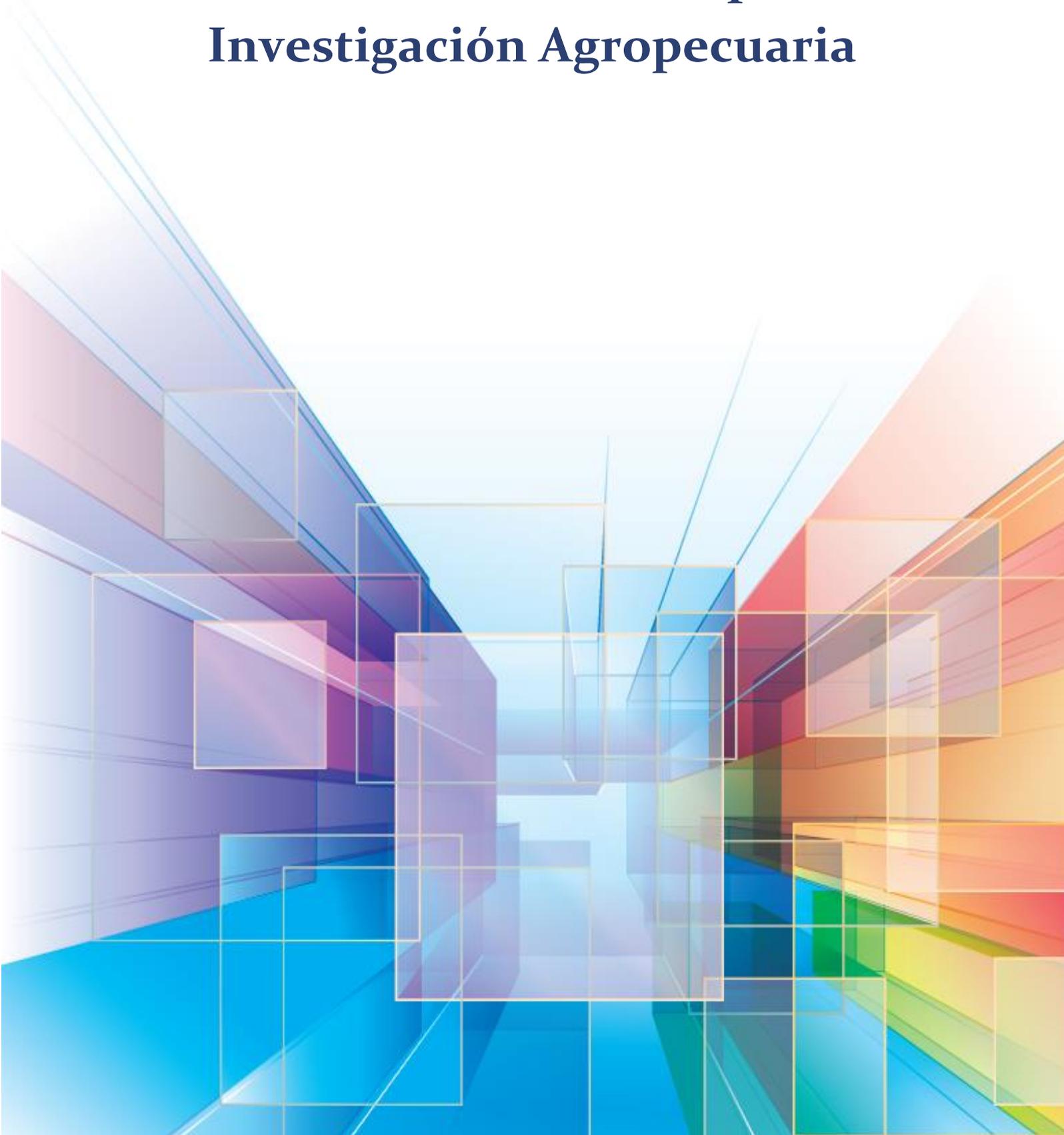




UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA.
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.



Métodos Cuantitativos para la Investigación Agropecuaria



Efecto de la fertilización nitrogenada y densidad de siembra variables en el rendimiento del Maíz.



Autores: Demichelis Ana Constanza,
Avoledo Cristian Eduardo,
Mateo Rodrigo Nicolás,
Correa Juan Ignacio,
Rinaldi Federico.

Tutor: Ing. Agr. (Dr.) Córdoba Mariano.

2018



ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
Palabras Claves	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Objetivo.....	3
MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
RESULTADOS	6
CONCLUSIÓN	11
BIBLIOGRAFÍA	12
ANEXO	13

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Esquema del lote 1 según dosis de nitrógeno y densidad de siembra.	4
FIGURA 2. Lote 1. Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno y densidad de siembra.....	7
FIGURA 3. Lote 2. Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno y densidad de siembra.....	7
FIGURA 4. Lote 3. Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno y densidad de siembra.....	8

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es evaluar el impacto sobre rendimiento de maíz del manejo por dosis variable de la siembra nitrogenada y densidad siembra. El ensayo se llevó a cabo en tres establecimientos próximos a la localidad de Río Cuarto, provincia de Córdoba, trabajando en macro parcelas con 16 tratamientos resultantes de la combinación de: 4 densidades de siembra y 4 niveles de nutrición nitrogenada.

Para el análisis de los datos del impacto del manejo diferencial, se utilizaron modelos de regresión y clasificación bajo el marco teórico de los Modelos Lineales Mixtos, contemplando estructura de correlación espacial y varianzas heterogéneas en el nivel término de error del modelo ajustado. Los resultados mostraron una interacción significativa entre la dosis de nitrógeno y densidad de siembra. Se observó que cuando se utilizan densidades de siembra bajas, la aplicación de Nitrógeno no fue importante, ya que los recursos disponibles en el suelo son suficientes para que el cultivo exprese su potencial productivo; a medida que se aumenta la densidad, la dosis de nitrógeno tiene un rol más importante para la producción de materia seca y rendimiento en grano, hasta alcanzar un máximo, en donde dosis mayores no representan aumentos significativos estadísticos en el rendimiento, ocasionando mayores gastos en insumos y un aumento en el riesgo de contaminación ambiental.

Palabras Claves: Nitrógeno, Densidad, Regresión Lineal Múltiple, Modelos Lineales Mixtos.

INTRODUCCIÓN

El maíz, *Zea mays* L., es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen en el mundo. En la actualidad, el maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y es el segundo, después del trigo, en producción total (Paliwal, 2001). La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado, es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. Argentina es uno de los líderes mundiales en su producción, ocupando el cuarto lugar como productor (FAO, 2014).

La evolución del rendimiento del maíz en la Argentina estuvo asociada a la generación de tecnologías productivas en los países líderes y a las condiciones macroeconómicas del país que influyeron en su adopción. Para que el cultivo de maíz pueda expresar su potencial, es necesario adecuar prácticas de manejo e implementar el uso de tecnología para mejorar la disponibilidad de recursos para el crecimiento y desarrollo. La práctica agronómica reconoce que innumerables factores condicionan el rendimiento.

El maíz es un clásico ejemplo de cultivo en el que el rendimiento en grano es máximo a un nivel de población definido (Fery y Janick, 1971). Es por esto que para su implantación la elección de la densidad de siembra constituye uno de los aspectos de manejo que incide en el rendimiento final, diferenciándose de otros cultivos como trigo, soja o girasol, que tienen una mayor capacidad de ajuste ante variaciones en la densidad.

En densidades bajas, la reducción de la distancia entre surcos contribuye a asegurar una mayor cobertura durante la floración. Sin embargo, en la mayoría de los casos de cultivos de maíz bien manejados y con las densidades correctas se alcanzan las coberturas necesarias para una máxima intercepción de luz (Vallone, 2010).

Se conoce que el cultivo de maíz tiene una alta respuesta a nivel del rendimiento ante cambios en la disponibilidad de nitrógeno proveniente de la fertilización, sin embargo, surge el problema en conocer que cantidades aplicar para lograr rendimientos óptimos. Aplicaciones de dosis excesivas ocasionan que el Nitrógeno que no sea aprovechado produciendo, además del perjuicio económico, daño ambiental por pérdida del nutriente a capas inferiores del perfil del suelo. Las pérdidas excesivas de fertilizante nitrogenado de los cultivos pueden contaminar las aguas profundas con nitrato (Carpenter et al., 1998; Burkart and James, 1999). Además, se supone que la respuesta del rendimiento no sólo depende del nivel de N sino también de la interacción entre ambos factores. Así, es de suma importancia el ajuste de prácticas de manejo que tiendan a gestionar en forma diferenciada la aplicación de insumos como la fertilización y densidad de siembra.

Objetivo

- Evaluar el efecto de la fertilización con Nitrógeno y de la densidad de siembra en el rendimiento del cultivo de Maíz en tres establecimientos de la provincia de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados para el análisis fueron obtenidos en tres establecimientos ubicados en la localidad de Río Cuarto, provincia de Córdoba. Los mismos corresponden a rendimientos del cultivo de maíz en base a dosis de fertilización con Nitrógeno y densidades de siembra. En el lote 1, las dosis de Nitrógeno evaluadas fueron de: 0, 62, 125 y 187 kilogramos por hectárea; y la densidad de siembra fueron: 30.000, 60.000, 90.000 y 120.000 plantas por hectárea. Se obtuvieron 1.349 registros, en 16 líneas de ensayo.

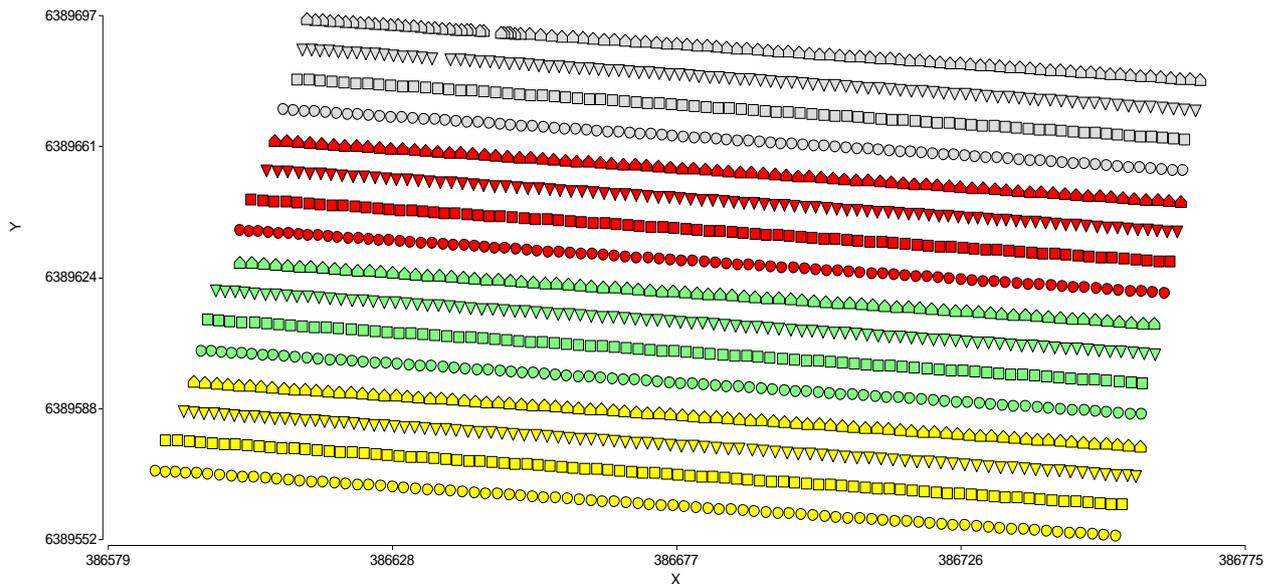


Figura 1. Esquema del lote 1 según dosis de Nitrógeno y densidad de siembra.



En el lote 2 se utilizaron cuatro dosis de Nitrógeno: 0, 100, 200 y 300 kilogramos por hectárea; y cuatro densidades de siembra: 30.000, 60.000, 90.000 y 120.000 plantas por hectárea. Se obtuvieron 5.450 registros, distribuidos en 16 líneas de ensayo.

Por último en el lote 3, las dosis de Nitrógeno utilizadas fueron: 0, 62, 125 y 187 kilogramos por hectárea; combinadas con cuatro densidades de siembra: 30.000, 60.000, 90.000 y 120.000 plantas por hectárea. El total de registros fue de 2.241, distribuidos también en 16 líneas de ensayo.

Para evaluar el impacto de la densidad y fertilización nitrogenada se ajustaron modelos de clasificación y regresión utilizando para ello modelos alternativos bajo el marco teórico de los Modelos Lineales Mixtos (West et al., 2015). Los modelos ajustados contemplaron una estructura de correlación espacial a nivel del término de

error aleatorio del modelo y varianzas heterogéneas. Éstos fueron comparados con modelos en los que se consideró independencia y homogeneidad de varianzas para dicho término. Para la selección del modelo de mejor ajuste se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC), (Akaike, 1973).

El modelo de regresión para cada lote fue el siguiente:

$$\hat{Y}: \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 D + \beta_3 N^2 + \beta_4 D^2 + \varepsilon$$

N: kilogramos de Nitrógeno por Hectárea.

D: Plantas por Hectárea.

El modelo de clasificación ajustado para cada lote fue el siguiente:

$$Y_{ij}: \mu + \tau_i + \gamma_j + \varphi_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} : representa la respuesta observada en i-ésimo nivel del factor Nitrógeno, j-ésimo nivel de factor densidad.

μ : representa la media general de la respuesta.

τ_i : representa el efecto del i-ésimo nivel del factor Nitrógeno.

γ_j : representa el efecto del j-ésimo nivel del factor Densidad.

φ_{ij} : la interacción entre los factores nitrógeno y densidad.

ε_{ij} : representa el error experimental.

RESULTADOS

En los tres lotes evaluados el modelo de regresión y el de clasificación de mejor ajuste, según AIC, fue el de correlación espacial de tipo exponencial con función de varianzas heterogéneas para el factor Nitrógeno (Tabla 1). Para el modelo de regresión ajustado resultaron significativos con un p-valor menor a 0,05 para el lote 1: la ordenada al origen (β_0), los coeficientes β_1 y β_2 con una componente lineal con tendencia creciente, β_4 con curvatura negativa. Para el lote 2 y el lote 3 fueron la ordenada al origen β_0 , los coeficientes β_1 y β_2 con una componente lineal con tendencia creciente, β_3 y β_4 con curvatura negativa.

Tabla 1. Criterio de información de Akaike para modelos de regresión evaluados.

Modelo	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Errores independientes	21802,33	91917,13	38867,28
CorExp	12439,36	13017,84	13444,90
CorExp + H	<u>12436,11</u>	<u>13017,14</u>	<u>13272,42</u>

EI: Errores Independientes.

CorExp: Correlación espacial Exponencial.

H: Heterocedasticidad para el factor Nitrógeno.

En la Tabla 2 se presentan los parámetros estimados del modelo de regresión ajustado para cada lote.

Tabla 2. Parámetros estimados del modelo de regresión ajustado para cada lote.

Lote	β_0	β_1N	β_2D	β_3N^2	β_4D^2
1	1512,94	11,86	0,13	-0,02	-0,000001
2	6294,11	17,45	0,04	-0,04	-0,0000002
3	2531,53	14,26	0,14	-0,04	-0,000001

Se registra un incremento del rendimiento a medida que se aumenta la dosis de Nitrógeno aplicada y densidad para los tres lotes. Teniendo un mayor impacto la fertilización en la expresión del rendimiento. Además, se observa que la respuesta es mayor en el Lote 2 que en los restantes. Por otro lado, el coeficiente β_0 para el Lote 2 también es superior. Estos valores indican que el rendimiento potencial de cada Lote es distinto y se presume que el Lote 2 tiene mejores características agronómicas que los restantes.

Los coeficientes β_3 y β_4 tienen una curvatura negativa, lo que significa que en algún momento cuando la dosis de nitrógeno o la densidad sean muy altas, van a jugar un rol negativo en el rendimiento, provocando su caída.

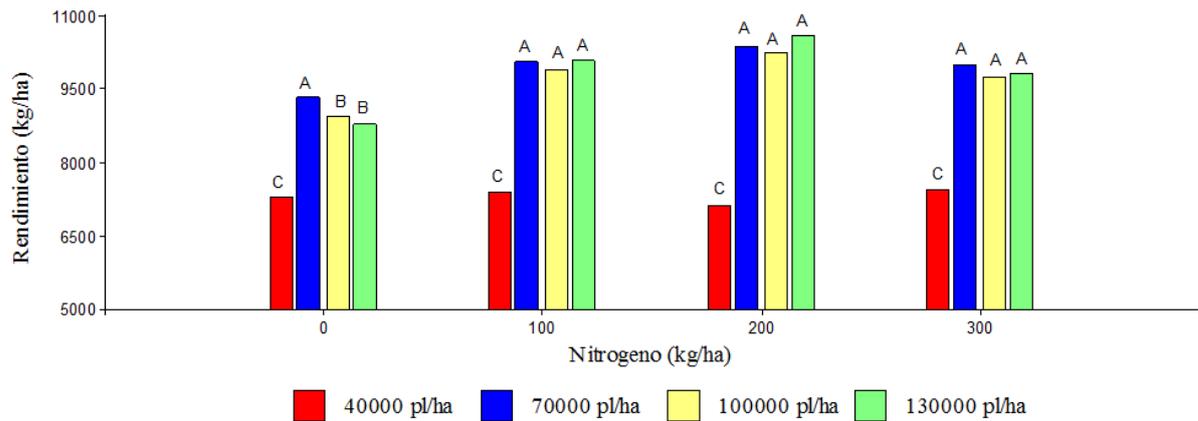


Figura 2. Lote 1. Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno y densidad de siembra. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas para $\alpha=0.05$.

En el lote 1, se observa que el rendimiento óptimo se logra con una densidad de siembra de 40000 plantas/ha y sin la aplicación de nitrógeno. Se presume que el suelo cuenta con buena disponibilidad del nutriente, por lo cual una aplicación del mismo no genera un aumento significativo del rendimiento. Respecto a la densidad, se determina que un aumento en el número de plantas provoca competencia por los recursos; mientras que una menor cantidad de estas, genera una disminución en el rendimiento debido a la ineficiencia en la captación de los recursos disponibles.

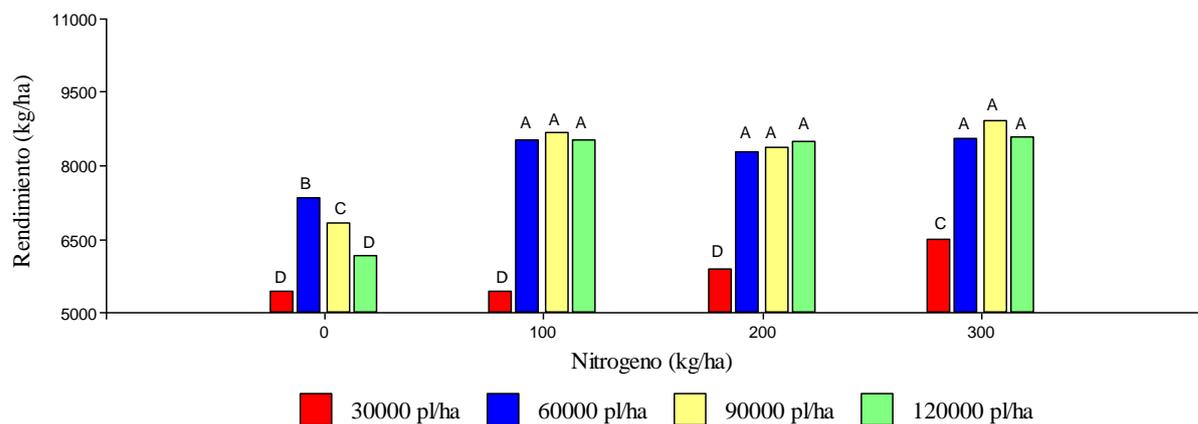


Figura 3. Lote 2. Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno y densidad de siembra. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas para $\alpha=0.05$.

Se observa que para el lote 2 y 3 el efecto de la interacción entre la dosis de Nitrógeno y la densidad de siembra, fueron significativas.

Cuando no hay aplicación de fertilizante, en ambos casos se registran diferencias significativas al tratarse con diferentes densidades de siembra.

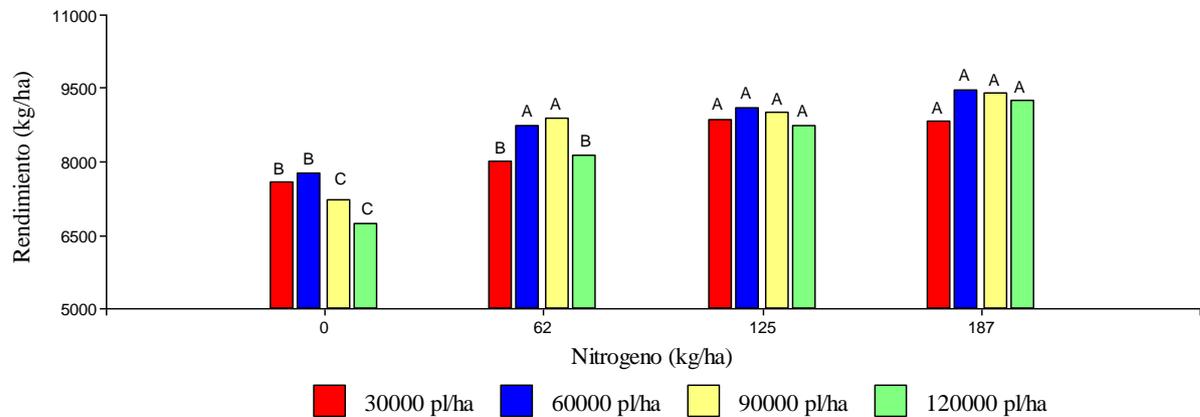


Figura 4. Lote 3. Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno y densidad de siembra. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas para $\alpha=0.05$.

Como muestran las figuras 3 y 4, la densidad óptima para ambos lotes es de 60000 plantas/ha con dosis de fertilización de 100 y 62 kilogramos de nitrógeno por hectárea respectivamente. En el caso del lote 3, cuando no se realizó fertilización no se observaron diferencias significativas en el rendimiento cuando se usaron densidades de 30 y 60 mil plantas por hectárea respectivamente.

No es conveniente utilizar una densidad de siembra menor ya que el rendimiento disminuye considerablemente, esto se debe a que se trata de un cultivo con escasa plasticidad y por lo tanto no alcanza el IAF crítico. Así mismo, densidades mayores no representan un incremento significativo del rendimiento, ya que aumenta la competencia entre plantas por la utilización de los recursos y tampoco mejora la producción total de biomasa ya que el mayor número de plantas será compensado por una disminución tal en la tasa de crecimiento de las mismas que puede conllevar la aparición de individuos estériles o de muy bajo número de granos (Eyhéabide, 2008).

El cultivo es capaz de alcanzar su máxima tasa de crecimiento recién cuando el área foliar desplegada le permite capturar el 95% de la luz incidente. Alcanzar esa cobertura al inicio del período crítico y mantenerla durante el mayor tiempo posible son los objetivos buscados con el manejo de la densidad, pues se traducen en mayor producción de biomasa y rendimiento en grano. La densidad óptima en maíz es la menor densidad que posibilita maximizar el rendimiento en grano.

El componente del rendimiento más afectado por la densidad es el número de granos que alcanzan la madurez. El número de granos logrados por planta en maíz está en estrecha relación con el crecimiento de la misma durante la floración, la que se reduce con incrementos en la densidad. La forma de la función de respuesta refleja la escasa plasticidad reproductiva del maíz en baja densidad, donde el número máximo de flores formadas en la espiga limita el aumento del número de granos logrados, cuando

las plantas crecen a altas tasas (correspondientes a muy bajas densidades). Así mismo, densidades mayores no representan un incremento significativo del rendimiento, ya que aumenta la competencia intraespecífica por la disponibilidad de recursos.

MARCO ÉTICO

Planilla General de Ordenamiento de Contenidos de Ética, Desarrollo Personal, Responsabilidad Social y Profesional									
Nº	Públicos de Interés relacionados con el TAI	Oportunidad / Afectación Positiva	Riesgo / Afectación Negativa	Respuesta de Gestión de RS&S	Indicador de RS&S n° / Justificación	Tipo de Valor Generado para los Públicos de Interés			
						Ético-Cultural	Social	Ambiental	Económico
De afectación directa									
1	Productor Agropecuario	Contribuye con la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas. Se previene la contaminación ambiental y se evita un costo económico.	Sin conocimiento de dosis de fertilizante adecuada ni de la densidad óptima, existen riesgos de contaminación y perjuicio económico por aplicación excesiva de fertilizante.	Realizar estudio de suelo para conocer el nivel de nutrientes presente y decidir si es necesario o no la aplicación de fertilizante.	Indicador 28: Uso sustentable de Insumos. Indicador 42: Criterios de Selección y Evaluación de Proveedores. Indicador 46: Cuidado de la Inocuidad de los Alimentos y de las Prácticas Productivas que podrían afectarlos.	Responsabilidad en la utilización de productos químicos. Utilizar productos registrados.	Compartir y considerar las recomendaciones de otros productores.	Comprometerse en la realización de estudios de suelo para evitar el derroche de productos.	Maximizar el beneficio de la empresa implementado Buenas Prácticas Agrícolas.
2	Empresas Venta de Semillas		Possible disminución en las ventas de insumos implicaría una merma en los ingresos de las empresas.	Realizar actividades para que se conozcan y se comprendan la misión, la visión y los valores de la empresa.	Indicador 1: Misión - Visión - Valores. Indicador 47: Gerenciamiento del Impacto de la Empresa en la Comunidad de Entorno.	Priorizar el bien común por sobre intereses económicos.	Considerar a la comunidad del entorno como una parte interesada clave para mantener el negocio y prosperar. Contar con canales para recibir quejas, reclamos y sugerencias.	Ser conscientes del impacto negativo en la calidad de vida que puede generar los productos que venden.	
3	Empresas Venta de Fertilizantes								
4	Ingeniero Agrónomo	Brinda información para incrementar sus conocimientos.	En alguna ocasiones, el profesional se encuentra con que los productores no quieren realizar análisis de suelo.	Promover la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas. Ser consciente del efecto de las aplicaciones de productos químicos y de las posibilidades económicas de los productores.	Indicador 46: Cuidado de la Inocuidad de los Alimentos y de las Prácticas Productivas que podrían afectarlos. Indicador 13: Relaciones con los trabajadores propios.	Promover el uso de productos autorizados. Compromiso contra el trabajo infantil y contra la discriminación.	Respeto a los empleado y a la legislación que los beneficia. Integración con profesionales que trabajan en la zona.	Concientización en el uso regulado de productos fitosanitarios.	Compromiso por realizar un buen trabajo y justo cobro de honorarios, generan nuevas oportunidades de trabajo.
5	ONG Ambientales	La información brindada sirve como fundamento para defender sus principios y valores.		Incentivar a los proveedores y productores a la introducción de prácticas de prevención de la contaminación y al desarrollo de una producción más limpia	Indicador 38: Prevención de la contaminación. Indicador 49: Liderazgo e Influencia Social.	Preocupación por conocer y difundir públicamente el impacto de la actividad agropecuaria en la comunidad.	Conocer o contar con un diagnóstico de las principales problemáticas de la comunidad de entorno.	Realizar campañas para informar y capacitar a la comunidad acerca de los efectos y riesgos existentes en el uso de productos químicos.	
De afectación indirecta									
6	Población en General	Menor riesgo de contaminación de agua y aumento en la concientización del cuidado del medio ambiente.		Población tome conciencia de la preservación de los recursos naturales, el cuidado del agua y el uso responsable de fertilizantes y agroquímicos.	Indicador 18: Cuidados de Salud, Dignidad y Condiciones de Trabajo	Responsabilidad social del rol que cumple cada uno dentro de la comunidad.	Participación de diferentes actores de la sociedad, para mejorar las condiciones de vida de la comunidad.	Conciencia colectiva en el cuidado de los recursos a nivel regional.	Un aumento en la producción primaria trae aparejado una mejora económica a todos los sectores de la economía.
7	Escuelas Agrotecnicas	Educación desde etapas tempranas sobre el medio ambiente y el impacto de las actividades del hombre en el mismo.		Relaciones con las Comunidades Locales mediante practicas que integren a toda la comunidad con el cuidado del medio ambiente	Indicador 48: Compromiso con el Desarrollo de la Comunidad y Gestión de las Acciones Sociales	Priorizar el aprendizaje responsable y holístico.	Integración de diferentes entidades y actores de la región.	Adquirir conocimientos sobre buenas practicas agrícolas.	
8	Productores Vecinos	Al hacer un manejo eficiente de los insumos tanto semillas como fertilizantes, se puede concientizar a otros productores de que estas técnicas poseen buenos resultados y minimizan los riesgos ambientales.	Productores que no les importe el impacto ambiental, y piensen en su economía a corto plazo sin importar el futuro.	Desarrollar ensayos e investigaciones que tengan como premisa el progreso regional, comunicando de manera correcta los resultados y asesorando al mayor número posible de productores dispuestos a incorporar las tecnologías para que adapten las mismas a sus sistemas. A partir de ello realizar evaluaciones de impacto económico, social y ambiental de las posibles soluciones encontradas.	Indicador 28: Uso sustentable de Insumos	Compromiso entre los productores y todos los actores sociales en los que se encuentra su establecimiento.	Fomentar un dialogo bidireccional, donde todos tengan la misma información y resultados.	Se disminuye notablemente el uso indiscriminado de productos, evitando contaminaciones y daño al medio ambiente.	Al generarse conciencia entre distintos productores, su producción va a ir aumentando, se disminuye el uso de productos y así van a generar nuevos y mayores ingresos.
9	Consumidor	Mayor disponibilidad de productos inocuos para el consumidor	Diferencia de precio entre los productos orgánicos o agroecológicos y los tradicionales.	Mayor conciencia de los consumidores en los beneficios que tienen los productos inocuos	Indicador 46: Cuidado de la Inocuidad de los Alimentos y de las Prácticas Productivas que podrían afectarlos	Estar dispuesto a pagar un poco mas por un producto saludable y amigable con el medio ambiente.	Conciencia de la importancia de una alimentación sana.	Importancia del proceso de producción del producto su impacto con el medio ambiente.	Transparencia en el precio y proceso productivo de los productos.
10	Estado	Generar todo tipo de acciones e interacciones entre los diferentes actores que tengan impacto positivo para lograr el desarrollo de la comunidad a nivel territorial.	Personas no idóneas en cargos políticos que no contribuyen al beneficio de la sociedad con leyes sin sentido o mal legisladas.	Implementar descuentos impositivos o algún otro tipo de beneficio para aquellos productores que tengan en cuenta el impacto ambiental de sus explotaciones a través de las buenas practicas agrícolas.	Indicador 4: Dialogo y Participación de los Grupos de Interés Indicador 50: Participación en el Desarrollo de Políticas Públicas.	Contribuir a la conciencia ética individual de cada actor del territorio cuyo fin sea la conciencia colectiva de la comunidad, para tener una sociedad mas justa.	Promover las buenas practicas agrícolas para la preservación de los recursos naturales.		Un aumento en la producción trae aparejado a un aumento en la recaudación impositiva, que pasara a ser recursos con los que cuenta el estado para invertir en beneficio de la sociedad mejorando la calidad y disminuyendo los costos de vida.

CONCLUSIÓN

Para asegurar una alta productividad del Maíz es necesario establecer la densidad de siembra óptima y conocer los requerimientos nutricionales, la decisión debe recaer en aquel manejo que garantice el mejor uso de los recursos ambientales disponibles y genere la mayor rentabilidad del cultivo y el menor costo en uso de semillas y fertilizante.

En este trabajo se observó que cuando se utilizan densidades de siembra bajas (30 a 40 mil plantas), la aplicación de Nitrógeno no fue importante, ya que los recursos disponibles en el suelo son suficientes para que el cultivo exprese su potencial productivo; a medida que se aumenta la densidad (60 a 70 mil plantas por hectárea), la dosis de nitrógeno tiene un rol más importante para la producción de materia seca y rendimiento en grano, hasta alcanzar un máximo (62 a 100 kg Nitrógeno por hectárea), en donde dosis mayores no representan aumentos significativos estadísticos en el rendimiento, ocasionando mayores gastos en insumos y un aumento en el riesgo de contaminación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Balzarini M.G., Di Rienzo J.A., Tablada M., Gonzales L., Bruno C., Cordoba M., Robledo W., Casanoves F. 2012. Estadística y biometría: ilustraciones del uso e Infostat en problemas de agronomía. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar/>
- InfoStat. 2004. Infostat versión 2.0. Manual del usuario. Grupo Infostat FCA, UNC. Ed. Brujas, Cba., Arg.
- Vallone Pedro, Gudelj Vicente, Galarz, Carlos, Masiero Beatriz, Vranicich Claudia, Nebreda José. 2010. Ensayo de densidad y distancia de siembra de maíz.
- Paliwal Ripusudan, Granados Gonzalo, Lafitte Renee, Violic Alejandro. 2001. El Maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción.
- Eyhéabide Guillermo. 2008. Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz. Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino.
- Andrade F.H. y J. Gardiol. 1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico 132. Est. Exp. Agr. Balcarce, Argentina. 21pp.
- Andrade F.H.; L.A.N. Aguirrezábal y R.H. Rizzalli. 2002a. Crecimiento y rendimiento comparados. In: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. F.H. Andrade y V.O. Sadras (Eds.), INTA-UIB. Capítulo 5, páginas 57-96.
- FAO, 2014. <https://es.actualitix.com/pais/wld/maiz-paises-productores.php>
- Richard Fery y Jules Janick. 1971. Response of corn (*Zea Mays*. L) to population pressure.
- Burkart Michael and James David, 1999. Agrigultural-Nitrogen contribution to Hipoxia in the gulf of Mexico.
- Fred E. Below. 2000. Fisiología nutrición y fertilización nitrogenada del maíz.
- Bolsa de Cereales de Córdoba. Indicadores de responsabilidad social y sustentabilidad. <https://indicagro.bccba.com.ar/static/download/libro-indicadores.pdf>

ANEXO

Romanini

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_Rto_REML<-gls(Rto~1+N+D+NN+DD
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data01)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.001_Rto_REML

Variable dependiente: Rto

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
5450	91917,13	91956,74	-45952,56	1105,73	0,52

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales mlm.modelo.001_Rto_REML

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	312,56	<0,0001
N	1	751,94	<0,0001
D	1	2702,61	<0,0001
NN	1	287,01	<0,0001
DD	1	1994,57	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	254807,74	<0,0001
N	1	1546,24	<0,0001
D	1	2079,70	<0,0001
NN	1	307,05	<0,0001
DD	1	1994,57	<0,0001

Efectos fijos

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	1556,93	88,06	17,68	<0,0001
N	12,92	0,47	27,42	<0,0001
D	0,13	2,5E-03	51,99	<0,0001
NN	-0,03	1,5E-03	-16,94	<0,0001
DD	-7,4E-07	1,7E-08	-44,66	<0,0001

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.002_Rto_REML<-gls(Rto~1+N+D+NN+DD
,correlation=córExp(form=~as.numeric(as.character(X))+as.numeric(as.ch
aracter(Y))
,metric="euclidean"
,nugget=FALSE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data02)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.002_Rto_REML

Variable dependiente: Rto

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
800	13017,84	13050,59	-6501,92	1148,80	0,50

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales mlm.modelo.002_Rto_REML

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	26,89	<0,0001
N	1	12,11	0,0005
D	1	415,89	<0,0001
NN	1	1,60	0,2059
DD	1	295,44	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3071,54	<0,0001
N	1	97,89	<0,0001
D	1	337,48	<0,0001
NN	1	0,75	0,3866
DD	1	295,44	<0,0001

Efectos fijos

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	1588,25	306,27	5,19	<0,0001
N	10,69	3,07	3,48	0,0005
D	0,13	0,01	20,39	<0,0001
NN	-0,01	0,01	-1,27	0,2059
DD	-7,0E-07	4,1E-08	-17,19	<0,0001

Estructura de correlación

Modelo de correlación: Exponential spatial correlation

Formula: ~ as.numeric(as.character(X)) + as.numeric(as.character(Y))

Metrica: euclidean

Parámetros del modelo

Parámetro	Estim
range	16,94

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.003_Rto_REML<-gls(Rto~1+N+D+NN+DD
,weights=varComb(varIdent(form=~1|N))
,correlation=corExp(form=~as.numeric(as.character(X))+as.numeric(as.ch
aracter(Y))
,metric="euclidean"
,nugget=FALSE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data03)
```

Resultados para el modelo: **mlm.modelo.003_Rto_REML**

Variable dependiente: Rto

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
800	13017,14	13063,93	-6498,57	1170,95	0,50

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales **mlm.modelo.003_Rto_REML**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	23,92	<0,0001
N	1	13,56	0,0002
D	1	435,70	<0,0001
NN	1	2,54	0,1112
DD	1	309,94	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3049,04	<0,0001
N	1	96,69	<0,0001
D	1	338,29	<0,0001
NN	1	1,77	0,1832
DD	1	309,94	<0,0001

Efectos fijos

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	1512,94	309,36	4,89	<0,0001
N	11,86	3,22	3,68	0,0002
D	0,13	0,01	20,87	<0,0001
NN	-0,02	0,01	-1,59	0,1112
DD	-7,1E-07	4,0E-08	-17,60	<0,0001

Estructura de correlación

Modelo de correlación: *Exponential spatial correlation*

Formula: $\sim \text{as.numeric(as.character}(X)) + \text{as.numeric(as.character}(Y))$

Métrica: *euclidean*

Parámetros del modelo

Parámetro	Estim
range	17,48

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: *varIdent*

Formula: $\sim 1 \mid N$

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
0	1,00
300	0,98
100	0,89
200	1,07

Schifani

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.000_Rto_REML<-gls(Rto~1+N+D+NN+DD
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.000_Rto_REML

Variable dependiente: Rto

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
1349	21802,33	21833,55	-10895,16	766,45	0,52

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales mlm.modelo.000_Rto_REML

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2722,45	<0,0001
N	1	364,77	<0,0001
D	1	115,22	<0,0001
NN	1	94,63	<0,0001
DD	1	131,45	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	165049,29	<0,0001
N	1	1209,52	<0,0001
D	1	11,55	0,0007
NN	1	98,48	<0,0001
DD	1	131,45	<0,0001

Efectos fijos

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	6286,29	120,48	52,18	<0,0001
N	20,03	1,05	19,10	<0,0001
D	0,04	3,5E-03	10,73	<0,0001
NN	-0,05	0,01	-9,73	<0,0001
DD	-2,7E-07	2,3E-08	-11,47	<0,0001

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_Rto_REML<-gls(Rto~1+N+D+NN+DD
,correlation=corExp(form=~as.numeric(as.character(X))+as.numeric(as.ch
aracter(Y))
,metric="euclidean"
,nugget=FALSE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data01)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.001_Rto_REML

Variable dependiente: Rto

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
800	12439,36	12472,11	-6212,68	769,46	0,52

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales mlm.modelo.001_Rto_REML

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	528,17	<0,0001
N	1	26,15	<0,0001
D	1	22,77	<0,0001
NN	1	5,10	0,0242
DD	1	24,67	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	10656,13	<0,0001
N	1	86,18	<0,0001
D	1	0,49	0,4827
NN	1	6,06	0,0141
DD	1	24,67	<0,0001

Efectos fijos

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	6306,80	274,42	22,98	<0,0001
N	17,12	3,35	5,11	<0,0001
D	0,04	0,01	4,77	<0,0001
NN	-0,04	0,02	-2,26	0,0242
DD	-2,5E-07	5,0E-08	-4,97	<0,0001

Estructura de correlación

Modelo de correlación: Exponential spatial correlation

Formula: ~ as.numeric(as.character(X)) + as.numeric(as.character(Y))

Metrica: euclidean

Parámetros del modelo

Parámetro	Estim
range	6,71

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.002_Rto_REML<-gls(Rto~1+N+D+NN+DD
,weights=varComb(varIdent(form=~1|N))
,correlation=corExp(form=~as.numeric(as.character(X))+as.numeric(as.ch
aracter(Y))
,metric="euclidean"
,nugget=FALSE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data02)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.002_Rto_REML

Variable dependiente: Rto

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
800	12436,11	12482,89	-6208,05	756,54	0,52

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales mlm.modelo.002_Rto_REML

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	517,94	<0,0001
N	1	27,55	<0,0001
D	1	23,76	<0,0001
NN	1	6,06	0,0141
DD	1	25,17	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	12096,47	<0,0001
N	1	82,13	<0,0001
D	1	0,19	0,6641
NN	1	6,72	0,0097
DD	1	25,17	<0,0001

Efectos fijos

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	6294,11	276,56	22,76	<0,0001
N	17,45	3,32	5,25	<0,0001
D	0,04	0,01	4,87	<0,0001
NN	-0,04	0,02	-2,46	0,0141
DD	-2,5E-07	4,9E-08	-5,02	<0,0001

Estructura de correlación

Modelo de correlación: *Exponential spatial correlation*

Formula: $\sim as.numeric(as.character(X)) + as.numeric(as.character(Y))$

Métrica: *euclidean*

Parámetros del modelo

Parámetro	Estim
range	6,49

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: *varIdent*

Formula: $\sim 1 | N$

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
62	1,00
187	0,97
0	1,12
125	0,91

Santa Clara

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.000_Rto_REML<-gls(Rto~1+N+D+NN+DD
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.000_Rto_REML

Variable dependiente: Rto

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
2241	38867,28	38901,55	-19427,64	1395,33	0,40

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales mlm.modelo.000_Rto_REML

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	100,47	<0,0001
N	1	125,47	<0,0001
D	1	629,59	<0,0001
NN	1	73,22	<0,0001
DD	1	432,61	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	100561,60	<0,0001
N	1	120,37	<0,0001
D	1	847,78	<0,0001
NN	1	74,57	<0,0001
DD	1	432,61	<0,0001

Efectos fijos

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	2235,97	223,07	10,02	<0,0001
N	10,60	0,95	11,20	<0,0001
D	0,14	0,01	25,09	<0,0001
NN	-0,03	3,0E-03	-8,56	<0,0001
DD	-6,8E-07	3,3E-08	-20,80	<0,0001

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_Rto_REML<-gls(Rto~1+N+D+NN+DD
,correlation=córExp(form=~as.numeric(as.character(X))+as.numeric(as.ch
aracter(Y))
,metric="euclidean"
,nugget=FALSE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data01)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.001_Rto_REML

Variable dependiente: Rto

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
800	13444,90	13477,65	-6715,45	1391,74	0,38

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales mlm.modelo.001_Rto_REML

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	14,73	0,0001
N	1	18,00	<0,0001
D	1	120,38	<0,0001
NN	1	17,25	<0,0001
DD	1	80,68	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	4827,85	<0,0001
N	1	24,17	<0,0001
D	1	245,97	<0,0001
NN	1	22,05	<0,0001
DD	1	80,68	<0,0001

Efectos fijos

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	2109,02	549,57	3,84	0,0001
N	12,24	2,88	4,24	<0,0001
D	0,15	0,01	10,97	<0,0001
NN	-0,04	0,01	-4,15	<0,0001
DD	-7,0E-07	7,8E-08	-8,98	<0,0001

Estructura de correlación

Modelo de correlación: Exponential spatial correlation

Formula: ~ as.numeric(as.character(X)) + as.numeric(as.character(Y))

Metrica: euclidean

Parámetros del modelo

Parámetro	Estim
range	8,96

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.002_Rto_REML<-gls(Rto~1+N+D+NN+DD
,weights=varComb(varIdent(form=~1|N))
,correlation=corExp(form=~as.numeric(as.character(X))+as.numeric(as.ch
aracter(Y))
,metric="euclidean"
,nugget=FALSE)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data02)
```

Resultados para el modelo: **mlm.modelo.002_Rto_REML**

Variable dependiente: Rto

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
800	13272,42	13319,20	-6626,21	814,15	0,35

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales **mlm.modelo.002_Rto_REML**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	37,14	<0,0001
N	1	37,03	<0,0001
D	1	176,39	<0,0001
NN	1	30,37	<0,0001
DD	1	119,72	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	5788,36	<0,0001
N	1	13,15	0,0003
D	1	285,71	<0,0001
NN	1	35,37	<0,0001
DD	1	119,72	<0,0001

Efectos fijos

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	2531,53	415,39	6,09	<0,0001
N	14,26	2,34	6,09	<0,0001
D	0,14	0,01	13,28	<0,0001
NN	-0,05	0,01	-5,51	<0,0001
DD	-6,6E-07	6,0E-08	-10,94	<0,0001

Estructura de correlación

Modelo de correlación: *Exponential spatial correlation*

Formula: $\sim as.numeric(as.character(X)) + as.numeric(as.character(Y))$

Métrica: *euclidean*

Parámetros del modelo

Parámetro	Estim
range	10,71

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: *varIdent*

Formula: $\sim 1 | N$

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
0	1,00
300	2,49
200	1,83
100	1,33