

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ÁREA DE CONSOLIDACIÓN:

MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

**Análisis estadísticos para la comparación de rendimiento de
alfalfa a distintas densidades de siembra y ambientes**

Tutores: Ing. Agr. (Dra) Cecilia Bruno.

Cotutor: Ing. Agr. Rodrigo Zarza

**Autores: Muller, Héctor Germán.
Ogas, Favio Ernesto.**

Índice de contenidos

Índice de tablas y figuras	3
Resumen	4
Introducción	5
Materiales y métodos	6
Resultados y discusión	9
Conclusión	21
Anexos	22
Bibliografía	23

Índice de tablas y figuras

Figura 1: Sembradora experimental autopropulsada WENTERSTEIGER	7
Figura 2: Grafico de barras del rendimiento promedio y su error estándar para 5 densidades de siembra en tres sitios (Col, Fl, SJ).	9
Figura 4: Gráfico de barras para comparar medias según tratamiento	13
Figura 4: Gráfico de barras para comparar medias según ambiente	13
Figura 5: Validación de supuestos de la varianza. Homogeneidad y Normalidad.	15
Figura 6: Grafico de QQ-plot y grafico de dispersión de residuos vs predichos	16
Figura 7: Grafico de QQ-plot y de dispersión de residuos vs predichos. MOD3	18
Figura 8: Componente de la varianza.	20
Tabla 1: Localización y descripción de los sitios experimentales.	6
Tabla 2: Fecha de siembra para cada uno de los sitios evaluados,	7
Tabla 3: Rendimiento de anual acumulada promedio (kgMs/ha),según tratamientos y ambiente.	11
Tabla 4 Comparación de medias de tratamientos	12
Tabla 5: Comparación de medias de ambientes.	12
Tabla 6: valores de AIC y BIC. MOD 2	13
Tabla 7: Comparación de medias según tratamientos. MOD2	13
Tabla 8: Valores de AIC y BIC. MOD 3	16
Tabla 9: varianza según ambientes del MOD3	17
Tabla 10: Comparación de medias de tratamientos. MOD3	18
Tabla 11: Comparación de medias según ambientes. MOD3	18
Tabla 12. Comparación de medias de tratamientos, ambientes y su interacción.	19
Tabla 13: Análisis de la varianza.	22
Tabla 14: Cuadro de análisis de la varianza	22
Tabla 15: Prueba de hipótesis secuenciales del MOD3	22

Resumen

Se analizó una base de datos de cultivo de alfalfa sometidas a diferentes densidades de siembra (tratamientos) y ambientes del Uruguay con el objetivo de identificar el/los tratamientos y ambientes favorables para su rendimiento, utilizándose técnicas de análisis descriptivo, de la varianza y modelos lineales mixtos. Para ello se ajustaron modelos estadísticos, uno bajo el modelo lineal general (MOD1), otro según modelos lineales mixtos (MOD2), otro teniendo en cuenta la heteroscedasticidad (MOD3) y por último un modelo de componentes de varianzas (MOD4), dejando como efectos fijos al tratamiento y como efecto aleatorio al ambiente y su interacción. Se pudo concluir que el MOD 3 fue el que mejor se ajustó a la base de datos, obteniendo los mejores rendimientos en el ambiente san José donde las densidades de siembra de 8, 12, 16 y 20 kg de semilla/ha arrojaron los mejores rendimientos anuales sin presentar diferencias significativas entre ellas.

Análisis estadísticos para la comparación de rendimiento de alfalfa a distintas densidades de siembra y ambientes

Introducción

En las Ciencias Agropecuarias frecuentemente se conducen ensayos para comparar dos o más poblaciones identificadas según algún criterio de clasificación. Este tipo de ensayos, suelen ser clasificados dentro de los denominados “Estudios Experimentales” donde se realiza un diseño del experimento que incluye un plan de ensayo. Dicho de otra forma, los experimentos son llevados a cabo por los investigadores para el estudio o descubrimiento de un proceso particular o para comparar el efecto de algún fenómeno (Montgomery, 2008). Para el análisis de experimentos es común recurrir a un método estadístico cuya finalidad es contrastar hipótesis referidas a las medias de dos o más poblaciones como es el caso de los modelos lineales.

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una de las principales leguminosas forrajeras del país con una amplia distribución en sistema de producción de carne y leche. La difusión del cultivo se apoya en sus altos rendimientos de materia seca (MS) ha⁻¹. Por otro lado, su capacidad para la fijación del Nitrógeno atmosférico a través de la simbiosis con *Sinorhizobium meliloti* la convierten también en un importante componente de la sustentabilidad de los sistemas productivos. (Ing. Agr. Daniel H. Basigalup. 2007).

La variedad Estanduela Chana, cultivar estudiado en el presente trabajo, fue seleccionada por persistencia sobre viejos alfalfares de origen italiano. Se destaca por su muy buena productividad durante todo su ciclo de crecimiento, pudiendo producir 50% del forraje total en el verano. Su rápida recuperación después del corte permite obtener hasta seis cortes al año. Frente a la mayoría de las variedades, se destaca por su buen comportamiento frente a enfermedades foliares. Su máxima producción se alcanza cuando el manejo de defoliación se realiza respetando el ciclo de reservas de la planta. Su vida productiva es normalmente de cuatro a cinco años con pastoreos rotativos, ya que los pastoreos frecuentes reducen su persistencia. (Ing. Agr. Daniel H. Basigalup. 2007).

El presente trabajo ajustó diversos modelos, estadísticos, con el objetivo de establecer la densidad de siembra óptima en la que se logran los mayores rendimientos de alfalfa.

Materiales y métodos

La base de datos integra los resultados de los ensayos que surgen del Proyecto “Desarrollo de técnicas de manejo para aumentar la implantación y productividad de las pasturas”, en el Instituto Nacional de Investigación (INIA). Los ensayos fueron instalados dentro de la cuenca lechera de Uruguay durante 3 años (2012, 2013 y 2014), y en 3 sitios (nueve ambientes). Se evaluó la producción de forraje de una pastura de alfalfa (*Medicago sativa*) con 5 densidades de siembra distintas. se midió el rendimiento del cultivo de alfalfa (Variable respuesta) con 5 densidades de siembra distintas, a los que denominaremos tratamientos (T1:4 Kg/Ha; T2 8 Kg/Ha; T3:12 Kg/Ha; T4:16 Kg/Ha; T5:20 Kg/Ha) para cada uno de los nueve ambientes (sitio x año). Los ensayos sembrados en cada sitio fue el mismo durante los 3 años.

Los sitios experimentales (Tabla 1) fueron definidos bajo un acuerdo de trabajo entre la Asociación Nacional de Productores de Leche (ANPL) y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) de Uruguay. El criterio de selección consideró la ubicación de los predios dentro de la cuenca lechera, la antigüedad en el uso de siembra directa (más de 10 años), y la condición de que el área seleccionada para la instalación de las pasturas hubiese estado dentro del circuito de pastoreo del tambo en los años previos a la siembra.

Tabla 1. Localización y descripción de los sitios experimentales.

Sitio	I	II	III
Departamento	Colonia	San José	Florida
Coordenadas	-34.346268, -57.697656	-34.265667, -56.819522	-34.347350, -56.402664
Localidad	Estanzuela	Juan Soler	Villa Independencia
Unidad de suelos	Ecilda Paullier-Las Brujas	Tala Rodríguez	Tala Rodríguez
Suelo	Brunosol Eútrico típico	Brunosol Eútrico típico	Planosol Eútrico

Se generó un rango de densidades que simulan una mala implantación (valores más bajos) y una buena implantación (valores más altos), dentro de las cuales se encuentran aquellas densidades promedio más utilizadas por los productores en sus establecimientos.

Al inicio de cada otoño se realizó el acondicionamiento de las áreas previstas para la siembra, mediante aplicaciones de glifosato luego del verdeo de verano (3litros/ha) y previo a la siembra (2litros/ha) con un mínimo de 45 días de barbecho. Todos los ensayos se instalaron

hacia fines del otoño (Tabla 2), en siembra directa con una sembradora experimental autopropulsada WINTERSTEIGER de parcelas (figura 1), cada una de 7,2 m² (6*1,2 metros) con 6 surcos y distancia entre hileras de 17 cm.

Tabla 2. Fecha de siembra para cada uno de los sitios evaluados.

Año	Sitio	Departamento	Fecha de siembra
2012	I	Colonia	01-jun
	II	San José	22-jun
	III	Florida	26-jun
2013	I	Colonia	01-jun
	II	San José	13-may
	III	Florida	07-jun
2014	I	Colonia	29-abr
	II	San José	25-abr
	III	Florida	24-abr



Figura 1: Sembradora experimental autopropulsada WINTERSTEIGER de parcelas Panorámica en la siembra del sitio experimental de Florida.

Finalizado la etapa de establecimiento del cultivo (90 días), se continuó con la evaluación de forraje bajo corte mecánico. Mensualmente se recorrían los experimentos, cuando la altura promedio de las parcelas de los ensayos alcanzaba 20-25 cm de altura se definía el corte de evaluación. Se utilizó una cortadora de césped marca HONDA Hidrostatic Modelo HRC 216 Doble Cuchilla con bolsa recolectora y ancho de corte de 53 cm. El corte de evaluación se realizó sobre los tres surcos centrales de cada parcela, dejando un remanente de 4,5 cm de altura. En cada evaluación se tomaron muestras de forraje fresco que fueron llevadas

laboratorio para determinar el porcentaje de materia seca en estufa de aire forzado durante 48 hs a 60°C , la producción se expresó en kilogramos de MS por parcela (kg MS parcela-1).

Para evaluar la disponibilidad de forraje de alfalfa, se ajustaron diferentes modelos, uno bajo el modelo lineal general (MOD1) y dos modelos lineales mixtos, uno sin tener en cuenta la heteroscedasticidad (MOD2), otro teniendo en cuenta la misma y su interacción ambiente*tratamiento como efecto aleatorio (MOD3) y por ultimo . Para ambos modelos se consideró el efecto del Ambiente, el efecto de las distintas densidades de siembra (Tratamiento) y a la interacción entre ambos como efectos aleatorio.

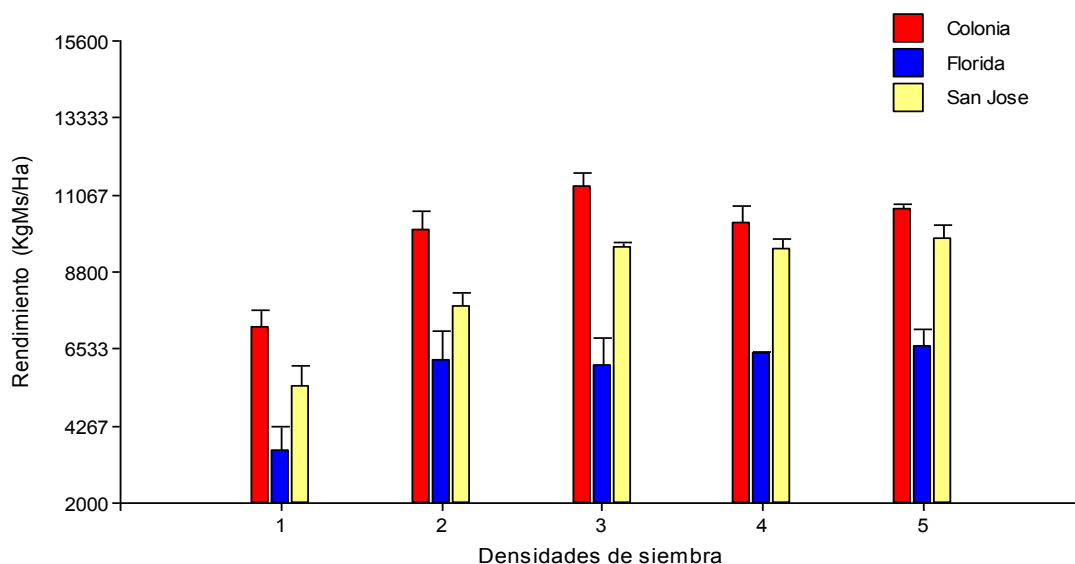
También se ajustó un modelo de Componentes de Varianzas (MOD4), dejando como efectos fijos al Tratamiento y como efecto aleatorio al Ambiente (combinación de sitio por año de ensayo) y su interacción . A partir de este modelo de componentes de varianza, se estimó la proporción de la varianza explicada en la producción de pastura, por la variabilidad entre los ambientes. Posteriormente se realizaron comparaciones usando el test particionante DCG.

Resultado y discusión

Análisis descriptivo

Se realizó una estadística descriptiva para evaluar el rendimiento del cultivo en base a los factores de densidades de siembra (5 tratamientos) y los nueve Ambientes (combinación de sitio x año).

En la Figura 2 se puede ver que para el año 2012, el de mayor rendimiento promedio fue el departamento Colonia, siendo el T3 el de mejor comportamiento promedio para el mismo. Para el año 2013, el de mejor rendimiento promedio fue el departamento de San José, observándose una importante merma en los rendimientos promedios para Colonia. Para el año 2014, nuevamente los mayores rendimientos promedios se observan en San José; los resultados para Colonia volvieron a incrementarse mientras que Florida para todos los años mostro un patrón de rendimiento que tiende a ser constante.



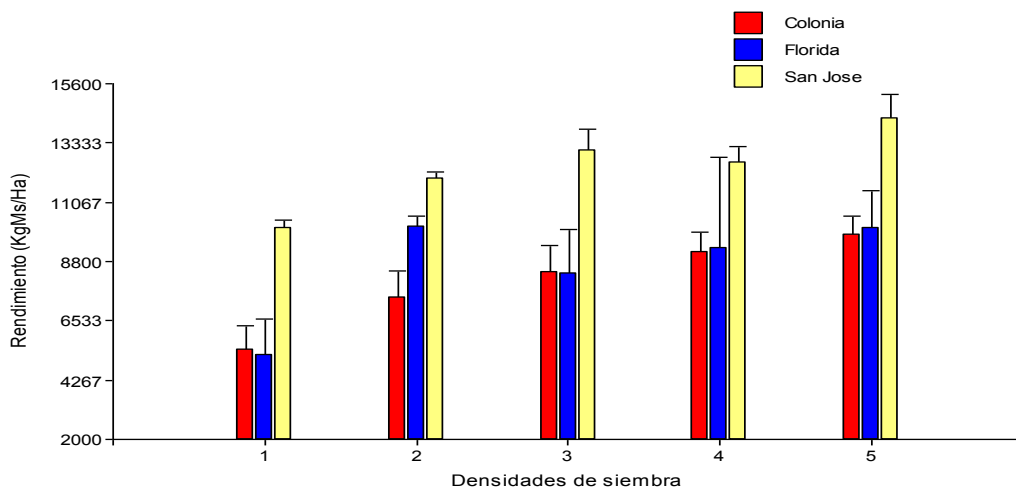
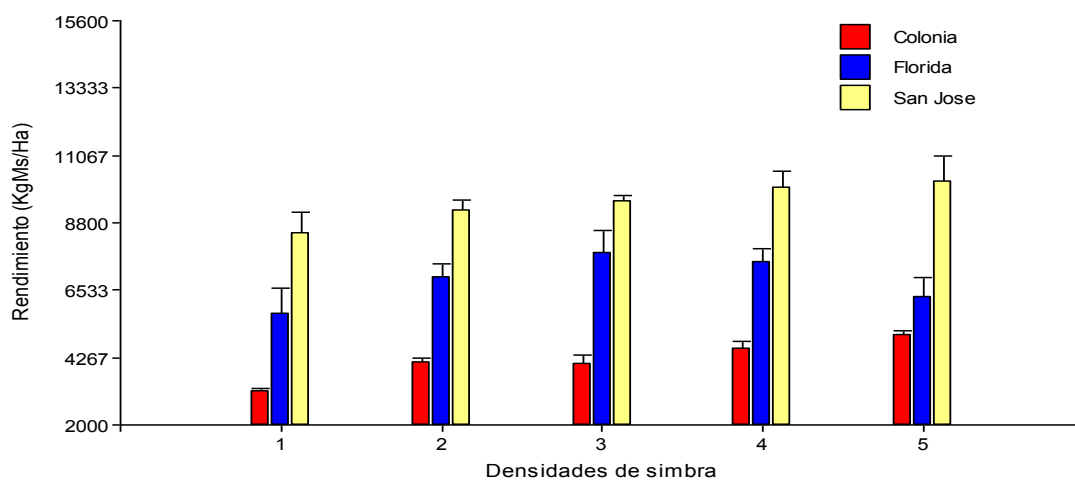


Figura 2. Rendimiento promedio y error estándar según tratamiento para (4, 8, 12, 16 y 20 respectivamente) en tres sitios (Colonia, Florida y San José) durante los años 2012 (arriba), 2013 (centro) y 2014 (abajo).

Se observa en la Tabla 3, que para todos los tratamientos se obtuvo un mayor rendimiento promedio en el ambiente San José 2014 (Sj2014), siendo el T5 el de mayor rendimiento promedio, mientras que para el ambiente Colonia 2013 se obtuvieron los menores rendimientos promedio., siendo el T1 el más bajo.

Tabla 3. Rendimiento de anual acumulada promedio (kgMs/ha),según tratamientos y ambiente.

Tratamiento	Ambiente	n	Media	D.E.
1	COL2012	4	7165	985
	COL2013	4	3116	175
	COL2014	4	5421	1825
	FL2012	4	3542	1395
	FL2013	4	5755	1666
	FL2014	3	5211	2381
	SJ2012	4	5414	1270
	SJ2013	4	8466	1424
	SJ2014	4	10061	666
2	COL2012	4	10025	1155
	COL2013	4	4099	273
	COL2014	4	7415	2037
	FL2012	4	6217	1651
	FL2013	4	6968	856
	FL2014	3	10153	691
	SJ2012	4	7789	759
	SJ2013	4	9186	749
	SJ2014	4	11950	591
3	COL2012	4	11330	760
	COL2013	4	4039	620
	COL2014	4	8411	2009
	FL2012	4	6039	1669
	FL2013	4	7772	1496
	FL2014	4	8355	3323
	SJ2012	4	9526	256
	SJ2013	4	9492	482
	SJ2014	4	13059	1623
4	COL2012	4	10248	1005
	COL2013	4	4557	513
	COL2014	4	9147	1569
	FL2012	4	6403	137
	FL2013	4	7470	952
	FL2014	2	9319	4931
	SJ2012	4	9449	598
	SJ2013	4	9959	1192
	SJ2014	4	12576	1285
5	COL2012	4	10633	301
	COL2013	4	5017	310
	COL2014	4	9810	1420
	FL2012	4	6578	1114
	FL2013	4	6269	1426
	FL2014	3	10065	2464
	SJ2012	4	9756	814
	SJ2013	4	10169	1741
	SJ2014	4	14279	1814

A continuación daremos desarrollo a los diferentes modelos que se propusieron para llevar a cabo el análisis de la variable respuesta:

- **MODELO 1:** Modelo lineal general con distribución normal, idénticamente distribuidos e independientes con varianzas homogéneas, $\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$

Se efectuó un análisis de la varianza considerando a los 5 niveles de densidad de siembra como tratamientos y a los 9 ambientes como criterio de clasificación, rendimiento (KgMs/Ha) como variable respuesta o dependiente. Posteriormente se realizó la comparación de medias para el criterio tratamiento y ambiente, utilizando una Prueba de DCG con un nivel de significación $\alpha=0,05$ donde se pueden observar las diferencias significativas encontradas en las variables estudiadas.

La lectura de la salida del ANAVA muestra que hay un 83% (R^2) de la variabilidad total de la variable respuesta se puede explicar conociendo las condiciones experimentales a las que han sido expuestas los tratamientos. El error experimental tiene una magnitud que es equivalente al 17% (CV) del valor medio de la variable respuesta.

El análisis del cuadro de ANAVA indicaron para las variables analizadas, que las medias presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-Valor}=0.0001$) para los efectos de tratamientos y ambientes no así para su interacción.

La aplicación de la Prueba de DCG con un nivel de significación $\alpha=0,05$ para la variable tratamiento (tabla 4), indica que bajo a las condiciones en que fue expuesta el T1 el rendimiento promedio fue de 6.050 kgMs/ha, mientras que para los restantes condiciones el rendimiento promedio estuvo alrededor de 8.155 KgMs/ha para el T2, 8.669 KgMs/ha para el T3, 8.784 KgMs/ha para el T4 y 9.161 KgMs/ha para el T5, no pudiéndose distinguir estadísticamente entre el efecto que tienen los tratamientos 3, 4 y 5. En cuanto a la variable ambiente (tabla 5), para Col204, SJ2012, FL2014 y SJ2013, Col2012 no se encontraron diferencias significativas.

Tabla 4: Diferencias estadísticas para la variable rendimiento según los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Medias	N	E.E.			
1	6050	35	238	A	B	
2	8155	35	238			
3	8669	36	234			C
4	8784	34	242			C
5	9161	35	238			C

Tabla 5: Diferencias estadísticas para la variable rendimiento según los diferentes ambientes.

Ambiente	Medias	N	E.E.					
COL2013	4165	20	314	A				
FL2012	5755	20	314		B			
FL2013	6846	20	314			C		
COL2014	8040	20	314				D	
SJ2012	8386	20	314				D	
FL2014	8563	15	364				D	
SJ2013	9454	20	314					E
COL2012	9880	20	314					E
SJ2014	12384	20	314					F

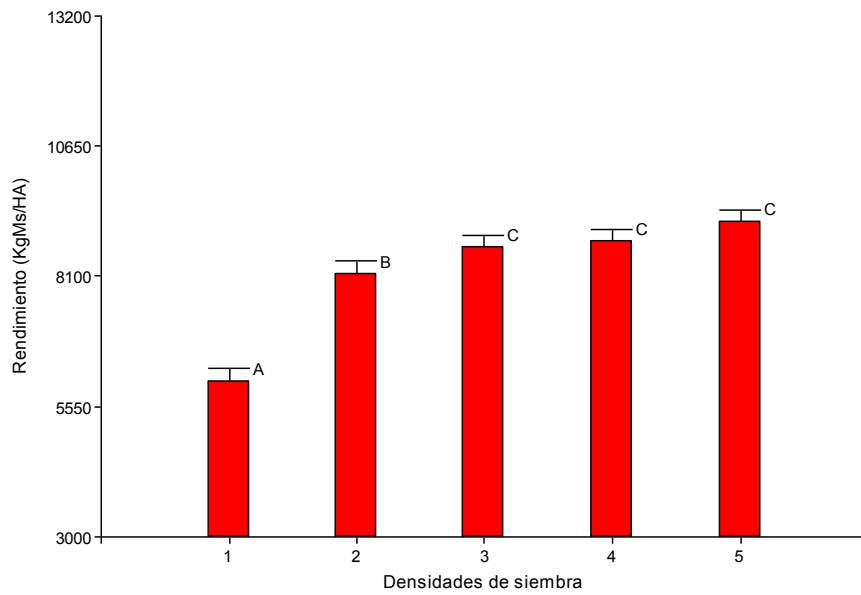


Figura 3. Rendimiento(kgMS/ha) promedio por tratamiento. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

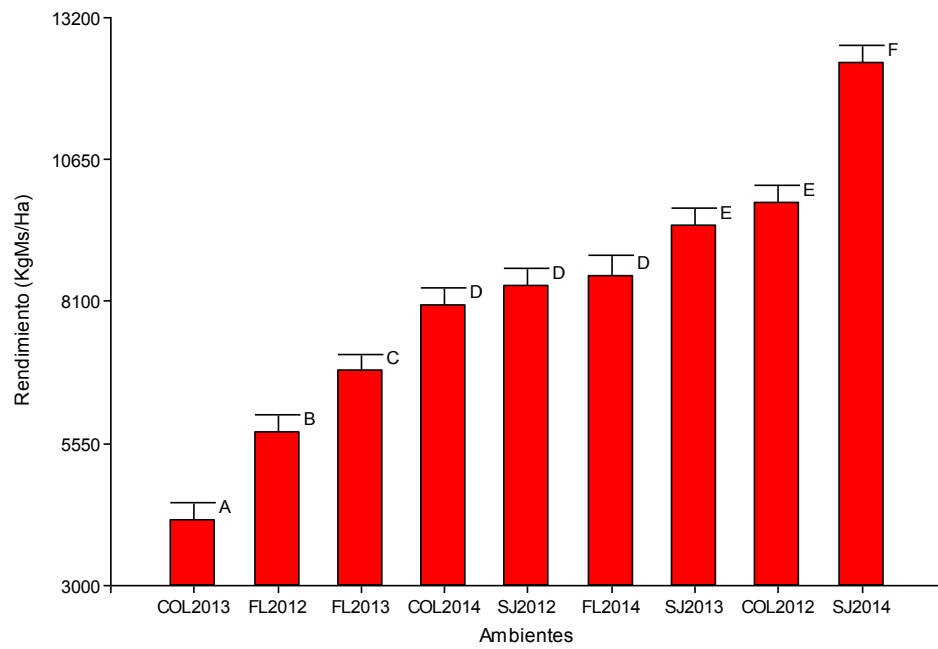


Figura 4. Rendimiento (kgMS/ha) promedio por ambientes. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En el siguiente QQ plot, podemos ver que los datos no se acomodan bien sobre una recta de 45°, se alejan de la recta en los extremos, no cumpliendo con el supuesto de normalidad (Figura 5). En el gráfico de dispersión de residuos vs. Predichos (Figura 5), no se observa una nube de puntos homogénea como debería esperarse en caso de que se estén cumpliendo con los supuestos del ANAVA. Esta heterogeneidad de varianzas que puede visualizarse, nos hace pensar en que se podría recurrir a un modelo que permita flexibilizar los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad y corregir los valores obtenidos para asegurarse si las diferencias entre los rendimientos promedios entre los tratamientos no pudieron ser detectadas o verdaderamente no existen.

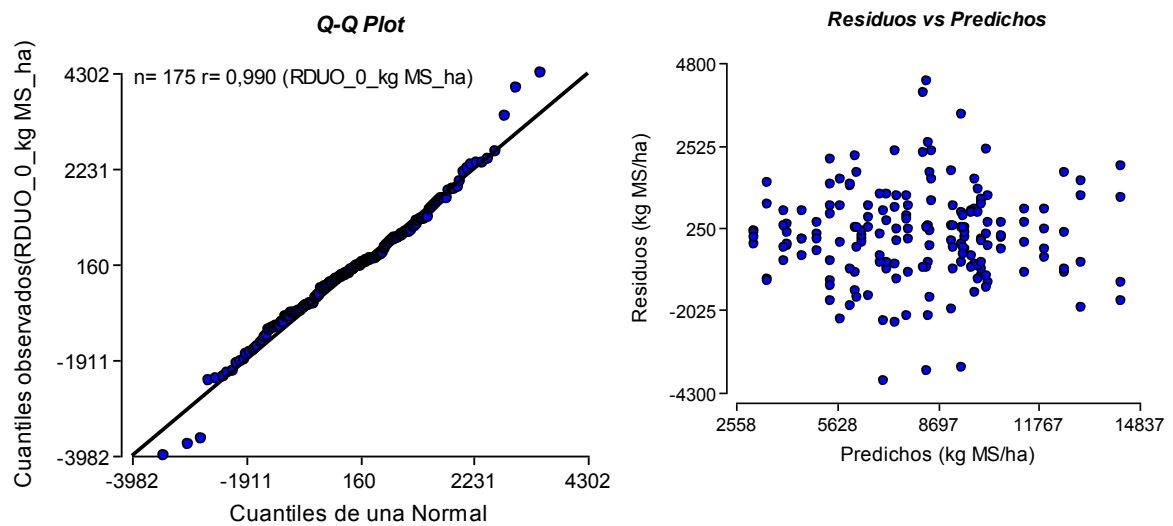


Figura 5: Validación de supuestos de la varianza. Homogeneidad y normalidad.

- **Modelo 2:** Modelo lineal mixto con efectos fijos tratamiento y efecto aleatorio el ambiente. Sin contemplar heteroscedasticidad entre ambientes.

Anteriormente en el MOD 1 se detectó falta de normalidad y homogeneidad de varianza, lo cual se ajustó mediante modelos lineales mixtos; en este modelo al no contemplar la heteroscedasticidad entre ambientes, nos indica que se tuvo en cuenta el efecto ambiente pero que no lo estamos comparando, no obstante, este modelo no se ajustó a la base de datos al arrojar valores de AIC y BIC demasiado altos (Tabla 6), estos dos indicadores son usados para la comparación de los ajustes y por tanto para la selección de un modelo, a menor AIC y BIC mejor ajuste del modelo. Al mismo tiempo al analizar la exploración de modelos (Figura 6) vemos que el gráfico de QQ-plot no cumple con los supuestos de normalidad y el de residuo vs predichos no cumple con el supuesto de homogeneidad de varianza. La aplicación de la Prueba de DCG con un nivel de significación $\alpha=0,05$ para la variable tratamiento (tabla 7), proyectaron iguales resultados en comparación al MOD 1.

Tabla 6: valores de AIC y BIC. MOD 2

N	AIC	BIC
175	3012	3034

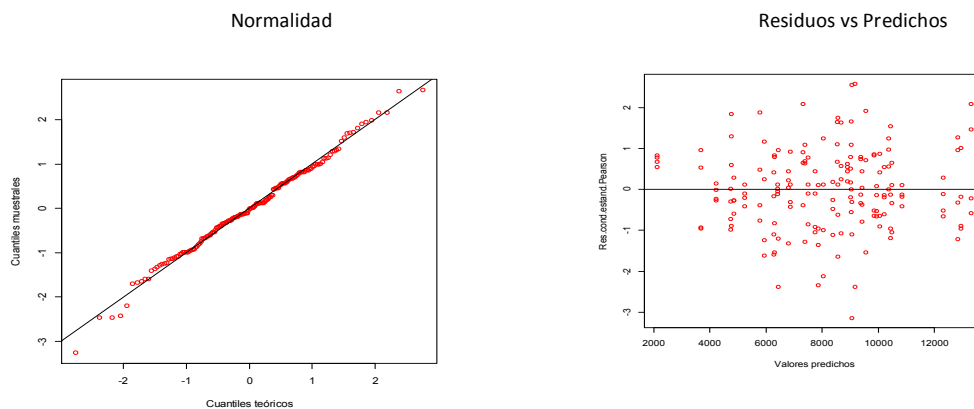


Figura 6: Gráfico de QQ-plot y gráfico de dispersión de residuos vs predichos

Tabla 7: Comparación de medias según tratamientos. MOD2

Tratamiento	Medias	E.E.			
5	9160	829	A		
4	8783	830	A		
3	8669	828	A		
2	8155	829		B	
1	6050	829			C

- **MODELO 3:** Modelo lineal mixto con efectos fijos de tratamiento, y como efecto aleatorio ambientes y su interacción tratamiento-ambiente, contemplando heteroscedasticidad entre ambientes (var ident).

Para ajustar aun más el modelo incorporamos al modelo anterior (MOD2) como efecto aleatorio la interacción tratamiento*ambiente y consideramos también la heteroscedasticidad. Este modelo, estima una varianza por variedad; la heterogeneidad de varianzas se modeló con distintos tipos (VarIdent, VarExp, VarPower, VarConstPower, VarFidex). El modelo que mejor ajustó según los criterios de información de Akaike (AIC y BIC), arrojando resultados de alta variabilidad para el ambiente FI2014 (tabla 9) y una función de correlación de los errores autorregresivo de orden 1 con el objeto de corregir una falta de independencia generada por ciertos procesos variables en el tiempo, con esto se llegó a una diferencia significativa para las medias de los efectos tratamiento, ambiente y de su interacción ($p \leq 0.0001$).

Tabla 8: Valores de AIC y BIC. MOD 3

N	AIC	BIC
175	2368	2526

Tabla 9. varianza según ambientes del MOD3

Parámetro	Estimación
COL 2012	1,00
COL 2013	0,47
COL 2014	2,01
FL 2012	1,50
FL 2013	1,45
FL 2014	3,21
SJ 2012	0,90
SJ 2013	1,34
SJ 2014	1,51

Al analizar la validación de supuestos se observa en el gráfico QQ-plot de la figura 7, que esta cumple con el supuesto de normalidad y en el gráfico de dispersión de residuos vs predichos de homogeneidad de varianzas.

No se observan diferencias significativas entre los tratamientos 2, 3, 4 y 5, pero sí de éstos con respecto al 1 (el más bajo).

En cuanto al ambiente se puede decir que San José en 2014 presenta el más alto rendimiento, mientras que Colonia en 2013 es el que tiene los rendimientos más bajos, ubicándose los demás entre medio de estos dos.

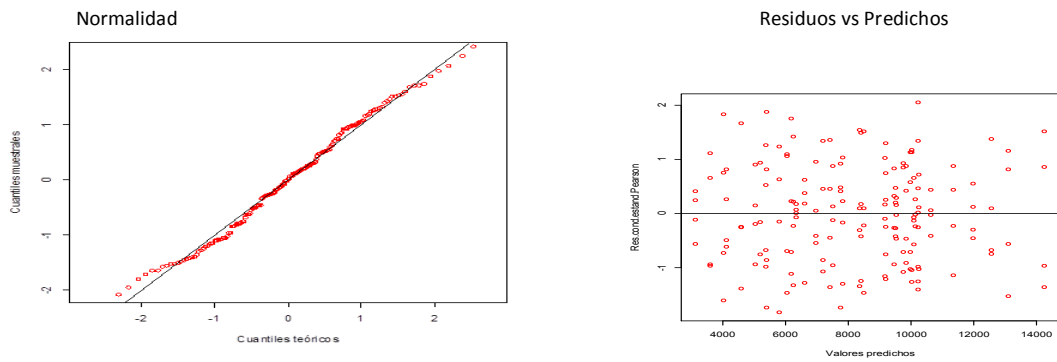


Figura 7: Grafico de QQ-plot y de dispersión de residuos vs predichos. MOD3

Tabla 10: Comparación de medias de tratamientos. MOD3

Tratamiento	Medias	EE		
5	9342	288	A	
3	8936	277	A	
4	8919	308	A	
2	8380	288	A	
1	6139	288		C

Tabla 11: Comparación de medias según ambientes. MOD3

Ambiente	Medias	E.E.				
SJ2014	12396	586	A			
COL2012	9878	552		B		
SJ2013	9468	574		B		
FL2014	8623	849		B		
SJ2012	8393	547		B		
COL2014	8041	631		B		
FL2013	6844	582			C	
FL2012	5746	586			C	
COL2013	4166	530				D

Tabla 12. Comparación de medias de tratamientos, ambientes y su interacción. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). MOD3

Tratamiento	Ambiente	Medias	E.E.				
5	SJ2014	14259,34	797,40	A			
3	SJ2014	13094,58	796,99		B		
4	SJ2014	12555,88	796,99		B		
2	SJ2014	11975,53	796,99		B		
3	COL2012	11340,34	658,41		B		
5	COL2012	10618,80	658,63		B		
5	FL2014	10238,88	1582,41		B		
5	SJ2013	10216,79	749,06		B		
4	COL2012	10215,16	658,41		B		
2	FL2014	10140,97	1580,31		B		
1	SJ2014	10097,27	797,40		B		
2	COL2012	10023,46	658,41		B		
4	SJ2013	9967,43	748,71		B		
5	COL2014	9846,49	959,70		B		
5	SJ2012	9755,87	635,79		B		
3	SJ2012	9534,78	635,60		B		
3	SJ2013	9494,68	748,71		B		
4	SJ2012	9457,66	635,60		B		
4	FL2014	9197,63	1927,67		B		
2	SJ2013	9181,42	748,71		B		
4	COL2014	9173,34	959,08		B		
1	SJ2013	8484,58	749,06			C	
3	COL2014	8409	959,08			C	
3	FL2014	8355	1384,55			C	
2	SJ2012	7826	635,60			C	
3	FL2013	7748	781,25			C	
4	FL2013	7491	781,25			C	
2	COL2014	7415	959,08			C	
1	COL2012	7192	658,63			C	
2	FL2013	6953	781,25			C	
5	FL2012	6606	795,64			C	
4	FL2012	6342	795,22			C	
5	FL2013	6241	781,64			C	
2	FL2012	6164	795,22			C	
3	FL2012	6034	795,22			C	
1	FL2013	5786	781,64			C	
1	SJ2012	5394	635,79			C	
1	COL2014	5362	959,70			C	
1	FL2014	5183	1582,06			C	
5	COL2013	5024	556,27			C	
4	COL2013	4578	556,21			C	
2	COL2013	4101	556,21				D
3	COL2013	4012	556,21				D
1	FL2012	3583	795,64				D
1	COL2013	3116	556,27				D

- **Modelo 4:** Método de componente de la varianza

Este método se realizó con el objetivo de analizar cuanto influye, en términos de porcentaje, el efecto de los tratamientos (distintas densidades de siembra), el efecto del ambiente y el efecto de la interacción entre ambos, en el rendimiento.

Para ello se calculó la Varianza, dejando como efectos fijos los tratamientos y como efectos aleatorios al ambiente, dando como resultado lo siguiente:

ANUAL:

$$\text{Var}_{\text{Amb}} = 87,21\%$$

$$\text{Var}_{\text{Tr} + \text{Amb}} = 0,52\%$$

$$\text{Var}_{\text{residuo}} = 11,59\%$$

Esto quiere decir que el que más aporta a la diferencia de rendimientos en la producción anual es el ambiente con un nivel de participación del 87,21%.

Figura 8: componente de la varianza.

Conclusión

Como se mencionó anteriormente, esta base de dato no pudo ser ajustada con un análisis de la varianza clásico al presentar falta de cumplimiento de los supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianza. Los modelos lineales mixtos nos permitieron flexibilizar estos supuestos y así ajustar nuestra base de datos a dichos modelos.

Se concluye que para las densidades de siembra 8, 12, 16 y 20 Kg de semilla/ha se obtuvieron los mejores rendimientos anuales sin encontrar diferencias estadísticamente significativas.

En cuantos a los ambientes el de mayor rendimiento estuvo dado por San José 2014 (14.259 kgMs/ha) con una densidad de siembra de 20 kg de semilla/ha y en cuanto a los rendimientos más bajos se presentaron para las densidades de siembra 4, 8, y 12 kg de semilla/ha en el ambiente Colonia 2013 (3.700 KgMs/ha) y con una densidad de siembra de 4 Kg de semilla/ha para el ambiente Florida 2012.

ANEXOS

Modelo 1

Tabla 13: Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
kg MS_ha	175	0,83	0,77	17,12

Tabla 14: Cuadro de Análisis de la Varianza

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	5904,69	<0,0001
Tratamiento	4	27,92	<0,0001
Ambiente	8	59,23	<0,0001
Tratamiento:Ambiente	32	1,09	0,3552

Nivel de significación $\alpha=0,05$.

Modelo 3

Tabla 15: Prueba de hipótesis secuenciales del MOD3

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	130	1692,90	<0,0001
Tratamiento	4	130	57,63	<0,0001
Ambiente	8	0	18,27	
Tratamiento:Ambiente	32	130	2,57	0,0001

Bibliografía

- Casanoves F, Balzarini M. (2005). Curso-Taller Aplicaciones de Modelos Mixtos en Agricultura y Forestería.
- Di Rnzo J, Casonoves F, Gonzalez L, Tablada E, Diaz M, Robledo C, Balzarini M. (2008). Estadística para las Ciencias Agropecuarias.
- Julio A. Di Rienzo , Raúl Macchiavelli , Fernando Casanoves . (2012). Modelos Lineales Mixtos Aplicaciones en InfoStat .
- Mónica Rebuffo, Diego F. Risso, Ernesto Restaino. (2000) TECNOLOGÍA EN ALFALFA., Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Daniel H. Basigalup. El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina Editor. EEA Manfredi - INT.