamiento del miniclavel es el siguiente:

Semana	Frecuencia	Duración
1	4 min	6 s
2	6 min	8 s
3	15 min	12 s
4	20 min	15 s

La densidad de siembra que permite disminuir el nivel de pérdidas en el proceso de enraizamiento de esquejes del miniclavel es la densidad de 4 cm \* 4 cm entre esquejes lo que equivale a 728 esquejes/m<sup>2</sup>.

El medio de cultivo que permite la disminución de pérdidas en el proceso de enraizamiento de esquejes de miniclavel es la cascarilla quemada.

El modelo de regresión que mejor representa el comportamiento del proceso de propagación de miniclavel es  $Y = b_1 X_1 + b_2 X_2$ , específicamente para la Fiorella es  $Y = 3.496 X_1 + 3.909 X_2$  y para el Rony tenemos  $Y = -0.111 X_1 + 7.246 X_2$ , donde Y es nivel de pérdidas,  $X_1$  son los niveles de la composición de la hormona y  $X_2$  son los niveles del programa de riego.

Los resultados obtenidos para las dos variedades pueden ser generalizados para las demás variedades del miniclavel.

Los ahorros económicos anuales obtenidos con la aplicación de estas técnicas, debido la disminución en insumos y reducción de pérdidas han sido de \$41.337.417.

La aplicación del diseño de experimentos para el mejoramiento de producción de flores de exportación puede ser aplicado en las demás etapas del proceso, es decir cultivo, postcosecha, etc. y por lo tanto queda un campo abierto para continuar con esta labor investigativa.

La ayuda de personas conocedoras del proceso analizado son una fuente de información vital para el desarrollo de un experimento exitoso, ya que estas personas con su experiencia permitieron definir los niveles para disminuir las pérdidas y alcanzar de una forma adecuada el objetivo del estudio.

La realización de un experimento preliminar es necesaria para determinar los factores y niveles en las siguientes rondas experimentales, con el fin de obtener mejores resultados.

#### RECONOCIMIENTOS

El autor desea agradecerle a la empresa Agrícola el Castillo S.C.I. y al grupo Florex por facilitar los recursos para llevar a cabo esta investigación.

**REFERENCIAS**

Barker, B. T., Quality by Experimental Design, Second Edition, Edit. Marcel Dekker Inc, New York. 1994.

Box, G.E.P, W. G. Hunter, y J.S Hunter, Statistics for Experimenters, John Wiley and Sons, 1978.

Collins, W.H. y C. B. Collins, Including Residual Analysis in Designed Experiments: Case Studies, Quality Engineering, 1994.

Comité técnico, Agrícola el Castillo, Comunicación privada, Tocancipa, 1998.

Devor, R.E., T. H. Chang, y J. W. Sutherland, Statistical Quality Design and Control, Contemporary Concepts and Methods, Maxwell Macmillan, 1992.

Gunst F. R. y L. R. Mason, How to Construct Fractional Factorial Experiment, ASQC, Milwaukee, 1991.

Hicks, C. R, Fundamental Concepts in the Design of Experiments, Holt, Rinehart and Wiston Inc, Lafayette, Indiana, 1964.

Montgomery C. D. y A. E. Reck, Introduction to Linear Regression Analysis, John Wiley and Sons, 1981.

Montgomery C. D., Design and Analysis of Experiments, Third Edition, John Wiley and Sons, 1991.

Reyes C. P., Diseño de Experimentos Aplicados, editorial Trillas, Mexico, 1992.

Manugistics, Statgraphics version 7: Reference Manual, 1993.