



UAEM

Universidad Autónoma
del Estado de México



UNIDAD IV

COMPARACION DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS

UNIDAD DE APRENDIZAJE:

ANALISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS

LICENCIATURA DE INGENIERO AGRONOMO EN FLORICULTURA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Elaborado por:

Dr. Carlos Gustavo Martínez Rueda

Campus Universitario "El Cerrillo, Toluca, México

Septiembre de 2015

Presentación.

- ❑ El presente material didáctico tiene como objetivo principal revisar los contenidos de la unidad de competencia IV del Curso de la Unidad de Aprendizaje de Análisis y Diseño de Experimentos que se imparte en el 5° semestre de la licenciatura de Ingeniero Agrónomo en Floricultura en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la U.A.E.M.
- ❑ En esta presentación de diapositivas se describen los principales métodos y procedimientos que se siguen en la comparación de medias de los tratamientos después de haber realizado el análisis de varianza.

Objetivos de la unidad de competencia

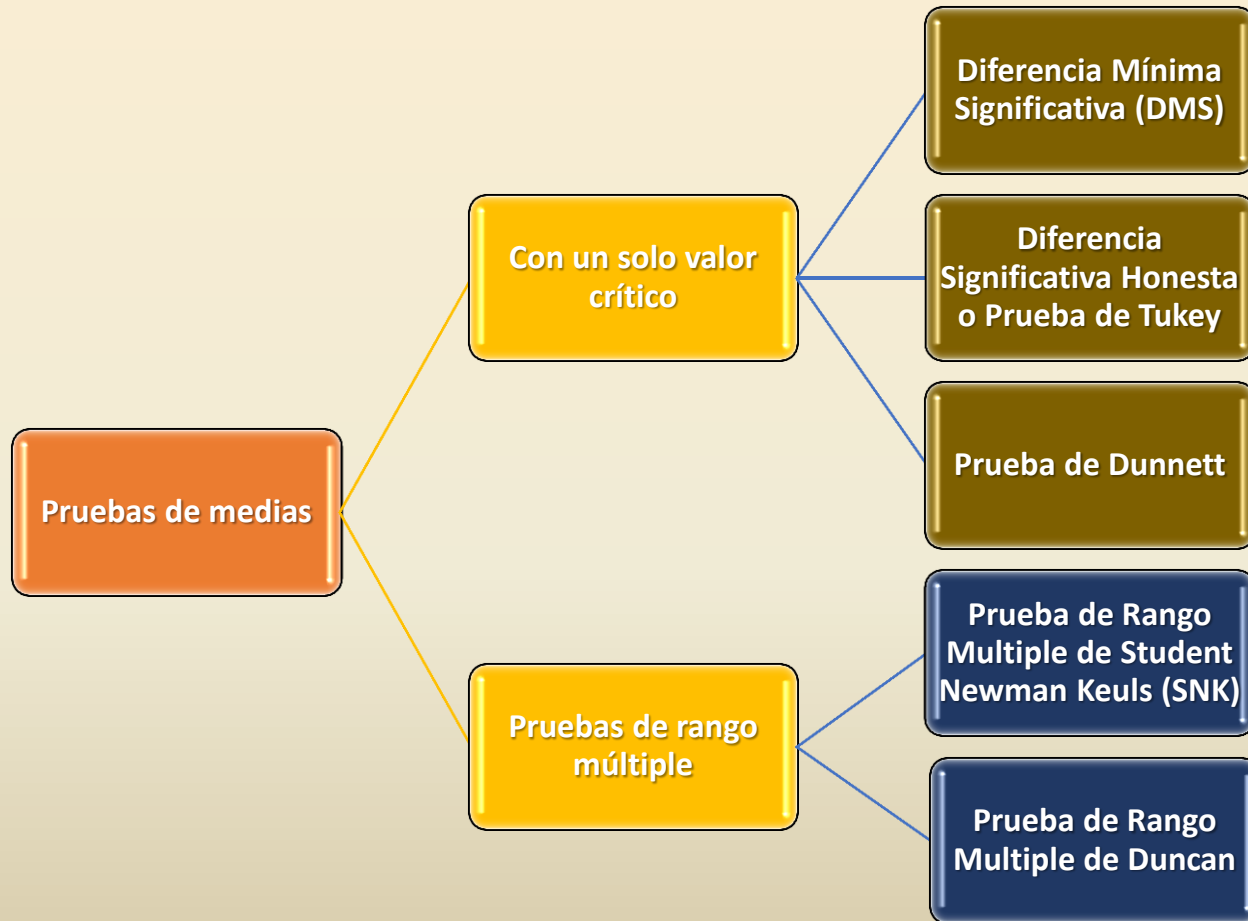
El Alumno:

- Aplicará los métodos que existen para comparar medias de tratamientos e interpretará adecuadamente cada una de ellos tanto en términos científicos, biológicos y económicos.

¿Qué son las pruebas de medias?

- Cuando se realiza un experimento en donde se evalúan distintos tratamientos usualmente se analizan los datos a través de la técnica conocida como **Análisis de Varianza**. A partir de este análisis **se puede concluir si existen o no diferencias entre las medias de los tratamientos a través de una prueba de F** (Gomez y Gomez, 1984)
- Cuando la prueba de F resulta significativa y **se declarará la existencia de diferencias significativas por lo menos para un par de medias de los tratamientos**, un siguiente paso que se puede llevar a cabo es **comparar a las medias de los tratamientos** a través de alguno método que permita **establecer cuales de todas las diferencias existentes entre los pares de medias de tratamientos son significativas o no** y de esta forma **detectar los tratamientos mas promisorios**. (Fernández et al., 2010)

Clasificación de las pruebas de medias mas utilizadas en el análisis estadístico de los diseños experimentales.



4.1. Prueba de la Diferencia Mínima Significativa (DMS)

- Esta prueba de medias se emplea para comparar los distintos pares de medias de un conjunto de t tratamientos basándose en el cálculo de un valor crítico (DMS) para juzgar las diferencias entre cualquier par de medias de los tratamientos. El valor de la DMS se obtiene multiplicando el valor de la tabla de T de student :

$$DMS(\alpha) = t(\alpha; e g. l.) \sqrt{\frac{2CME}{r}}$$

$DMS(\alpha)$ = Diferencia Mínima Significativa a un nivel α

$t(\alpha; e g. l.)$ = Valor de la Distribución T de Student para un nivel de significancia α , con $e g. l.$ = grados de libertad del error.

CME = Cuadrado medio del Error

r = Número de repeticiones

Procedimiento

- 1) Obtener los valores absolutos de las diferencias entre los pares de tratamientos $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$
 - 2) Comparar $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$ vs el valor de $DMS(\alpha)$
 - 3) Si $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > DMS(\alpha)$ se declara significativa la diferencia observada entre las medias de los tratamientos \bar{Y}_i y \bar{Y}_j .
 - 4) Se unen con letras o líneas a aquellas medias de tratamientos que no difieren entre significativamente entre sí.
- Nota: Para realizar la prueba de manera mas ágil, se recomienda obtener la matriz de diferencias entre todos los posibles pares de tratamientos, ordenándolos previamente de mayor a menor magnitud de y menor a mayor magnitud y separar con letras o líneas a las medias que no difieran entre sí.

Ejemplo Numérico

Se condujo una investigación con la finalidad de evaluar el comportamiento de 8 cultivares silvestres de Dalia. Los tratamientos (genotipos) fueron distribuidos de acuerdo a un diseño experimental completamente aleatorizado con tres repeticiones, habiéndose obtenido los siguientes resultados del análisis de varianza para la variable diámetro de capítulo en cm :

F.V.	g.l.	S.C.	CM	F	F(7, 24 gl)	
					0.05	0.01
Tratamientos	7	33.134	4.733	3.94**	2.42	3.50
Error	24	28.865	1.203			
Total	31	61.999				

Medias de tratamientos	
Genotipo	Diámetro de capítulo (cm)
G1	4.88
G2	5.20
G3	7.53
G4	7.78
G5	6.18
G6	7.58
G7	6.43
G8	6.40

El valor de la DMS a un nivel de significancia del 0.05 sería:

$$DMS(0.05) = t(0.05; 24 \text{ g.l.}) \sqrt{\frac{2(1.203)}{3}}$$

$$DMS(0.05) = (1.711)(1.69)$$

$$DMS(0.05) = 1.33 \text{ cm}$$

El valor de $t(0.05; 24 \text{ g.l.})$ se puede encontrar en la Tabla del Apéndice A1.

Comparación entre todas las medias de los tratamientos

		a	b	b	b	c	c	c	d	d	d
		G4	G6	G3	G7	G8	G5	G2	G1		
		7.78	7.58	7.53	6.43	6.40	6.18	5.20	4.88		
G1	4.88	2.90*	2.70*	2.65*	1.55*	1.53*	1.30ns	0.33ns			
G2	5.20	2.58*	2.38*	2.33*	1.23ns	1.20ns	0.98ns				
G5	6.18	1.60*	1.40*	1.35*	0.25ns	0.23ns					
G8	6.40	1.38*	1.18ns	1.13ns	0.02ns						
G7	6.43	1.35*	1.15ns	1.10ns							
G3	7.53	0.25ns	0.05ns								
G6	7.58	0.20ns									
G4	7.78										

DMS(0.05) = 1.33 cm

*=Diferencia Significativa al 0.05, ns = diferencia no significativa

Genotipo	Diámetro de capítulo (cm)	
G1	4.88	d
G2	5.20	cd
G3	7.53	ab
G4	7.78	a
G5	6.18	cd
G6	7.58	ab
G7	6.43	bc
G8	6.40	bc

Las medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí. DMS(0,05)

Conclusiones:

La prueba de la DMS al 0.05 indica que el genotipo 4 mostró el diámetro de capítulo mayor, superando significativamente a la mayoría de los genotipos restantes (excepto a los genotipos 3 y 7). El genotipo 1 presentó el menor diámetro de capítulo aunque no difirió significativamente de los genotipos 2 y 5, los cuales a su vez no difirieron de los genotipos 5, 7 y 8.

4.2. Prueba de la Diferencia Significativa Honesta(DSH) o Prueba de Tukey

- Esta prueba de medias es más estricta que la DMS y también se emplea para comparar los distintos pares de medias de un conjunto de t tratamientos basándose en el cálculo de un valor crítico (DSH) para juzgar las diferencias entre cualquier par de medias de los tratamientos. El valor crítico de la DSH se obtiene de la siguiente manera :

$$DSH(\alpha) = q(\alpha; p, e g. l.) \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

$DSH(\alpha)$ =Diferencia Significativa Honesta a un nivel de significancia α

$q(\alpha; p, e g. l.)$ =Valor de rango estudentizado de Tukey, a un nivel de significancia α ; con p = número de tratamiento y $e g. l.$ = grados de libertad del error.

CME = Cuadrado medio del Error

r = Número de repeticiones

Procedimiento

- 1) Obtener los valores absolutos de las diferencias entre los pares de tratamientos $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$
 - 2) Comparar $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$ vs el valor de **DSH(α)**
 - 3) Si $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > \mathbf{DSH}(\alpha)$ se declara significativa la diferencia observada entre las medias de los tratamientos \bar{Y}_i y \bar{Y}_j .
 - 4) Se unen con letras o líneas a aquellas medias de tratamientos que no difieren entre significativamente entre sí.
- Nota: Del mismo modo que para la DMS, para la DSH se recomienda obtener la matriz de diferencias entre todos los posibles pares de tratamientos, ordenándolos previamente de mayor a menor magnitud de y menor a mayor magnitud y separar con letras o líneas a las medias que no difieran entre sí.

Ejemplo Numérico

Se condujo un experimento donde se evaluó al porcentaje de plantas de gladiola atacadas por Fusarium después de haber cultivado especies distintas y un tratamiento inoculado con Fusarium bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones habiéndose obtenido los siguientes resultados :

Análisis de Varianza							
F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	F		F tab.	
						0.05	0.01
SCBloques	2	47.583	23.792	1.02	ns	3.739	6.515
SCTrat	7	2942.292	420.327	18.10	**	2.764	4.278
SCError	14	325.083	23.220				
SCTotal	23	3314.958					

Medias de los Tratamientos		
	Tratamientos	% de Plantas Enfermas
T1	Suelo Inoculado con Fusarium	64.0
T2	Allium cepa	39.0
T3	Brassica campestris	26.0
T4	Capsicum annum	39.0
T5	Helianthus annus	40.0
T6	Tagetes erectus	29.7
T7	Triticum aestivum	50.0
T8	Zea mays	38.0

El valor de la DSH a un nivel de significancia del 0.05 sería:

$$DSH(0.05) = q(0.05; 8, 14 \text{ g.l.}) \sqrt{\frac{23.220}{3}}$$

$$DSH(0.05) = (6.26)(2.78)$$

$$DSH(0.05) = 17.41\%$$

El valor de $q(0.05; 8, 14 \text{ gl.})$ se puede encontrar en la Tabla del Apéndice A2.

Comparación de medias de los tratamientos

				c	c	c	c	c	c
			b	b	b	b	b		
		a	a						
		T1	T7	T5	T2	T4	T8	T6	T3
		64.0	50.0	40.0	39.0	39.0	38.0	29.7	26.0
T3	26.0	38.0 *	24.0*	14.0 ns	13.0 ns	13.0 ns	12.0 ns	3.7 ns	
T6	29.7	34.3 *	20.3 *	10.3 ns	9.3 ns	9.3 ns	8.3 ns		
T8	38.0	26.0 *	12.0ns	2.0 ns	1.0 ns	1.0 ns			
T2	39.0	25.0 *	11.0 ns	1.0 ns	0.0 ns				
T4	39.0	25.0*	11.0 ns	1.0 ns					
T5	40.0	24.0 *	10.0 ns						
T7	50.0	14.0ns							
T1	64.0								

DSH(0.05) = 17.41%

* = Diferencia significativa al 0.05; ns= Diferencia no significativa

Tabla de Comparación de Medias mediante la DSH al 0.05

	Tratamientos	% de Plantas Enfermas
T1	Suelo Inoculado con Fusarium	64.0 a
T2	Allium cepa	39.0 bc
T3	Brassica campestris	26.0 c
T4	Capsicum annum	39.0 bc
T5	Helianthus annus	40.0 bc
T6	Tagetes erectus	29.7 c
T7	Triticum aestivum	50.0 ab
T8	Zea mays	38.0 bc

Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí

Conclusiones:

El mayor porcentaje de plantas enfermas se presentó con el suelo inoculado y el tratamiento 7 (Triticum aestivum) los cuales fueron significativamente superiores al resto de los tratamientos. El mejor tratamiento fue Brassica campestris con un 26% de plantas enfermas, el cual no difirió significativamente de los tratamientos en donde se cultivo previamente Tagetes erectus, (T6), Capsicum annum (T4) y Allium cepa (T2).

4.3. Prueba de Rango Multiple de Student Newman Keuls (SNK)

- Esta prueba de medias toma en cuenta la distancia en rango que existe entre cada par de tratamientos, por lo que se requiere calcular t-1 valores críticos designados como R_p (R_2, R_3, \dots, R_p). De esta forma, se pondera la distancia en rango que existe entre las medias que se están comparando a partir de la Tabla de rango estudentizado de Tukey y el error estándar de la media.
- Por lo tanto si se comparan dos medias de tratamientos \bar{Y}_i vs \bar{Y}_j con una distancia en rango p , el Valor Crítico para comparar la diferencia $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$ a un nivel de significancia α será:

$$R_p = q(\alpha; p, e g. l.) \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

R_p = Valor crítico para comparar dos medias con distancia en rango p .

$q(\alpha; p, e g. l.)$ = Valor de rango estudentizado de Tukey, a un nivel de significancia α ; para una distancia en rango p y $e g. l.$ = grados de libertad del error.

CME = Cuadrado medio del Error

r = Número de repeticiones

Procedimiento

- 1) Obtener los valores absolutos de las diferencias entre los pares de tratamientos $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$
 - 2) Comparar $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$ vs el valor correspondiente **Rp**
 - 3) Si $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > \mathbf{Rp}$ se declara significativa la diferencia observada entre las medias de los tratamientos \bar{Y}_i y \bar{Y}_j .
 - 4) Se unen con letras o líneas a aquellas medias de tratamientos que no difieren entre significativamente entre si.
- Nota: Del mismo modo que para la DSH se recomienda obtener la matriz de diferencias entre todos los posibles pares de tratamientos, ordenándolos previamente de mayor a menor magnitud de y menor a mayor magnitud y debajo de cada una de las diferencias escribir el valor respectivo de **Rp**, para finalmente separar con letras o líneas a las medias que no difieran entre sí.

Ejemplo Numérico basado en los datos del ejemplo utilizado en la prueba de Tukey

Cálculo de los t-1 valores críticos Rp

	Distancia rango entre el par de medias a comparar						
	2	3	4	5	6	7	8
q(0.05; p, 14 g.l.)	4.31	4.89	5.32	5.63	5.88	6.08	6.26
$\sqrt{\frac{23.2}{3}}$	2.781	2.781	2.781	2.781	2.781	2.781	2.781
	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
	11.99	13.60	14.79	15.66	16.35	16.91	17.41

Nota: Los valores de q(0.05; p, 14 g.l.) se encuentran localizados en la tabla A2 del apéndice

Matriz de comparación de medias

		a	b	c	c	c	c	c	c
		T1	T7	T5	T2	T4	T8	T6	T3
		64.0	50.0	40.0	39.0	39.0	38.0	29.7	26.0
T3	26.0	38.00*	24.00*	14.00ns	13.00ns	13.00ns	12.00ns	3.70ns	
		17.41	16.91	16.35	15.66	14.79	13.60	11.99	
T6	29.7	34.33*	20.33*	10.33ns	9.33ns	9.33ns	8.33ns		
		16.91	16.35	15.66	14.79	13.60	11.99		
T8	38.0	26.00*	12.00ns	2.00ns	1.00ns	1.00ns			
		16.35	15.66	14.79	13.60	11.99			
T2	39.0	25.00*	11.00ns	1.00ns	0.00ns				
		15.66	14.79	13.60	11.99				
T4	39.0	25.00**	11.00ns	1.00ns					
		14.79	13.60	11.99					
T5	40.0	24.00*	10.00ns						
		13.60	11.99						
T7	50.0	14.00*							
		11.99							
T1	64.0								

*=Diferencia significativa al 0.05; ns= diferencia no significativa

Tabla de Comparación de Medias mediante la DSH al 0.05

	Tratamientos	% de Plantas Enfermas	
T1	Suelo Inoculado con Fusarium	64.0	a
T2	Allium cepa	39.0	bc
T3	Brassica campestris	26.0	c
T4	Capsicum annum	39.0	bc
T5	Helianthus annus	40.0	bc
T6	Tagetes erectus	29.7	c
T7	Triticum aestivum	50.0	b
T8	Zea mays	38.0	bc

Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí

Conclusiones:

El mayor porcentaje de plantas enfermas se presentó con el suelo inoculado (T1) el cual fue significativamente mayor al resto de los tratamientos. El tratamiento 7 (Triticum aestivum) también tuvo un porcentaje bastante alto de plantas enfermas (50%) pero no difirió significativamente de los tratamientos 2, 4, 5 y 8. El mejor tratamiento fue Brassica campestris (T3) con un 26% de plantas enfermas, el cual no difirió significativamente de los tratamientos en donde se cultivo previamente Tagetes erectus, (T6), Capsicum annum (T4) y Allium cepa (T2).

4.4. Prueba de Rango Múltiple de Duncan

- Esta prueba de medias del mismo modo que la prueba de SNK toma en cuenta la distancia en rango que existe entre cada par de tratamientos, por lo que se requiere calcular t-1 valores críticos designados como R_p (R_2, R_3, \dots, R_p). De esta forma, se pondera la distancia en rango que existe entre las medias que se están comparando a partir de la Tabla de rango estudentizado de Duncan y el error estándar de la media.
- Por lo tanto si se comparan dos medias de tratamientos \bar{Y}_i vs \bar{Y}_j con una distancia en rango p , el Valor Crítico para comparar la diferencia $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$ a un nivel de significancia α será:

$$R_p = q(\alpha; p, e g. l.) \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

R_p = Valor crítico para comparar dos medias con distancia en rango p .

$q(\alpha; p, e g. l.)$ = Valor de rango estudentizado de Duncan, a un nivel de significancia α ; para una distancia en rango p y $e g. l.$ = grados de libertad del error.

CME = Cuadrado medio del Error

r = Número de repeticiones

Procedimiento

- 1) Obtener los valores absolutos de las diferencias entre los pares de tratamientos $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$
 - 2) Comparar $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$ vs el valor correspondiente **Rp**
 - 3) Si $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > \mathbf{Rp}$ se declara significativa la diferencia observada entre las medias de los tratamientos \bar{Y}_i y \bar{Y}_j .
 - 4) Se unen con letras o líneas a aquellas medias de tratamientos que no difieren entre significativamente entre sí.
- Nota: Del mismo modo que para la prueba de SNK se recomienda obtener la matriz de diferencias entre todos los posibles pares de tratamientos, ordenándolos previamente de mayor a menor magnitud de y menor a mayor magnitud y debajo de cada una de las diferencias escribir el valor respectivo de **Rp**, para finalmente separar con letras o líneas a las medias que no difieran entre sí.

Ejemplo Numérico basado en los datos del ejemplo utilizado en la prueba de Tukey

Cálculo de los t-1 valores críticos Rp

	Distancia rango entre el par de medias a comparar						
	2	3	4	5	6	7	8
q(0.05; p, 14 g.l.)	3.033	3.178	3.268	3.328	3.371	3.403	3.426
$\sqrt{\frac{23.2}{3}}$	2.781	2.781	2.781	2.781	2.781	2.781	2.781
	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
	8.43	8.84	9.09	9.26	9.37	9.46	9.53

Nota: Los valores de q(0.05; p, 14 g.l.) se encuentran localizados en la tabla A3 del apéndice

Matriz de diferencias entre medias

							e	e
							d	d
		a	b	c	c	c	c	
		T1	T7	T5	T2	T4	T8	T6
		64.0	50.0	40.0	39.0	39.0	38.0	29.7
T3	26.0	38.00*	24.00*	14.00*	13.00*	13.00*	12.00*	3.70ns
		9.53	9.46	9.37	9.26	9.09	8.84	8.43
T6	29.7	34.33*	20.33*	10.33*	9.33*	9.33*	8.33ns	
		9.46	9.37	9.26	9.09	8.84	8.43	
T8	38.0	26.00*	12.00*	2.00ns	1.00ns	1.00ns		
		9.37	9.26	9.09	8.84	8.43		
T2	39.0	25.00*	11.00*	1.00ns	0.00ns			
		9.26	9.09	8.84	8.43			
T4	39.0	25.00**	11.00*	1.00ns				
		9.09	8.84	8.43				
T5	40.0	24.00*	10.00*					
		8.84	8.43					
T7	50.0	14.00*						
		8.43						
T1	64.0							

*=Diferencia significativa al 0.05; ns= diferencia no significativa

Tabla de Comparación de Medias mediante la DSH al 0.05

	Tratamientos	% de Plantas Enfermas	
T1	Suelo Inoculado con Fusarium	64.0	a
T2	Allium cepa	39.0	c
T3	Brassica campestris	26.0	e
T4	Capsicum annum	39.0	c
T5	Helianthus annus	40.0	c
T6	Tagetes erectus	29.7	de
T7	Triticum aestivum	50.0	b
T8	Zea mays	38.0	cd

Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí

Conclusiones:

El mayor porcentaje de plantas enfermas se presentó con el suelo inoculado (T1) el cual fue significativamente mayor al resto de los tratamientos. El tratamiento 7 (Triticum aestivum) también tuvo un porcentaje bastante alto de plantas enfermas (50%) superando significativamente al resto de los tratamientos. Los tratamientos 5, 2, 4 y 8 no difirieron significativamente entre sí. El mejor tratamiento fue Brassica campestris (T3) con un 26% de plantas enfermas, el cual no difirió significativamente de los tratamientos en donde se cultivo previamente Tagetes erectus, (T6).

4.5. Prueba de Dunnett

- Esta prueba de medias está dirigida a la comparación de un tratamiento considerado como “testigo” en contra de t-1 tratamientos.
- Por lo tanto, el objetivo central de esta prueba es detectar aquellos tratamientos que difieren de cierto tratamiento de interés, sin realizar todas las posibles comparaciones entre los distintos pares de medias de tratamientos.
- el Valor Crítico para comparar la diferencia $|\bar{Y}_T - \bar{Y}_j|$ a un nivel de significancia α será:

$$D(\alpha) = TDunnet(\alpha; p, e g. l.) \sqrt{\frac{2CME}{r}}$$

$D(\alpha)$ = Valor crítico para comparar a la media de un tratamiento testigo (\bar{Y}_T) y un tratamiento i (\bar{Y}_i) a un nivel de significancia α

$TDunnet(\alpha; p, e g. l.)$ = Valor de la Tabla de Dunnett, a un nivel de significancia α ; para p tratamientos incluyendo el testigo y $e g. l.$ = grados de libertad del error.

CME = Cuadrado medio del Error

r = Número de repeticiones

Procedimiento

- 1) Obtener los valores absolutos de las diferencias entre el testigo y cada uno de los demas tratamientos $|\bar{Y}_T - \bar{Y}_i|$
- 2) Comparar $|\bar{Y}_T - \bar{Y}_i|$ vs el valor correspondiente **D**
- 3) Si $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > \mathbf{D}$ se declara significativa la diferencia observada entre las medias de los tratamientos \bar{Y}_i y \bar{Y}_j .
- 4) Se identifica con un asterisco a aquellos tratamientos que difieren significativamente del Testigo.

Ejemplo Numérico

Con los datos del ejemplo sobre el efecto de cultivos precedentes sobre el porcentaje de plantas enfermas en gladiola, considerando como Testigo al tratamiento T1 en donde se inoculó el suelo con fusarium la prueba de Dunnett a un nivel de probabilidad $\alpha=0.05$ será:

1) Cálculo del valor Crítico D:

$$D = TDunnet(.05; 8, 14 \text{ g. l.}) \sqrt{\frac{2(22.23)}{3}}$$
$$D = (3.04)(2.223)$$
$$D = 6.76\%$$

Nota: El valor $TDunnet(.05; 8, 14 \text{ g. l.})$ se puede localizar en la Tabla A4 del Apéndice.

Tabla de Comparación de Medias mediante la Dunnett al 0.05

	Tratamientos	% de Plantas Enfermas	$ \bar{Y}_T - \bar{Y}_j $
T1	Suelo Inoculado con Fusarium	64.00	-
T2	Allium cepa	39.00	25.00*
T3	Brassica campestris	26.00	38.00*
T4	Capsicum annum	39.00	25.00*
T5	Helianthus annus	40.00	24.00*
T6	Tagetes erectus	29.70	34.30*
T7	Triticum aestivum	50.00	14.00*
T8	Zea mays	38.00	26.00*

* Medias de Tratamientos significativamente inferiores al testigo

Conclusiones:

Todos los tratamientos presentan menor porcentaje de plantas enfermas con relación al Testigo a un nivel de significancia del 0.05

4.6. Resumen

- Las pruebas de medias se utilizan para comparar a las medias de los tratamientos después del análisis de varianza y detectar cuales medias de tratamientos difieren entre sí.
- Existen pruebas de medias que se basan en un solo valor crítico para comparar las medias de los tratamientos como son la Diferencia Mínima (DMS) Significativa y la Diferencia Significativa Honesta (DSH).
- Las pruebas que toman en cuenta la distancia en rango que existe entre las medias que se están comparando se conocen como pruebas de rango multiple como son la Prueba de Student Newman Keuls (SNK) y la Prueba de Duncan.
- La Prueba de Dunnett se utiliza únicamente en aquellos casos en que el principal interés del investigador este centrado en identificar cuales de los tratamientos difieren significativamente o no de un tratamiento Testigo o Estándar.

APENDICE

A1 Tabla de T de Student

Valores *t* de Student y probabilidad *P* asociada en función de los grados de libertad *gl*.

gl	P (de una cola)									
	0.4	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.326	31.596
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.215	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.706
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.255	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	0.254	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
Infinito	0.253	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

A2 Tabla de Rango Estudentizado de Tukey

TABLA 8: Cuantiles de la distribución de Tukey $q(n, m)$

$\alpha = 0.05$	n													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
m														
2	6.08	8.33	9.80	10.88	11.73	12.43	13.03	13.54	13.99	14.40	14.76	15.09	15.39	15.67
3	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.15	10.35	10.52
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.60	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.66
5	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17	7.32	7.47	7.60	7.72
6	3.46	4.34	4.90	5.30	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30	6.43	6.55	6.66	6.76
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48
9	3.20	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.59	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.39	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65
16	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59
17	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46
20	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43
21	2.94	3.56	3.94	4.21	4.42	4.60	4.74	4.87	4.98	5.08	5.17	5.25	5.33	5.40
22	2.93	3.55	3.93	4.20	4.41	4.58	4.72	4.85	4.96	5.06	5.14	5.23	5.30	5.37
23	2.93	3.54	3.91	4.18	4.39	4.56	4.70	4.83	4.94	5.03	5.12	5.20	5.27	5.34
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32
25	2.91	3.52	3.89	4.15	4.36	4.53	4.67	4.79	4.90	4.99	5.08	5.16	5.23	5.30
26	2.91	3.51	3.88	4.14	4.35	4.51	4.65	4.77	4.88	4.98	5.06	5.14	5.21	5.28
27	2.90	3.51	3.87	4.13	4.33	4.50	4.64	4.76	4.86	4.96	5.04	5.12	5.19	5.26
28	2.90	3.50	3.86	4.12	4.32	4.49	4.62	4.74	4.85	4.94	5.03	5.11	5.18	5.24
29	2.89	3.49	3.85	4.11	4.31	4.47	4.61	4.73	4.84	4.93	5.01	5.09	5.16	5.23
30	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21
31	2.88	3.48	3.84	4.09	4.29	4.45	4.59	4.71	4.81	4.90	4.99	5.06	5.13	5.20
32	2.88	3.48	3.83	4.09	4.28	4.45	4.58	4.70	4.80	4.89	4.98	5.05	5.12	5.18
33	2.88	3.47	3.83	4.08	4.28	4.44	4.57	4.69	4.79	4.88	4.97	5.04	5.11	5.17
34	2.87	3.47	3.82	4.07	4.27	4.43	4.56	4.68	4.78	4.87	4.96	5.03	5.10	5.16

A3 Tabla de Rango Estudentizado de Duncan

$\alpha = 0.05$

Valores Críticos q' (p , df ; 0.05) para pruebas de Rango Múltiple de Duncan

df	p->	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969	17.969
2	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085	6.085
3	4.501	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516	4.516
4	3.926	4.013	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033	4.033
5	3.635	3.749	3.796	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814	3.814
6	3.460	3.586	3.649	3.680	3.694	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697
7	3.344	3.477	3.548	3.588	3.611	3.622	3.625	3.625	3.625	3.625	3.625	3.625	3.625	3.625	3.625	3.625	3.625	3.625	3.625	3.625
8	3.261	3.398	3.475	3.521	3.549	3.566	3.575	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579	3.579
9	3.199	3.339	3.420	3.470	3.502	3.523	3.536	3.544	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547	3.547
10	3.151	3.293	3.376	3.430	3.465	3.489	3.505	3.516	3.522	3.525	3.525	3.525	3.525	3.525	3.525	3.525	3.525	3.525	3.525	3.525
11	3.113	3.256	3.341	3.397	3.435	3.462	3.480	3.493	3.501	3.506	3.509	3.510	3.510	3.510	3.510	3.510	3.510	3.510	3.510	3.510
12	3.081	3.225	3.312	3.370	3.410	3.439	3.459	3.474	3.484	3.491	3.495	3.498	3.498	3.498	3.498	3.498	3.498	3.498	3.498	3.498
13	3.055	3.200	3.288	3.348	3.389	3.419	3.441	3.458	3.470	3.478	3.484	3.488	3.490	3.490	3.490	3.490	3.490	3.490	3.490	3.490
14	3.033	3.178	3.268	3.328	3.371	3.403	3.426	3.444	3.457	3.467	3.474	3.479	3.482	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484	3.484
15	3.014	3.160	3.250	3.312	3.356	3.389	3.413	3.432	3.446	3.457	3.465	3.471	3.476	3.478	3.480	3.480	3.480	3.480	3.480	3.480
16	2.998	3.144	3.235	3.297	3.343	3.376	3.402	3.422	3.437	3.449	3.458	3.465	3.470	3.473	3.476	3.477	3.477	3.477	3.477	3.477
17	2.984	3.130	3.222	3.285	3.331	3.365	3.392	3.412	3.429	3.441	3.451	3.459	3.465	3.469	3.472	3.474	3.475	3.475	3.475	3.475
18	2.971	3.117	3.210	3.274	3.320	3.356	3.383	3.404	3.421	3.435	3.445	3.454	3.460	3.465	3.469	3.472	3.473	3.474	3.474	3.474
19	2.960	3.106	3.199	3.264	3.311	3.347	3.375	3.397	3.415	3.429	3.440	3.449	3.456	3.462	3.466	3.469	3.472	3.473	3.474	3.474
20	2.950	3.097	3.190	3.255	3.303	3.339	3.368	3.390	3.409	3.423	3.435	3.445	3.452	3.459	3.463	3.467	3.470	3.472	3.473	3.473
21	2.941	3.088	3.181	3.247	3.295	3.332	3.361	3.385	3.403	3.418	3.431	3.441	3.449	3.456	3.461	3.465	3.469	3.471	3.473	3.473
22	2.933	3.080	3.173	3.239	3.288	3.326	3.355	3.379	3.398	3.414	3.427	3.437	3.446	3.453	3.459	3.464	3.467	3.470	3.472	3.472
23	2.926	3.072	3.166	3.233	3.282	3.320	3.350	3.374	3.394	3.410	3.423	3.434	3.443	3.451	3.457	3.462	3.466	3.469	3.472	3.472
24	2.919	3.066	3.160	3.226	3.276	3.315	3.345	3.370	3.390	3.406	3.420	3.431	3.441	3.449	3.455	3.461	3.465	3.469	3.472	3.472
25	2.913	3.059	3.154	3.221	3.271	3.310	3.341	3.366	3.386	3.403	3.417	3.429	3.439	3.447	3.454	3.459	3.464	3.468	3.471	3.471
26	2.907	3.054	3.149	3.216	3.266	3.305	3.336	3.362	3.382	3.400	3.414	3.426	3.436	3.445	3.452	3.458	3.463	3.468	3.471	3.471
27	2.902	3.049	3.144	3.211	3.262	3.301	3.332	3.358	3.379	3.397	3.412	3.424	3.434	3.443	3.451	3.457	3.463	3.467	3.471	3.471
28	2.897	3.044	3.139	3.206	3.257	3.297	3.329	3.355	3.376	3.394	3.409	3.422	3.433	3.442	3.450	3.456	3.462	3.467	3.470	3.470
29	2.892	3.039	3.135	3.202	3.253	3.293	3.326	3.352	3.373	3.392	3.407	3.420	3.431	3.440	3.448	3.455	3.461	3.466	3.470	3.470
30	2.888	3.035	3.131	3.199	3.250	3.290	3.322	3.349	3.371	3.389	3.405	3.418	3.429	3.439	3.447	3.454	3.460	3.466	3.470	3.470
31	2.884	3.031	3.127	3.195	3.246	3.287	3.319	3.346	3.368	3.387	3.403	3.416	3.428	3.438	3.446	3.454	3.460	3.465	3.470	3.470
32	2.881	3.028	3.123	3.192	3.243	3.284	3.317	3.344	3.366	3.385	3.401	3.415	3.426	3.436	3.445	3.453	3.459	3.465	3.470	3.470
33	2.877	3.024	3.120	3.188	3.240	3.281	3.314	3.341	3.364	3.383	3.399	3.413	3.425	3.435	3.444	3.452	3.459	3.465	3.470	3.470
34	2.874	3.021	3.117	3.185	3.238	3.279	3.312	3.339	3.362	3.381	3.398	3.412	3.424	3.434	3.443	3.451	3.458	3.464	3.469	3.469
35	2.871	3.018	3.114	3.183	3.235	3.276	3.309	3.337	3.360	3.379	3.396	3.410	3.423	3.433	3.443	3.451	3.458	3.464	3.469	3.469
36	2.868	3.015	3.111	3.180	3.232	3.274	3.307	3.335	3.358	3.378	3.395	3.409	3.421	3.432	3.442	3.450	3.457	3.464	3.469	3.469
37	2.865	3.013	3.109	3.178	3.230	3.272	3.305	3.333	3.356	3.376	3.393	3.408	3.420	3.431	3.441	3.449	3.457	3.463	3.469	3.469

A4 Tabla de Dunnett

Valores críticos para la prueba de Dunnett

$\alpha= 0.05.$ Prueba de dos colas															
V	p=	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16	21
5		2.57	3.03	3.29	3.48	3.62	3.73	3.82	3.90	3.97	4.03	4.09	4.14	4.26	4.42
6		2.45	2.86	3.10	3.26	3.39	3.49	3.57	3.64	3.71	3.76	3.81	3.86	3.97	4.11
7		2.36	2.75	2.97	3.12	3.24	3.33	3.41	3.47	3.53	3.58	3.63	3.67	3.78	3.91
8		2.31	2.67	2.88	3.02	3.13	3.22	3.29	3.35	3.41	3.46	3.50	3.54	3.64	3.76
9		2.26	2.61	2.81	2.95	3.05	3.14	3.20	3.26	3.32	3.36	3.40	3.44	3.53	3.65
10		2.23	2.57	2.76	2.89	2.99	3.07	3.14	3.19	3.24	3.29	3.33	3.36	3.45	3.57
11		2.20	2.53	2.72	2.84	2.94	3.02	3.08	3.14	3.19	3.23	3.27	3.30	3.39	3.50
12		2.18	2.50	2.68	2.81	2.90	2.98	3.04	3.09	3.14	3.18	3.22	3.25	3.34	3.45
13		2.16	2.48	2.65	2.78	2.87	2.94	3.00	3.06	3.10	3.14	3.18	3.21	3.29	3.40
14		2.14	2.46	2.63	2.75	2.84	2.91	2.97	3.02	3.07	3.11	3.14	3.18	3.26	3.36
15		2.13	2.44	2.61	2.73	2.82	2.89	2.95	3.00	3.04	3.08	3.12	3.15	3.23	3.33
16		2.12	2.42	2.59	2.71	2.80	2.87	2.92	2.97	3.02	3.06	3.09	3.12	3.20	3.30
17		2.11	2.41	2.58	2.69	2.78	2.85	2.90	2.95	3.00	3.03	3.07	3.10	3.18	3.27
18		2.10	2.40	2.56	2.68	2.76	2.83	2.89	2.94	2.98	3.01	3.05	3.08	3.16	3.25
19		2.09	2.39	2.55	2.66	2.75	2.81	2.87	2.92	2.96	3.00	3.03	3.06	3.14	3.23
20		2.09	2.38	2.54	2.65	2.73	2.80	2.86	2.90	2.95	2.98	3.02	3.05	3.12	3.22
24		2.06	2.35	2.51	2.61	2.70	2.76	2.81	2.86	2.90	2.94	2.97	3.00	3.07	3.16
30		2.04	2.32	2.47	2.58	2.66	2.72	2.77	2.82	2.86	2.89	2.92	2.95	3.02	3.11
40		2.02	2.29	2.44	2.54	2.62	2.68	2.73	2.77	2.81	2.85	2.87	2.90	2.97	3.06
60		2.00	2.27	2.41	2.51	2.58	2.64	2.69	2.73	2.77	2.80	2.83	2.86	2.92	3.00
120		1.98	2.24	2.38	2.47	2.55	2.60	2.65	2.69	2.73	2.76	2.79	2.81	2.87	2.95
∞		1.96	2.21	2.35	2.44	2.51	2.57	2.61	2.65	2.69	2.72	2.74	2.77	2.83	2.91

5. Bibliografía consultada

- ❑ Fernández E., R. , A. Trapero, J. Domínguez (2010) **Experimentación en Agricultura.** Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla, España.
- ❑ Gomez K. A. and A Gomez. (1984) **Statistical Procedures for Agricultural Research.** 2nd Edition. Jhon Wiley & Sons, New York, USA
- ❑ Little T.M. y F.L. Hills. (1976) **Métodos Estadísticos para la investigación en la agricultura.** Editorial Trillas, México, D.F.
- ❑ Martínez Garza. A. (1988) **Diseños Experimentales. Métodos de teoría.** Editorial Trillas, México D.F.
- ❑ Padrón Corral. (2008) **Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y ganadería.** Editorial Trilla, México, D.F.