

**Área de consolidación Métodos Cuantitativos para la Investigación  
Agropecuaria**

***Efectos de las densidades de siembra sobre el  
rendimiento en la mezcla de pasturas***

Alumno: Rothen Christian G.

Tutores: Ing. Agr. (Dra) Cecilia Bruno

Ing. Agr. MSc. Rodrigo Zarza

***Fecha de entrega: 05/07/2016***

**Índice:**

Resumen-----	Pág. 4
Introducción-----	Pág. 4
Materiales y Métodos-----	Pág. 5
Resultados-----	Pág. 8
Modelo Invierno-----	Pág. 14
Modelo Primavera-----	Pág. 15
Modelo Verano-----	Pág. 16
Modelo Anual-----	Pág. 17
Método de Componentes de Varianza-----	Pág. 18
Conclusiones finales-----	Pág. 19
Bibliografía-----	Pág. 20

**Índice de Tablas y Figuras:**

Tabla 1. Localización y descripción de los sitios experimentales seleccionados para el ensayo de incorporación de mezclas de gramíneas en Medicago sativa L.....	Pág. 5
Tabla 2. Tipos de pasturas cultivadas en mezcla.....	Pág. 6
Tabla 3. Rango de densidades (kg/ha) utilizado para cada una de pasturas evaluados.....	Pág. 6
Tabla 4. Fecha de siembra para cada uno de los sitios evaluados. ....	Pág. 7
Tabla 5. Productividad media, medida en Kg MS/ha., D.E, CV, MÍN, MÁX, para cada estación.....	Pág. 8
Figura 1. Rendimiento promedio de producción de materia seca en mezcla de pasturas, medidas en kg MS/ha para cada estación y tratamiento.....	Pág. 9
Tabla 6. Productividad media medida en kg MS/ha., D.E, CV, Mín., Máx., para cada sitio por estación.....	Pág. 10
Gráfico 1. Productividad media, medida en Kg Ms/ha por tratamiento, para cada estación para el Departamento Florida.....	Pág. 10
Gráfico 2. Productividad media, medida en Kg Ms/ha por tratamiento, para cada estación para el Departamento San José.....	Pág. 11
Gráfico 3. Productividad media, medida en Kg Ms/ha por tratamiento, para cada estación para el Departamento Colonia.....	Pág. 11
Figura 2. Rendimiento promedio de producción de materia seca en mezcla de pasturas, medido en Kg MS/ha, por año, para cada estación .....	Pág. 12
Figura 3. Rendimiento promedio de producción de materia seca en mezcla de pasturas, medidas en kg MS/ha para cada estación, por sitio.....	Pág. 13
Figura 4. Comparación de Modelos 1 y 2 para la estación Invierno.....	Pág. 14
Figura 5. Comparación de Modelos 1 y 2 para la estación Primavera.....	Pág. 15
Figura 6. Comparación de Modelos 1 y 2 para la estación Verano.....	Pág. 16
Figura 7. Comparación de Modelos 1 y 2 Anual.....	Pág. 17
Figura 8. Mod 3. Cálculo de Varianzas para la estimación del aporte de cada componente sobre el rendimiento promedio.....	Pág. 18

## **Efectos de las densidades de siembra sobre el rendimiento en la mezcla de pasturas**

### **Resumen**

Este trabajo tiene como objetivo analizar los rendimientos de alfalfa en mezcla bajo diferentes ambientes y densidades de siembra para el primer año de vida de la pastura. Para ello se ajustaron modelos estadísticos, uno bajo el modelo lineal general (MOD1) y otro teniendo en cuenta la heteroscedasticidad (MOD2).

También se ajustó un modelo de Componentes de Varianzas (MOD3), dejando como efectos fijos al Tratamiento y como efecto aleatorio al Ambiente (combinación de sitio por año de ensayo).

Se pudo concluir que el MOD 2 fue el que mejor se ajustó a la base de datos.

### **Introducción**

Las pasturas cultivadas pueden sembrarse en forma pura o en mezclas de varias especies (Jorge Castaño. 2001). Dentro de los sistemas pastoriles mas intensivos como en el sector lechero, es frecuente encontrar ambos tipos de siembras, donde *Medicago sativa*L. (alfalfa) es la leguminosa de mayor uso (Revista Argentina de Producción Animal 29 (2): 119-129 (2009)). Al momento de definir si la leguminosa se siembra pura o en mezcla hay diferentes criterios que se consideran. Muchos justifican el uso de pasturas monofíticas por la simplicidad en el manejo del pastoreo y la fertilización. Otros prefieren la incorporación de gramíneas para disminuir los riesgos de empaste y mejorar la distribución estacional de forraje (INTA Balcarce, Adaptación y manejo de especies forrajeras y técnicas para optimizar su producción. (2014). Cómo combinar las gramíneas con la alfalfa para mejorar esa distribución y en qué proporción incorporar las gramíneas, es uno de los objetivos de este trabajo. Existen propuestas respecto a las densidades de siembra de la alfalfa con otras gramíneas para obtener una mayor cantidad de disponibilidad de pasturas (Jorge Castaño et al., 2001). Para determinar el efecto de la incorporación de gramíneas sobre el rendimiento de alfalfa, se sembraron ensayos durante 3 años (2012, 2013 y 2014), en 3 sitios ubicados dentro de la cuenca lechera de Uruguay. Se incluyeron pasturas cultivadas, *Medicago sativa*L. en mezcla con *Festuca arundinacia*, *Holcus* y Trébol blanco con 5 densidades de siembra para cada tipo de pastura.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los sitios experimentales 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 de los predios consideró, la ubicación de los mismos 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. Bajo estas condiciones, en diciembre del año 2011 se seleccionaron los sitios experimentales (Tabla 1); dos de ellos correspondieron a predios de productores y el tercero a la Estación Experimental de INIA La Estanzuela dentro de la Unidad de Lechería. Durante el mes de marzo se caracterizaron los suelos de cada uno de los sitios mediante la toma de muestras con calador tipo holandés, a una profundidad de 15 cm para definir la fertilización base a la siembra. Se colocaron cercos protectores de malla electro soldada de 1, 20 cm de altura delimitando las áreas experimentales para evitar el ingreso de animales que pudieran generar pérdidas de plantas durante la evaluación. Cada una de las áreas experimentales fue fraccionada en tres fajas, donde cada una se correspondía con un año de siembra. Aquellas fajas donde no correspondía la siembra de las pasturas evaluadas permanecieron bajo cultivo de invierno (*Avena byzantina* Koch,) y luego con un verdeo de verano (*Sorghum bicolor* (L.) Moench subsp. *drummondii*) hasta la siembra del año siguiente, permitiéndose el acceso al pastoreo por parte del rodeo del productor, para mantener las condiciones de siembra directa bajo pastoreo directo.

Tabla 1. Localización y descripción de los sitios experimentales seleccionados para el ensayo de incorporación de mezclas de gramíneas en *Medicago sativa* L.

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 Brujas	Paullier-Las Tala Rodriguez	Tala Rodriguez
Suelo	Brunosol Eútrico típico	Brunosol Eútrico típico	Planosol Eútrico

Las pasturas consideradas en los experimentos son dos de las opciones más tradicionales dentro de las rotaciones forrajeras de los sistemas lecheros en Uruguay. La descripción de las especies y el tipo de siembra se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de pasturas cultivadas en mezcla.

Tipo de pastura	Familia	Género	Especie	Cultivar
Leg. pura perenne	Leguminosa	<i>Medicago</i>	<i>Sativa</i>	Estanzuela Chana*
Leg. en Mezcla perenne	Leg+Gramínea	<i>Medicago</i>	<i>sativa</i>	Estanzuela Chana
		<i>Trifolium</i>	<i>repens</i>	Estanzuela Zapicán
		<i>Festuca</i>	<i>arundinacea</i>	INIA Aurora
Estanzuela Chana* Alfalfa de latencia intermedia				

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 para cada pastura por los productores en sus establecimientos (MGAP-DIEA. 2009) (Tabla 3).

Tabla 3. Rango de densidades (kg/ha) utilizado para cada una de pasturas evaluados.

Tipo de pastura	Cultivar	Densidades (kg/ha)				
		4,0	8,0	12,0	16,0	20,0
Leg. pura perenne	Estanzuela Chana*	4,0	8,0	12,0	16,0	20,0
Leg. en Mezcla perenne	Estanzuela Chana	2,0	4,0	8,0	12,0	16,0
	Estanzuela Zapicán	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	INIA Aurora	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0
Estanzuela Chana* Alfalfa de latencia intermedia						

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 4), en siembra directa con una sembradora experimental autopropulsada WINTERSTEIGER de parcelas (Imagen 1), cada una de 7,2 m<sup>2</sup> (6\*1,2 metros) con 6 surcos y distancia entre hileras de 17 cm.

Tabla 4. 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



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

Los ensayos fueron sembrados utilizando un diseño de bloques completos al azar; con 4 repeticiones. Luego de la etapa de implantación (90 días postsiembra), se comenzaron las evaluaciones de forraje bajo corte mecánico, considerando como criterio de corte la altura del cultivo. 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. La evaluación se realizó sobre tres surcos de la parcela completa (surcos 2, 3 y 4), dejando un remanente de 4,5 cm de altura. El resto de la parcela se cortaba, retirando el forraje. Las muestras de forraje fresco fueron llevadas al 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<sup>-1</sup>). Estas evaluaciones se continuaron durante la vida productiva de las diferentes pasturas.

Para evaluar la disponibilidad de forraje en mezcla de alfalfa con gramíneas, se ajustaron diferentes modelos, uno bajo el modelo lineal general (MOD1) y otro teniendo en cuenta la heteroscedasticidad (MOD2). Para ambos modelos se consideró el efecto del Ambiente, el efecto de las distintas densidades de siembra en mezcla (Tratamiento) y a la interacción entre ambos como efectos fijos. Posteriormente se realizaron comparaciones usando el test particionante DCG (Di Rienzo et al., 2005). También se ajustó un modelo de Componentes de Varianzas (MOD3), dejando como efectos fijos al Tratamiento y como efecto aleatorio al Ambiente (combinación de sitio por año de ensayo). 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.

## **Resultados**

Se estimó la producción promedio general de todos los tratamientos a través de las distintas estaciones de producción y la producción anual acumulada (como la suma de las estaciones de invierno, primavera y verano). Se puede observar que el rendimiento promedio en primavera es superior al de verano (4366 kg/ha y 4181 kg/ha, respectivamente) y éste al de invierno (1294 kg/ha) (Tabla 5). La estación primavera representa el 44.40% del rendimiento total, mientras que el verano representa el 42.50% y el invierno el 13.10%

Tabla5. Productividad media, medida en Kg MS/ha., D.E, CV, MÍN, MÁX, para cada estación.

Productividad	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
Anual	9841	3448	35	2879	16448
Invierno	1294	807	62	264	3471
Primavera	4366	1709	39	1062	8524
Verano	4181	1281	31	1543	7373



Se evaluó el rendimiento promedio de la mezcla para cada tratamiento y cada estación. Se puede observar que el tratamiento 5 presenta los mayores rendimientos de Kg MS/ha. (Figura 1)

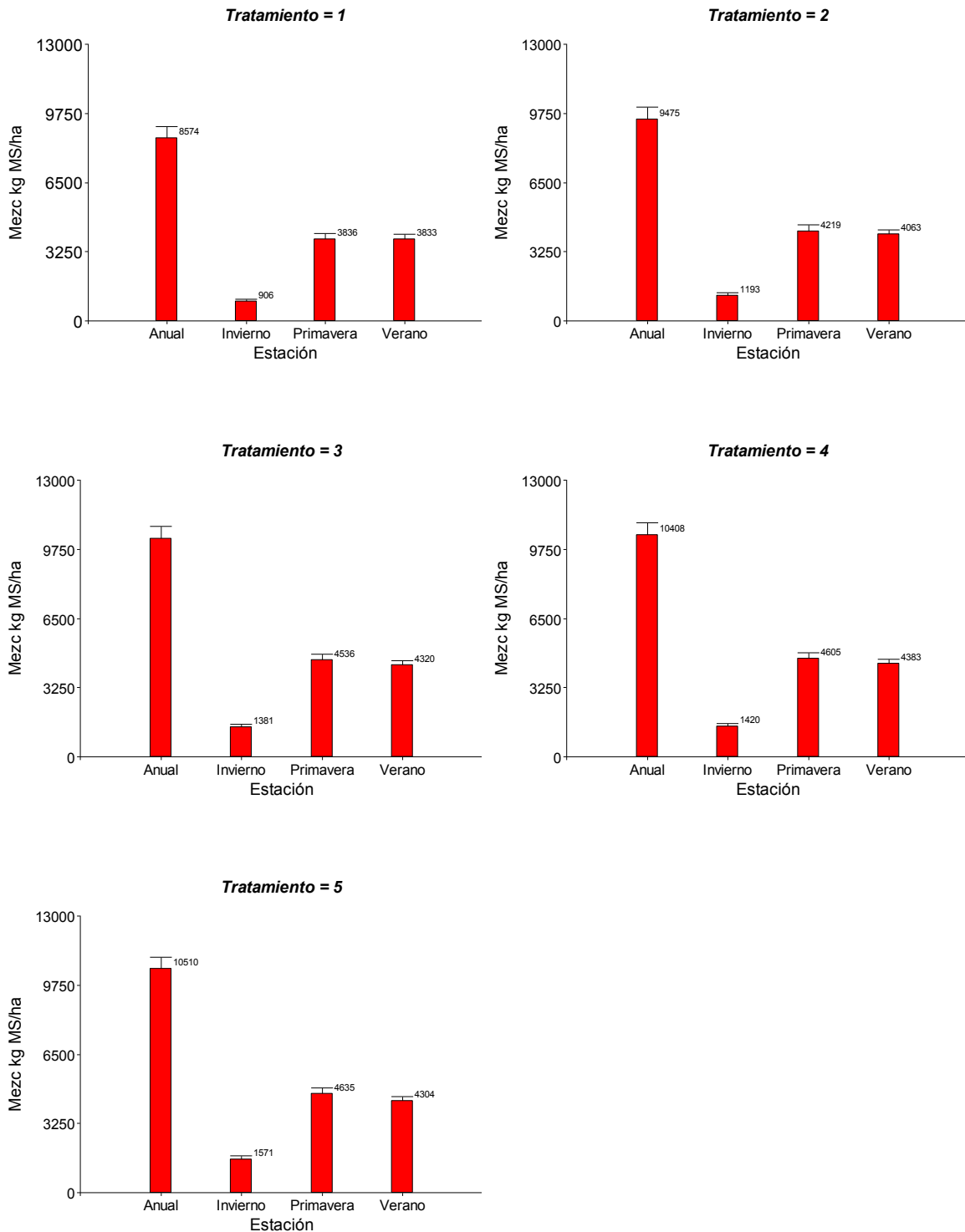


Figura 1. Rendimiento promedio de producción de materia seca en mezcla de pasturas, medidas en kg MS/ha para cada estación, para el tratamiento 1 (arriba izquierda), tratamiento 2 (arriba derecha), tratamiento 3 (centro derecha), tratamiento 4 (centro izquierda) y para el tratamiento 5 (abajo izquierda).

Sobre un total de 60 muestras se pudo observar que los mayores rendimientos se dieron en la localidad de San José en primavera. Por otro lado se observa un mínimo de productividad de 1141 kg MS/ha. (en invierno en San José) y un máximo de 5125 kg/ha. en la misma localidad (Tabla 6).

Tabla 6. Productividad media medida en kg MS/ha., D.E, CV, Mín., Máx., para cada sitio por estación.

Sitio	Estación de crecimiento o de producción	Producción promedio(kg MS/ha)	D.E.	CV	Mín	Máx
COL	Invierno	1406	666	47	331	2580
	Primavera	3536	1414	40	1341	5875
	Verano	4234	1589	38	1934	7373
FL	Invierno	1337	1080	81	264	3471
	Primavera	4437	1995	45	1062	7429
	Verano	4211	1411	33	1543	6274
SJ	Invierno	1141	574	50	388	3049
	Primavera	5125	1261	25	2960	8524
	Verano	4097	670	16	2757	6021

Nota: Col: Colonia, FL: Florida, SJ: San José

Sobre un total de 12 muestras se observa que los mayores rendimientos se obtienen con los tratamientos 4 y 5, y los mínimos con el tratamiento nº 1.

En Colonia se observa que los mayores rendimientos se dan en verano, mientras que en Florida y San José se concentran en primavera.

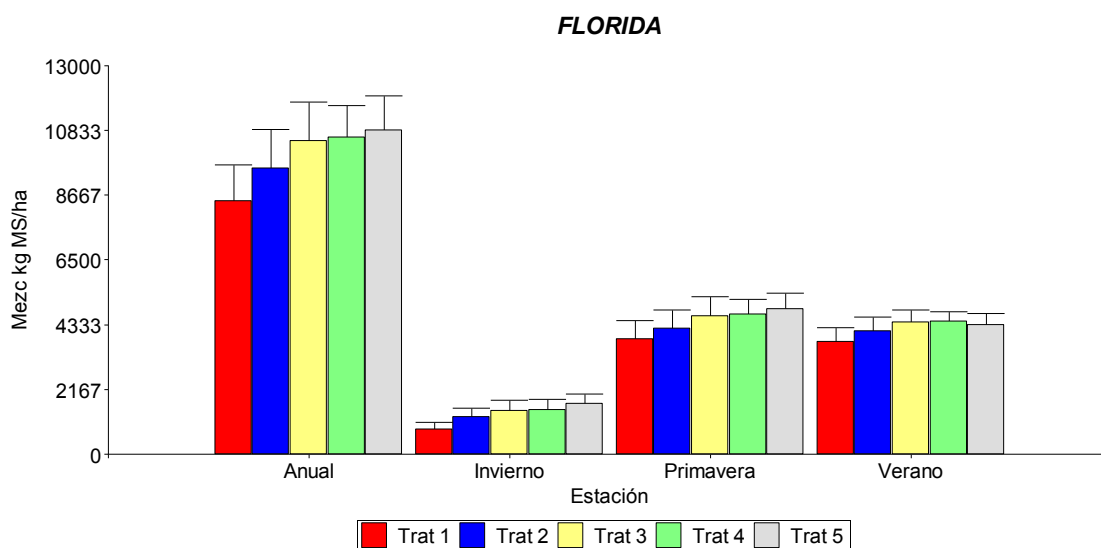


Gráfico 1. Productividad media, medida en Kg Ms/ha por tratamiento, para cada estación para el Departamento Florida.

**SAN JOSÉ**

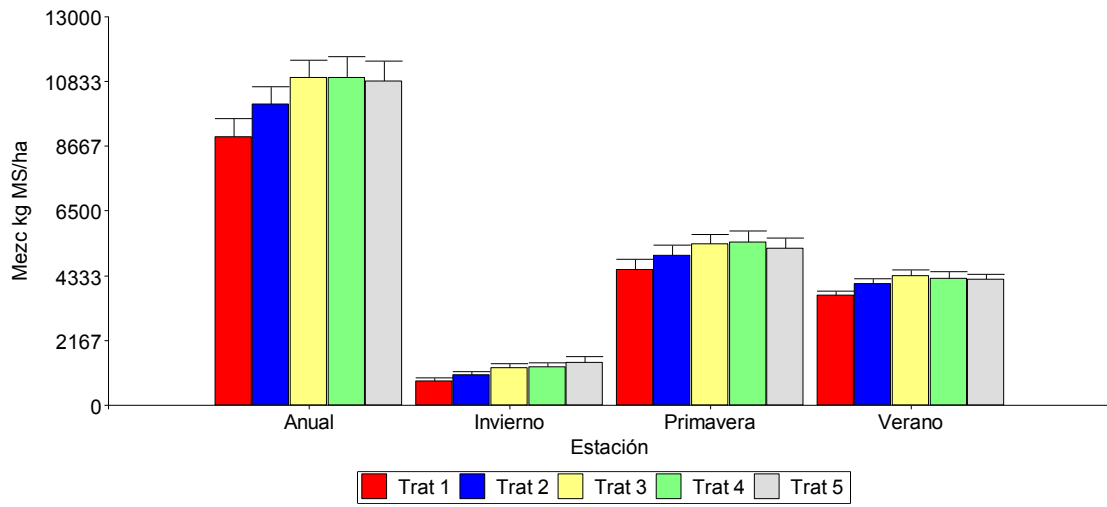


Gráfico 2. Productividad media, medida en Kg Ms/ha por tratamiento, para cada estación para el Departamento San José.

**COLONIA**

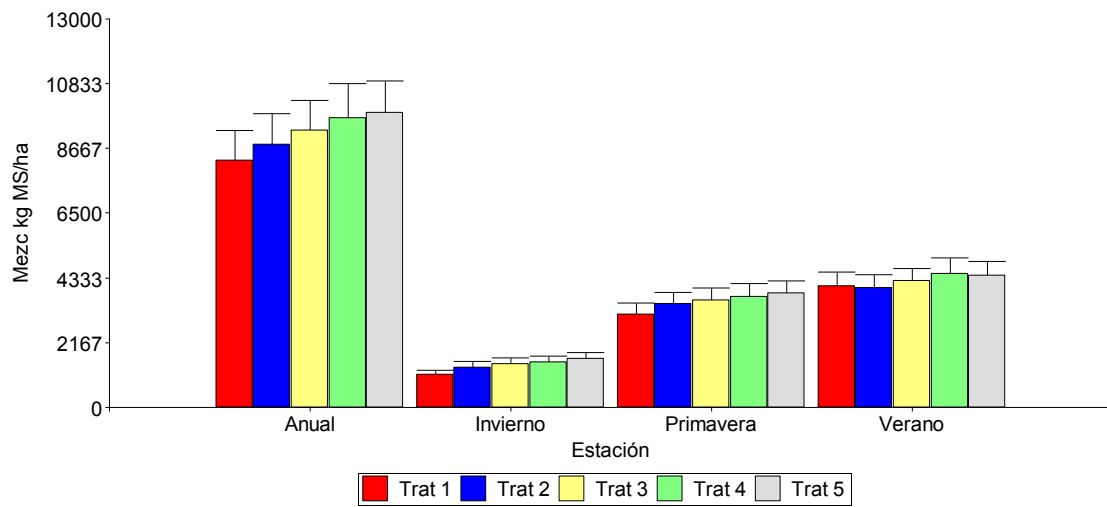


Gráfico 3. Productividad media, medida en Kg Ms/ha por tratamiento, para cada estación para el Departamento Colonia.

Se puede observar que en el año 2014, y a su vez en primavera, se concentran los mayores rendimientos, seguido por el verano y por último en invierno, donde los rendimientos disminuyen marcadamente (Figura 2).

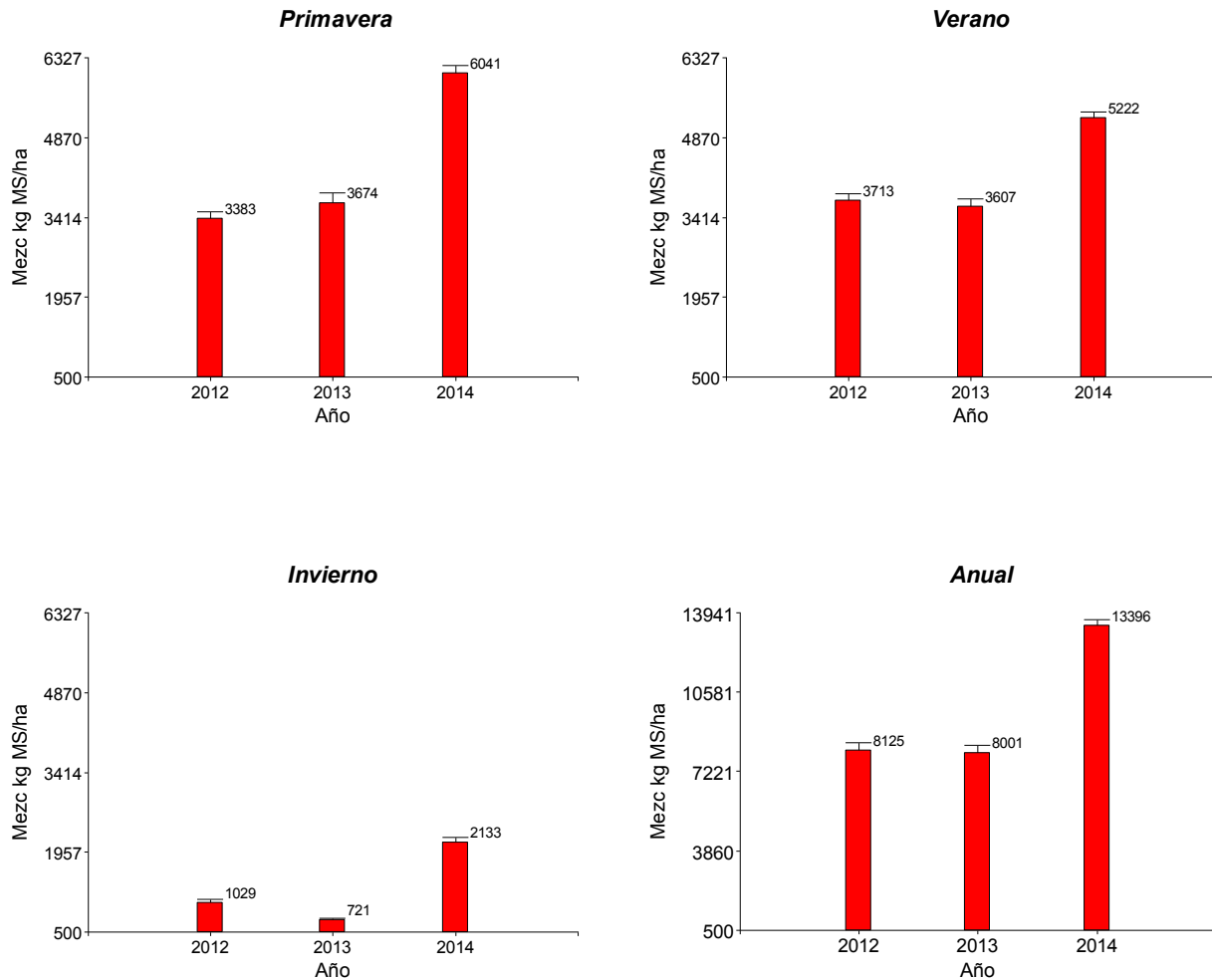


Figura 2. Rendimiento promedio de producción de materia seca en mezcla de pasturas, medidas en kg MS/ha para la estación de producción primavera (arriba izquierda), para la estación de verano (arriba derecha), para la estación invierno (abajo izquierda) y para la producción anual (abajo derecha).

Teniendo en cuenta la producción anual, se observa que San José presenta el mayor rendimiento por hectárea, seguido por Florida, quedando en último lugar Colonia que presenta los menores rendimientos.

Por otra parte, se observa que la producción en verano es similar en los tres departamentos, cuya media ronda los 4200 Kg MS/ha.

Por último, en invierno se puede visualizar un rendimiento muy bajo con respecto a las otras estaciones. (Figura 3).

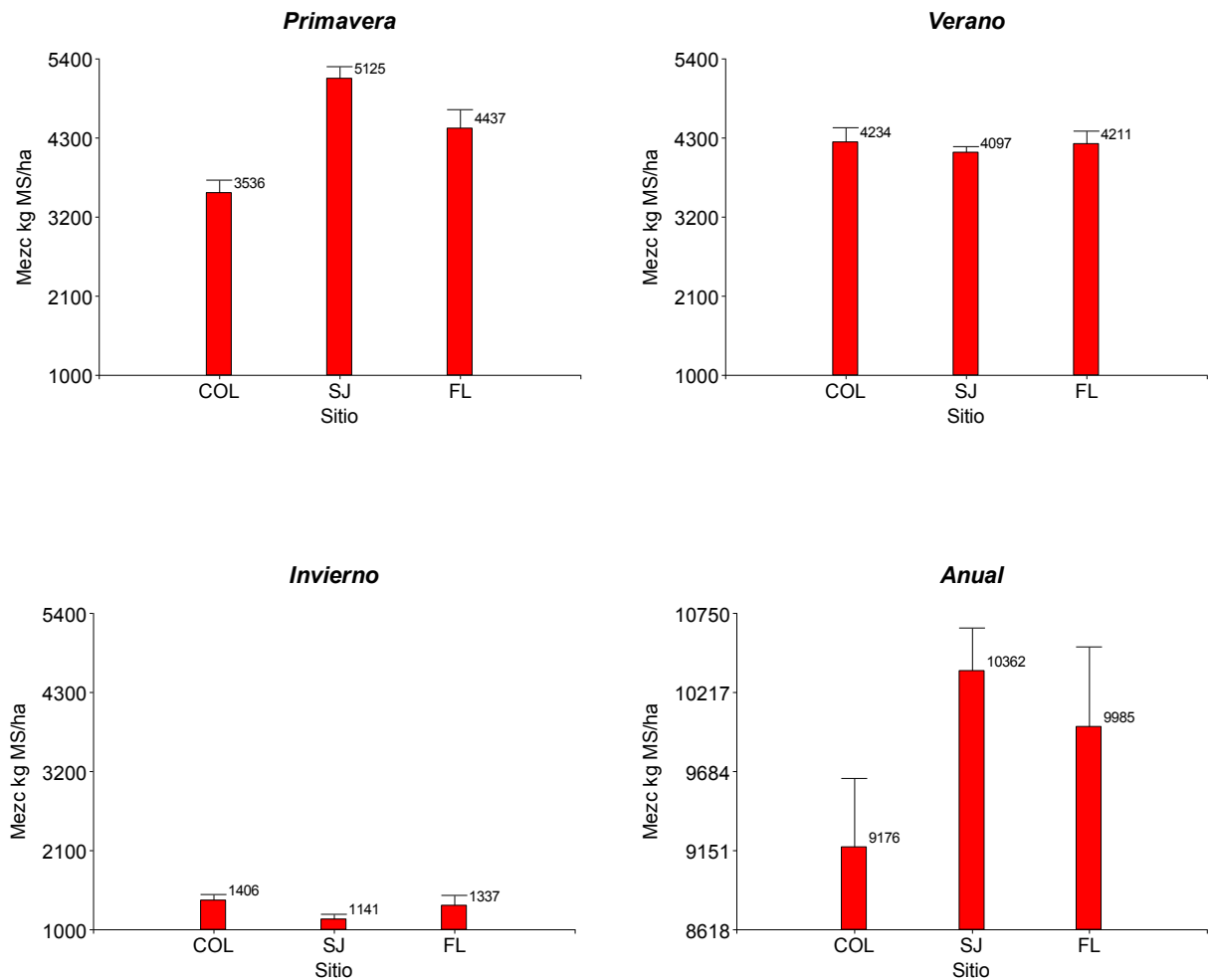


Figura 3. Rendimiento promedio de producción de materia seca en mezcla de pasturas, medidas en kg MS/ha para la estación de producción primavera (arriba izquierda), para la estación de verano (arriba derecha), para la estación invierno (abajo izquierda) y para la producción anual (abajo derecha).

**MODELOS:**

Los modelos presentados a continuación hacen referencia a lo siguiente:

- **MODELO 1:** Modelo lineal general con distribución normal, idénticamente distribuidos e independientes con varianzas homogéneas,  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$
- **MODELO 2:** Modelo lineal mixto con efectos fijos de tratamiento, ambientes, interacción tratamiento-ambiente, contemplando Heteroscedasticidad entre ambientes (var ident).

Debido a que el MOD 2 presenta un menor AIC, los siguientes análisis se harán en base a este.

**INVIERNO:**

Tanto los tratamientos, como los ambientes y la interacción entre ambos poseen un nivel de significación menor al 0.05, es decir que existen diferencias significativas entre ellos. Se puede observar que Florida en el año 2014 presenta los mayores rendimientos, no pudiéndose observar diferencias significativas (valor  $p > 0.05$ ) entre los tratamientos 2 (2648), 3 (3072), 4 (3064) y 5 (3166). En contraposición se puede observar que los rendimientos más bajos se concentran en los años 2012 y 2013 en todas las localidades, siendo el tratamiento 1 el que presenta los menores rendimientos, es decir, aquel con menor densidad de alfalfa implantada. Analizando las desviaciones de cada localidad por año con respecto a la media, se observó que en el año 2014 (para las tres localidades) se presentan las mayores desviaciones (COL: 1.85, SJ: 1.79, FL: 1.97).

Observando los gráficos de normalidad y residuos vs predichos, se concluye el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

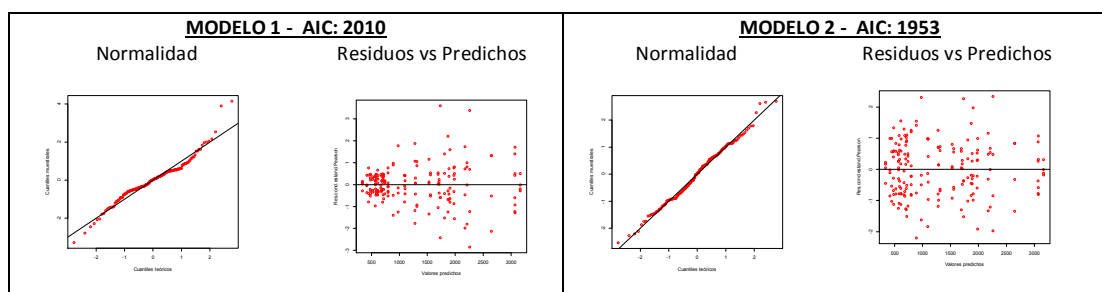


Figura 4. Comparación de Modelos 1 y 2 para la estación Invierno.

**PRIMAVERA:**

Para la estación de primavera no se observó interacción tratamiento- ambiente, por lo tanto el análisis se realizó de manera independiente.

Al igual que en el invierno, el modelo 2, es el que mejor se adapta a los resultados, observándose el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

En cuanto a los tratamientos, tanto el 3, 4 y 5 no presentan diferencias significativas de rendimiento, siendo el tratamiento 1 el de menor rendimiento.

Observándose la tabla comparativa de las localidades, se puede observar que para el año 2014, tanto en San José como en Florida se encuentra los mayores rendimientos, siendo el peor rendimiento el de Colonia en 2013.

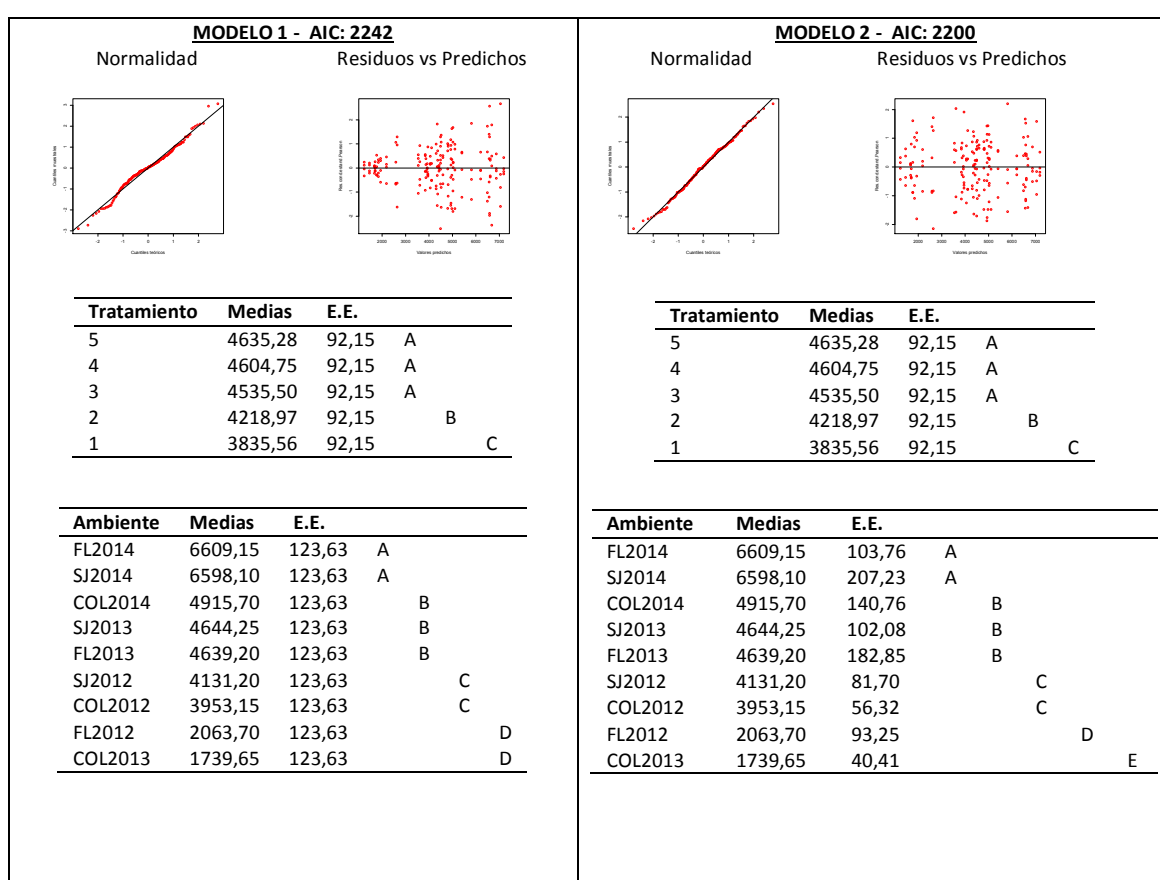


Figura 5. Comparación de Modelos 1 y 2 para la estación Primavera.

**VERANO:**

Para la estación de verano no se observó interacción tratamiento- ambiente, por lo tanto el análisis se realizó de manera independiente.

En cuanto a la comparación de tratamientos, no se puede observar diferencias significativas entre el 3 el 4 y el 5, diferenciándose estos de los tratamientos 1 y 2.

Tanto Colonia como Florida presentan los mayores rendimientos durante el 2014, ubicándose en el último lugar durante el año 2013.

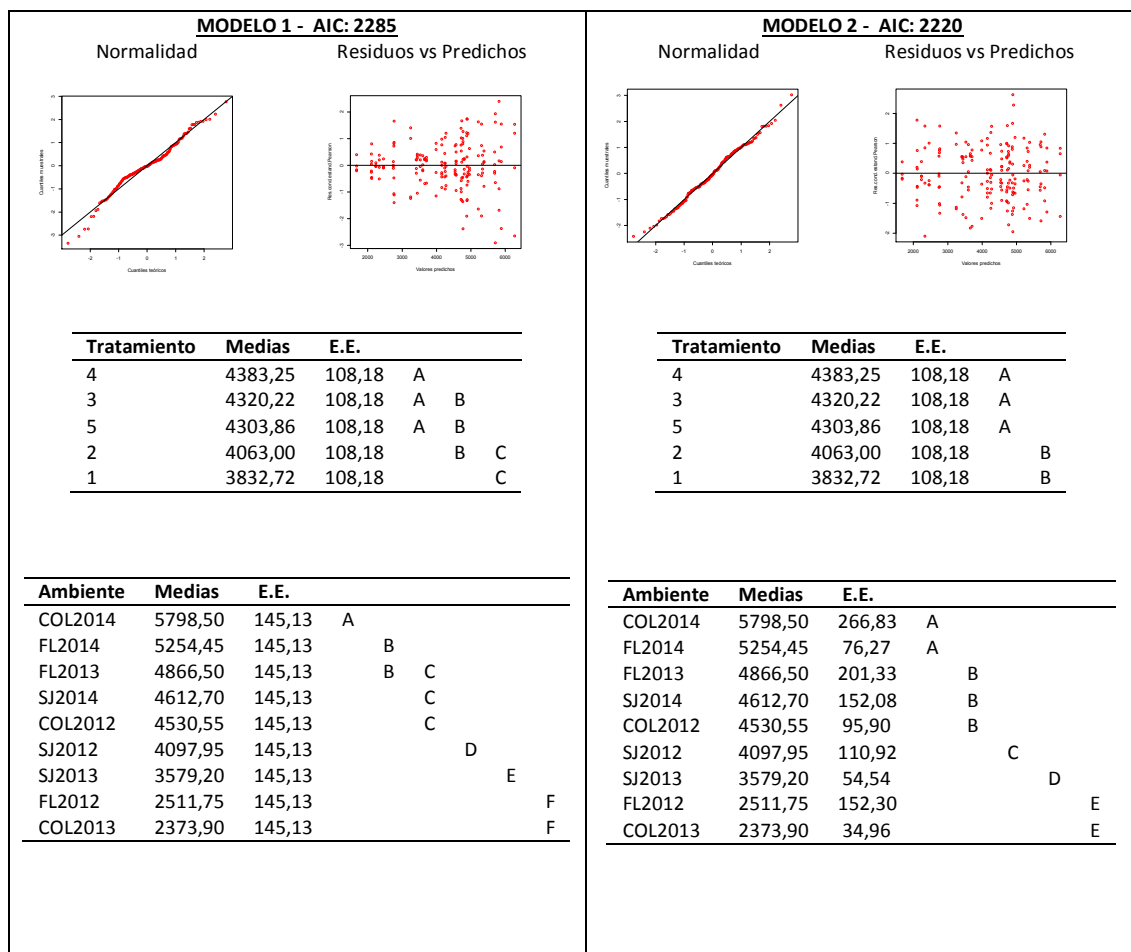


Figura 6. Comparación de Modelos 1 y 2 para la estación Verano.



**ANUAL:**

Se puede observar en el MODELO 2, que el gráfico QQ-plot cumple con el supuesto de normalidad, y que el de Residuos vs Predichos cumple con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

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

En cuanto al ambiente se puede decir que Florencia en 2014 presenta el más alto rendimiento, mientras que Florencia en el 2012 y Colonia en 2014 son los que tienen los rendimientos más bajos, ubicándose los demás entre medio de estos dos.

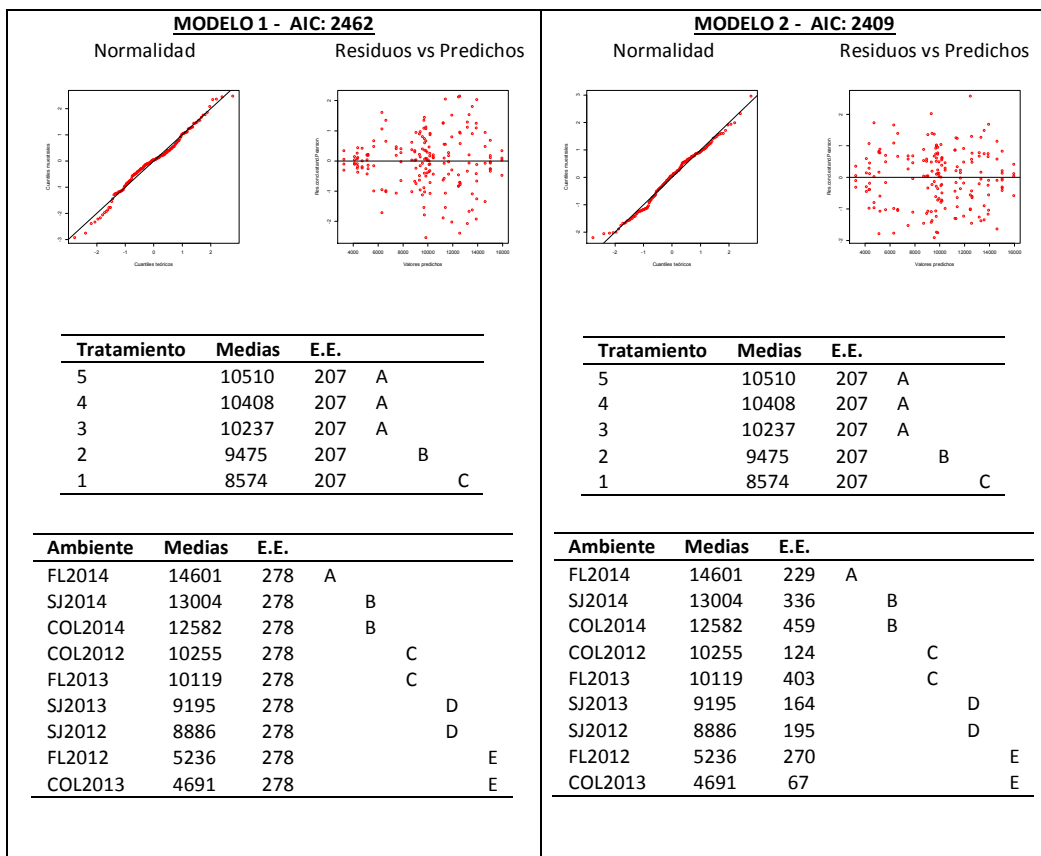


Figura 7. Comparación de Modelos 1 y 2 Anual.

Se pudo comprobar que el MODELO 2 se ajusta mejor a los datos, ya que cumple con los supuestos de Normalidad y Homogeneidad de Varianzas. A su vez esto se puede corroborar comparando los AIC de ambos modelos. El MOD 2 presenta un menor AIC, corroborando su efectividad.

### **MÉTODO DE COMPONENTES DE VARIANZA (MOD 3):**

Este método se realizó con el objetivo de analizar cuanto influye, en términos de porcentaje, el Tratamiento, el Ambiente y la interacción entre ambos, en el rendimiento de la mezcla de pasturas, medido en Kg MS/ha.

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

<p><b>ANUAL:</b></p> <p>Var<sub>Amb</sub> = 88,44%</p> <p>Var<sub>Tr + Amb</sub> = <math>1,6 \times 10^{-7}\%</math></p> <p>Var<sub>residuo</sub> = 11,56%</p> <p>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 88,44%.</p>	<p><b>INVIERNO:</b></p> <p>Var<sub>Amb</sub> = 88,78%</p> <p>Var<sub>Tr + Amb</sub> = 3,02%</p> <p>Var<sub>residuo</sub> = 8,20%</p> <p>Por lo tanto se puede decir que el ambiente es que mayor influye en la producción de MS/ha con una participación del 88,78%.</p>
<p><b>PRIMAVERA:</b></p> <p>Var<sub>Amb</sub> = 90,77%</p> <p>Var<sub>Tr + Amb</sub> = <math>1,1 \times 10^{-7}\%</math></p> <p>Var<sub>residuo</sub> = 9,23%</p> <p>Tanto en Primavera como en Verano, al no haber interacción Trat- Amb, se observa que su nivel de participación es insignificante, siendo el ambiente en ambos casos el que mayor influye sobre el rendimiento medido en Kg MS/ha.</p>	<p><b>VERANO:</b></p> <p>Var<sub>Amb</sub> = 77,22%</p> <p>Var<sub>Tr + Amb</sub> = <math>2,8 \times 10^{-7}\%</math></p> <p>Var<sub>residuo</sub> = 22,78%</p>

Figura 8. Mod 3. Cálculo de Varianzas para la estimación del aporte de cada componente sobre el rendimiento promedio

**Conclusiones finales:**

Se puede concluir que el modelo 2 es el que mejor representa los datos experimentales, mostrando una curva normal y una distribución de varianzas homogénea. En dicho modelo se observa que el ambiente es el que posee mayor variación, por lo tanto se utilizó esa variable para el cálculo de heteroscedasticidad.

Por otro lado se observa que en el año 2014 se encontraron los mejores rendimientos en todas las estaciones siendo el tratamiento 1 el que presenta menor productividad y el 5 el que brindó los máximos rendimientos.

Tanto en Florida como en San José, los mayores rendimientos se observaron en primavera, seguido por el verano, quedando último el invierno bastante alejado de aquellos dos.

En cambio en Colonia, los mayores rendimientos promedio se observaron en verano, luego en primavera y por último en invierno.

**BIBLIOGRAFÍA:**

- Infostat (Di Rienzo et al., 2005)
- Revista Argentina de Producción Animal (Scheniter J. O. 2009).
- <http://rafaela.inta.gov.ar/revistas/pxx10201.htm>
- <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PASTURAS%20CRS/11%20-%20Mezclas%20forrajeras.pdf>
- Curso-Taller Aplicaciones de Modelos Mixtos en Agricultura y Forestería (Ing. Agr. (Dr.) Fernando Casanoves et al., 2005).