



Variabilidad en rendimientos de maíz en el Sur de Entre Ríos.

Potencialidad del manejo por ambientes de la nutrición del cultivo.

Campaña 2019-2020

Empresa: *Berardo Agropecuaria SRL*

Mayo, 2020

1. Introducción

Numerosos trabajos han reportado significativa variabilidad espacial tanto entre lotes (Inter-lote) (tipo de suelo), como también a nivel intra-lote en propiedades edáficas (Bermúdez et al., 2007). Esta variabilidad condiciona numerosos factores y procesos edáficos, que determinan el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Scharf et al., 2005). Frente a dicho escenario, surgen las siguientes preguntas:

- ¿Cual es la magnitud de variaciones entre distintos lotes? (**variabilidad inter lote**)
- ¿Cual es la magnitud de variaciones dentro de cada lote? (**variabilidad intra lote**)
- ¿Son las imágenes satelitales un predictor adecuado de esta variabilidad?
- ¿Existe potencial de ahorro en el manejo de esta variabilidad?

2. Metodología de trabajo

En la campaña 2019-2020, la empresa Berardo Agropecuaria SRL realizó el mapeo de rendimiento de lotes de maíz. Para este análisis se evaluaron un total de 27 lotes que representan mas de 2000 has.

Se filtraron y calibraron monitores de rendimiento extrayendo distorsiones que se producen durante el registro de la información en el proceso de cosecha.

Para analizar la variabilidad **Inter-lote**, se dividieron los lotes en 4 categorías (Malo, Regular, Bueno y Muy bueno) en función de su rendimiento promedio.

Por otro lado, para analizar la variabilidad **Intra-lote**, en cada lote a su vez se definieron 4 ambientes:

Malo: Rendimientos inferiores al primer cuartil (0 al 25 % de los datos)

Regular: Rendimientos entre primer cuartil y la mediana (25 al 50% de los datos)

Bueno: Rendimientos entre la mediana y tercer cuartil (50 al 75% de los datos)

Muy bueno: Rendimientos mayores al tercer cuartil (50 al 75% de los datos)

Para cada combinación de Lote-Ambiente se extrajeron imágenes de NDVI en distintos momentos con el objetivo de construir calibraciones que sirvan de precedente para ambientaciones futuras.

1. VARIABILIDAD INTER-LOTE:

¿Cual es la magnitud de variaciones entre distintos lotes?

De acuerdo a la distribución de rendimiento de los 27 lotes se los enmarcan dentro de 4 categorías. La magnitud de diferencias de rendimiento entre extremos es cercana a las 4 tn/ha de maíz. El tratamiento técnico para las distintas categorías fue similar.

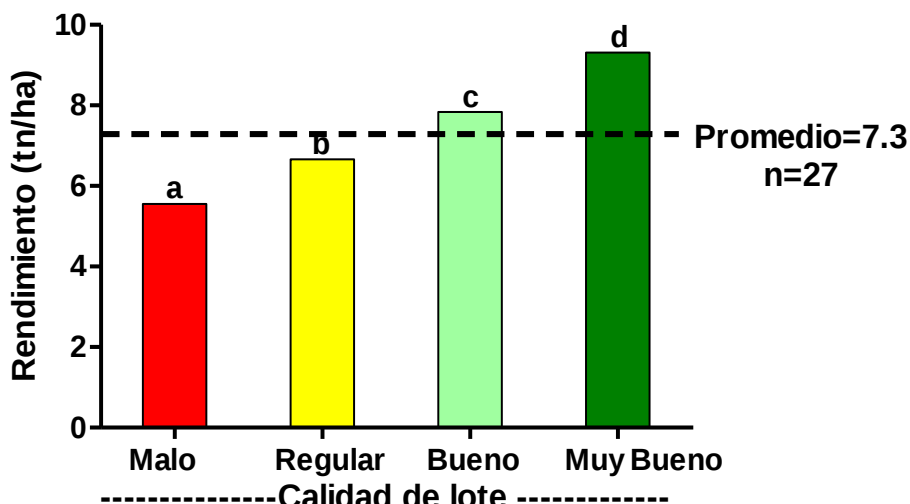


Figura 1. Rendimiento promedio de maíz en función de la calidad de lote (n= 27). Letras distintas entre calidad de lote indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$, LSD).

En la **Tabla 1** se detalla la superficie que enmarcada en cada categoría del análisis. Para cuantificar el impacto de esta variabilidad se presenta el IB (us\$/ha) de cada categoría. Sobre un ingreso bruto total de aproximadamente 2.000.000 US\$, la categoría de lote Muy Bueno representó contribuyó con un 34% al IB total, siendo que representa el 27% del área. Asumiendo mismos costos para todos los lotes (650 us\$/ha) la categoría muy bueno explico el 48% del resultado de producción con el 27 % de la superficie mientras que la categoría malo explico solo el 3% del resultado con 19% del área.

A la luz de estos resultados cabe preguntarse: ¿Es correcto trabajar con un manejo único en ambientes tan distintos? ¿Existe margen de ahorro en ambientes malos y de optimización de rendimiento en ambientes buenos?

Tabla 1. Superficie, rendimiento promedio e ingreso bruto (IB) para las diferentes calidades de lotes.

Calidad de lote	Superficie		Rendimiento (tn/ha)	IB (US\$/ha)
	has	%		
Malo	411	19	5.6	699
Regular	523	25	6.7	839
Bueno	606	29	7.8	988
Muy Bueno	580	27	9.3	1173

2. VARIABILIDAD INTRA-LOTE ¿Cual es la magnitud de variaciones dentro de cada lote?

En cada uno de los 27 lotes de maíz, se definieron 4 ambientes en función del rendimiento obtenido por el mapeo (**Figura 3**). Estos resultados muestran que además de variabilidad **Inter-lote** (calidad de lote), existe una variabilidad **Intra-lote** (calidad de ambiente) de mucha importancia. Esto indicaría que el manejo sitio específico de insumos (nitrógeno ó densidad de siembra) no solo permitirán dar un salto en producción en ciertos ambientes, sino también el ahorro de insumos en otros, ambas situaciones estarían reflejadas en un beneficio económico para la empresa agropecuaria.

¿CUÁNTOS AMBIENTES DEFINIMOS?

A la hora de definir el número de ambientes, no solo se debería tener en cuenta la parte productiva, sino su factibilidad de aplicación en la práctica.

En este trabajo, en primera instancia se definieron 4 calidades de lotes, y posteriormente 4 calidades de ambiente para cada calidad de lote, lo cual hace un total de 16 ambientes distintos. Si bien desde lo productivo parecería correcto, sin embargo, son muchos ambientes para llevarlos a la práctica. Por lo tanto, se realizan **2 propuestas** para el manejo sitio específico de N, para futuras campañas

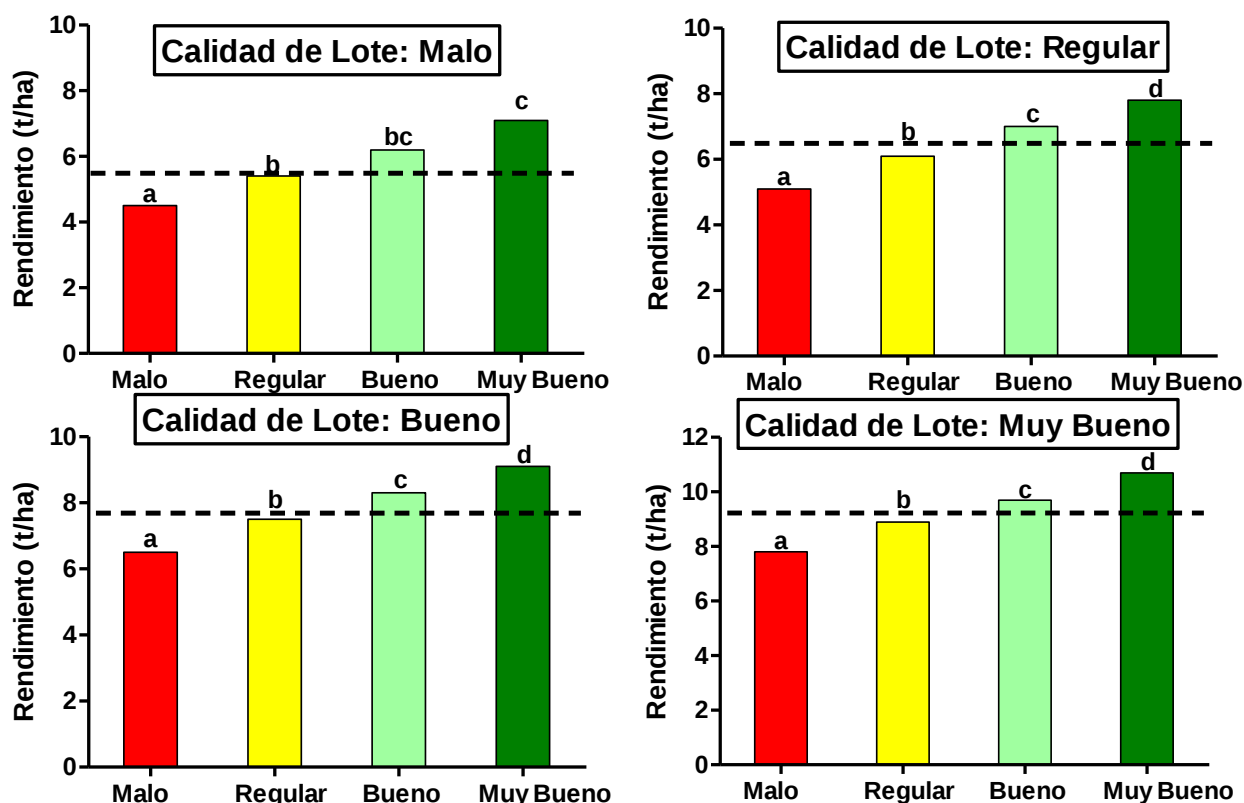


Figura 3. Rendimiento promedio de cada calidad de ambiente (Intra-lote) para las diferentes calidades de lote. Letras distintas dentro de cada calidad de lote indican diferencias estadísticamente significativas entre calidad de ambiente ($p < 0,05$, LSD).

La **Propuesta 1**, es la versión más simplificada, para definir ambientes y realizar manejo sitio específico. En esta se sugiere definir 4 calidades de ambientes (C1, C2, C3 y C4) (**Figura 4a**), los cuales fueron definidos por el rendimiento promedio (**Figura 4b**).

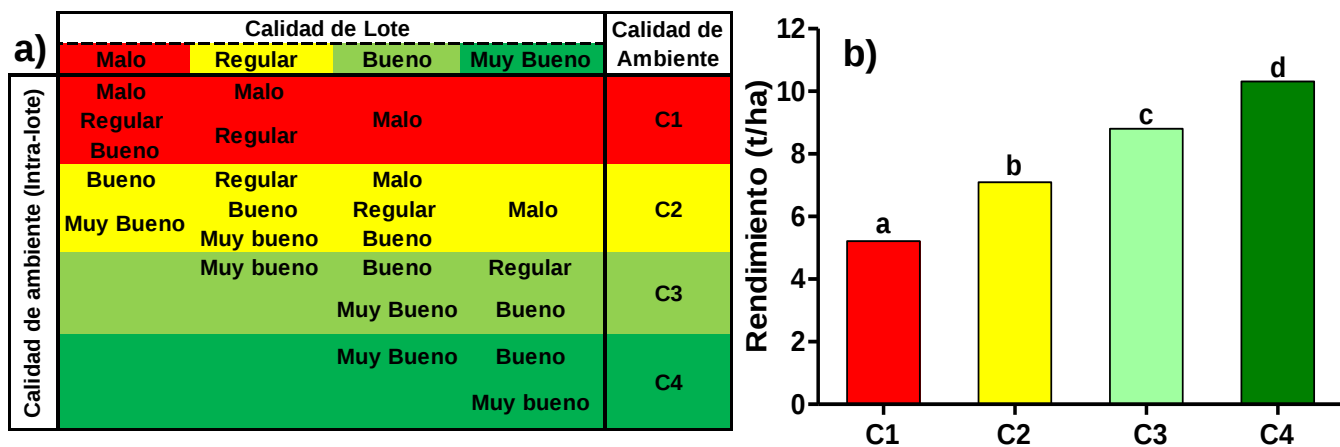


Figura 4. a) Composición de las diferentes calidades de de ambientes de la **Propuesta 1**. b) Rendimiento promedio de maíz en función de la calidad de ambiente. Letras distintas entre calidad de ambiente indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$, LSD).

Con esta propuesta la diferencia entre ambientes es bien marcada, en la **Tabla 2** se puede observar que el **IB** en el C1 es el 50% del IB en el C4, lo cual estaría indicando que un manejo por ambiente sería de gran impacto en los resultados económicos.

Sin embargo, en esta esta propuesta el rango de rendimiento (Rendimiento máximo - Rendimiento mínimo) para cada calidad de ambiente es en promedio de 1,8 tn/ha. Sumado a esto, y para un requerimiento de 35 kg N/tn de maíz, la diferencia de dosis será de 60 kg N/ha entre el rendimiento mínimo y máximo de cada categoría.

Por lo tanto, el rango de rendimiento por categoría es demasiado grande, especialmente cuando se piensa realizar manejo sitio específico de nitrógeno, siendo esta la principal desventaja de la **propuesta 1**.

Tabla 2. Rendimiento promedio, mínimo y máximo , superficie e ingreso bruto (IB) para las diferentes calidades de ambientes.

Calidad de ambiente	Rendimiento			Superficie		IB (US\$/ha)
	Promedio	Mínimo	Máximo	ha	%	
1	5.2	3.9	6.0	445	21	658
2	7.1	6.0	8.2	1114	53	896
3	8.8	8.2	9.7	437	21	1111
4	10.3	9.7	10.9	111	5	1300

La **Propuesta 2**, es la versión más recomendada, ya que es una combinación armoniosa entre la parte productiva y práctica para realizar manejo sitio específico. En esta se propone, definir 8 calidades de ambientes (**Figura 5 a**), definidos en función del rendimiento promedio, los cuales presentaron diferencias estadísticas entre calidades de ambientes (**Figura 5 b**).

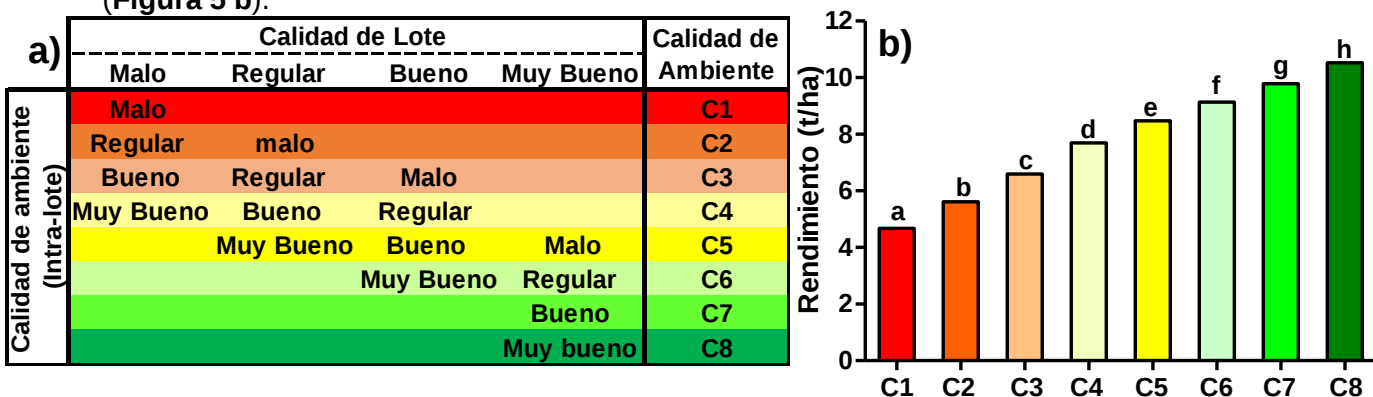


Figura 4. a) Composición de las diferentes calidades de de ambientes de la **Propuesta 1. b)** Rendimiento promedio de maíz en función de la calidad de ambiente. Letras distintas entre calidad de ambiente indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$, LSD).

Con esta propuesta la diferencia entre ambientes es gradual, donde el rango de rendimiento (Rendimiento máximo - Rendimiento mínimo) para cada calidad de ambiente es en promedio de 0.9 tn/ha (**Tabla 3**). Este rango es considerado óptimo para definir diferentes dosis para cada ambiente.

Por lo tanto, esta propuesta sería la recomendable ya que no solo es buena desde el aspecto productivo, sino también es factible desde su aplicación en la práctica para la ejecución de manejo sitio específico de N.

Tabla 3. Rendimiento promedio, mínimo y máximo , superficie e ingreso bruto (IB) para las diferentes calidades de ambientes.

Calidad de ambiente	Rendimiento			Superficie		IB (US\$/ha)
	Promedio	Mínimo	Máximo	ha	%	
1	4.7	3.9	5.2	243	12	588
2	5.6	5.2	6.0	202	10	707
3	6.6	6.0	7.3	532	25	832
4	7.7	7.3	8.2	582	28	969
5	8.5	8.2	8.8	199	9	1067
6	9.1	8.8	9.7	237	11	1150
7	9.8	9.7	10.1	20	1	1234
8	10.5	10.1	10.9	91	4	1327

3. Calibraciones con NDVI: ¿Son las imágenes satelitales un predictor adecuado de esta variabilidad?

Se realizó una calibración ex post entre las lecturas de NDVI de distintos momentos del ciclo del cultivo y el rendimiento final obtenido. El mismo se realizó para ambas propuestas de categorías generadas. Como se puede ver en la **Figura 5 a**, la máxima brecha de NDVI se captura en M2, esto además se ordena en la misma jerarquía que las categorías de rendimiento generadas. Cuando se correlacionan las lecturas de NDVI para M2 con el rendimiento obtenido por categorías se obtienen muy buenos ajustes (**Figura 5 b**). Es válido mencionar que para la propuesta de ambientación 1 (4 ambientes) se observan similares resultados (**Figura 6 a y b**).

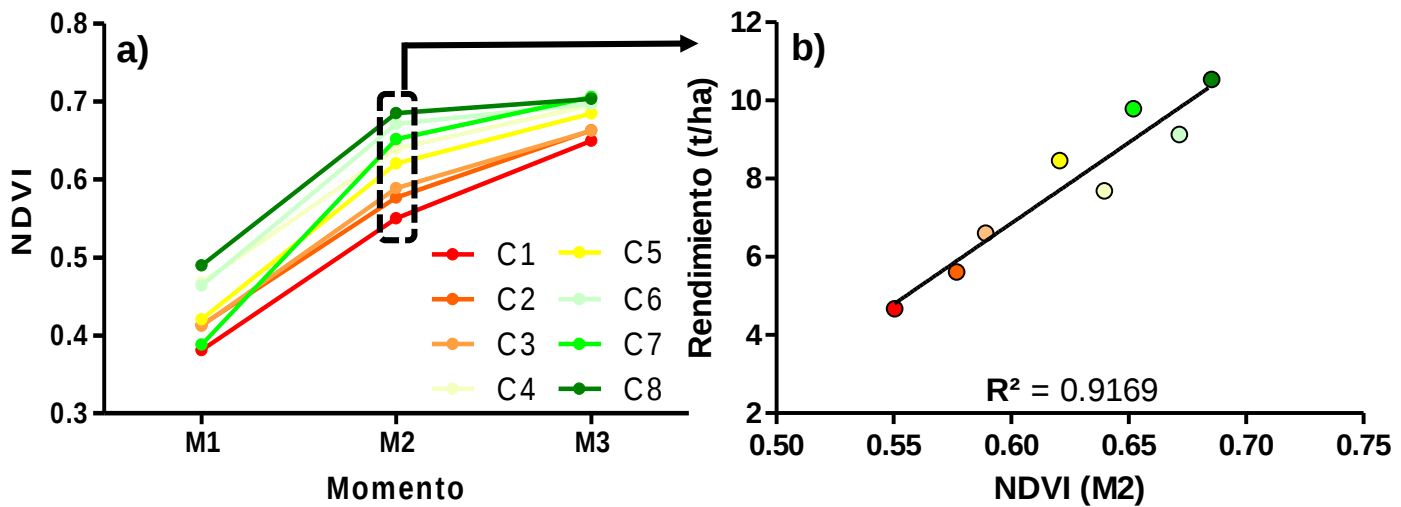


Figura 5. a) Lectura de NDVI para cada categoría en distintos momentos. **b)** Relación entre lectura de NDVI y rendimiento para el momento 2 (M2). Para la **Propuesta 2** de ambientación.

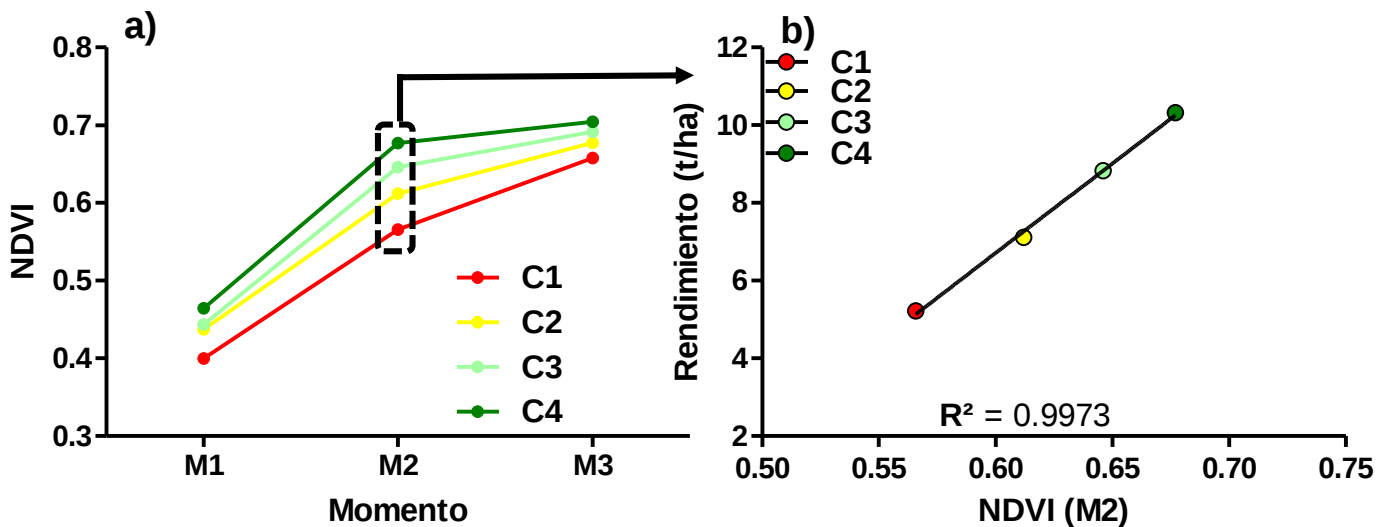


Figura 6. a) Lectura de NDVI para cada categoría en distintos momentos. **b)** Relación entre lectura de NDVI y rendimiento para el momento 2 (M2). Para la **Propuesta 1** de ambientación.

4. ¿Existe potencial de ahorro en el manejo de esta variabilidad?

Para responder esta pregunta se plantearon 2 escenarios, los cuales se plantea que la disponibilidad de N y la mineralización de son constante entre ambientes, a pesar que esta consideración es errónea, es de utilidad para comparar las formas de manejo (**Tabla 4**).

1) Manejo uniforme de la nutrición: El N objetivo (Umbral de suficiencia) utilizado es de 140 kg N/ha. Considerando que el rendimiento promedio fue de 7,3 tn/ha, y en función a lo informado por Correndo et al. (2018), el N objetivo utilizado por la empresa es correcto.

2) Manejo variable de la nutrición: El N objetivo en cada uno de los ambientes se determinó en función del rendimiento promedio tal como lo indica Correndo et al. (2018).

Se determinó diferencia en la dosis de urea entre formas de manejo, siendo el promedio (ponderado) de 188 y 196 kg/ha para el manejo por ambiente y uniforme, respectivamente.

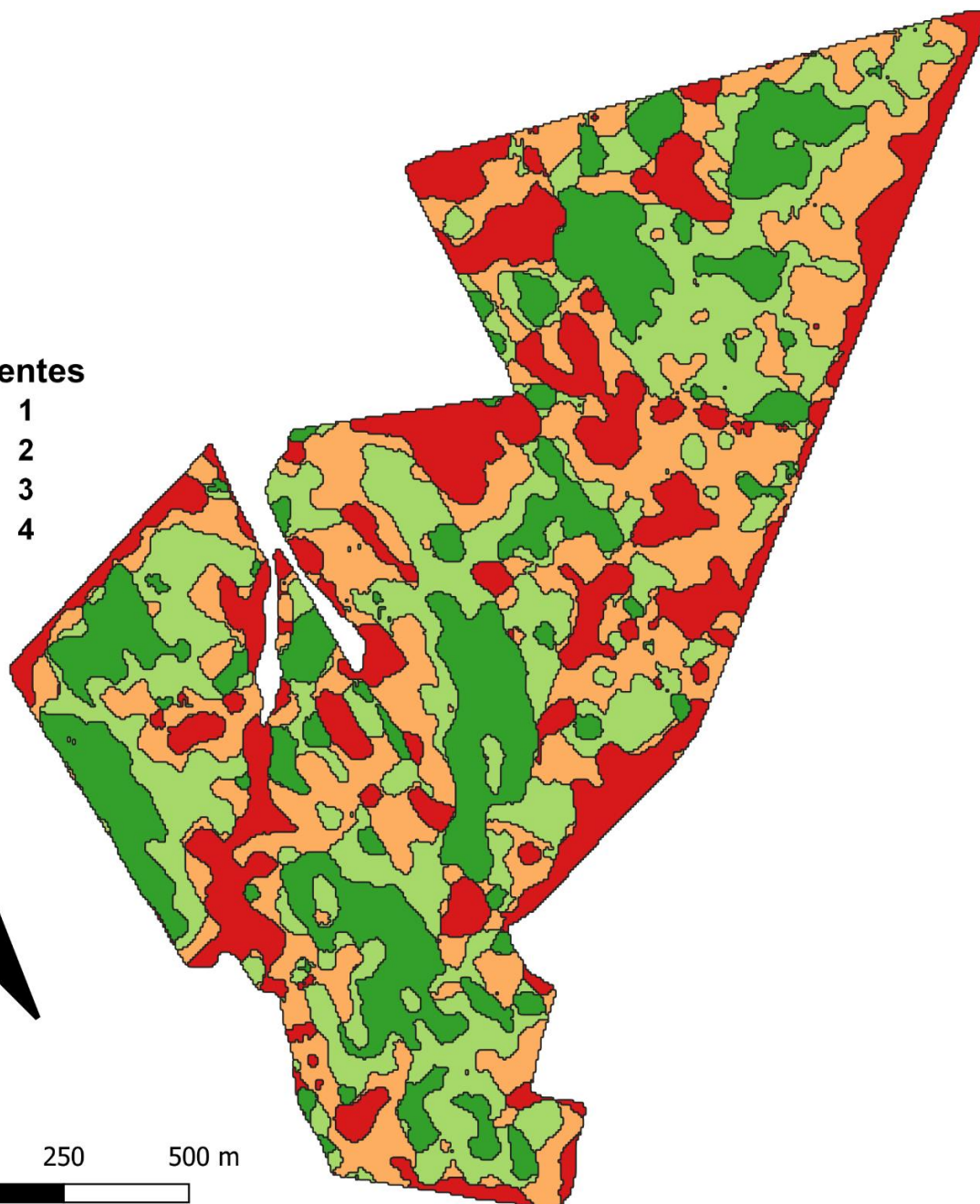
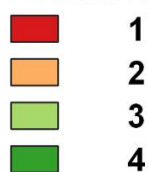
La calidad de ambiente 4, será considerada como punto de partida ya que las dosis de N son similares entre manejos (209 vs 196). En el manejo por ambiente, 46% de la superficie recibe una dosis inferior respecto al manejo uniforme, lo cual representa un ahorro de **12 US\$/ha** (considerando las 2107 ha). Por otro lado, para el 26 % la superficie, la dosis recomendada es superior respecta a la de manejo uniforme. Para estimar el incremento de rendimiento, se tomó la diferencia entre la dosis sugerida y la dosis aplicada en manejo uniforme (196 kg Urea/ha), y se considero requerimiento 35 kgN/tn, este incremento en rendimiento representa **23 US\$/ha** (considerando las 2107 ha).

El manejo por ambiente permitiría un retorno económico de 35 US\$/ha, contemplando ahorro e incrementos en producción.

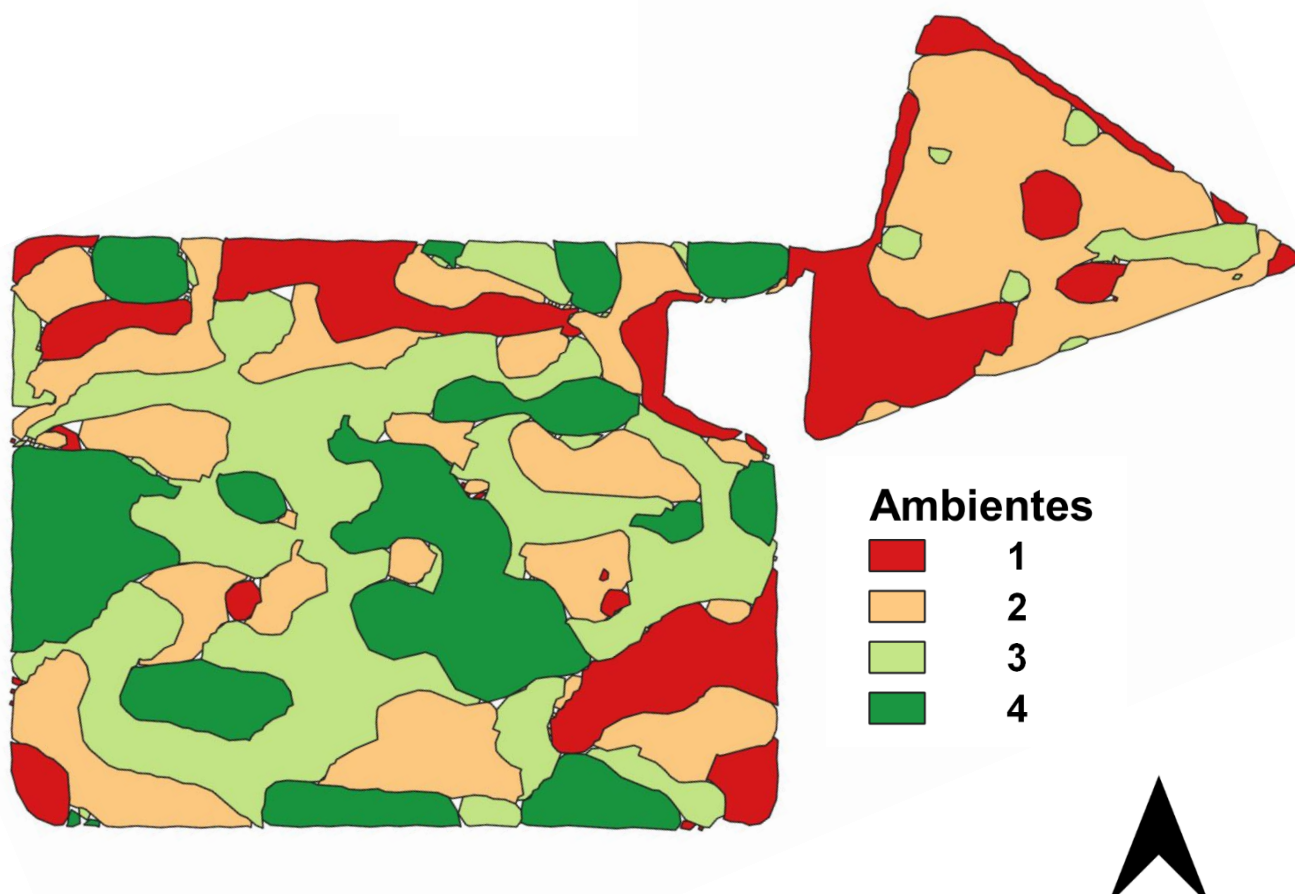
Tabla 4. Análisis comparativo entre manejo uniforme y manejo variable de la nutrición nitrogenada.

Calidad de ambiente	Superficie (ha)	Rendimiento (tn/ha)	N disponible (kgN/ha)	N objetivo (kg/ha)	Dosis de N (kg N/ha)	Dosis de Urea (kg/ha)	Costo Urea (US\$/ha)	IB- Costo Urea (US\$/ha)	Diferencia entre Manejos (US\$/ha)
Manejo Uniforme de la nutrición									
1	243	4.7	50	140	90	196	68	520	
2	202	5.6	50	140	90	196	68	638	
3	532	6.6	50	140	90	196	68	763	
4	582	7.7	50	140	90	196	68	900	
5	199	8.5	50	140	90	196	68	999	
6	237	9.1	50	140	90	196	68	1082	
7	20	9.8	50	140	90	196	68	1165	
8	91	10.5	50	140	90	196	68	1258	
Manejo por ambiente de la nutrición									
1	243	4.7	50	80	30	65	23	566	46
2	202	5.6	50	101	51	110	38	668	30
3	532	6.6	50	122	72	157	55	777	13
4	582	7.7	50	146	96	209	73	896	0
5	199	9.1	50	178	128	279	98	1054	55
6	237	10.2	50	202	152	330	116	1172	90
7	20	11.3	50	226	176	382	134	1289	124
8	91	12.5	50	252	202	440	154	1421	163

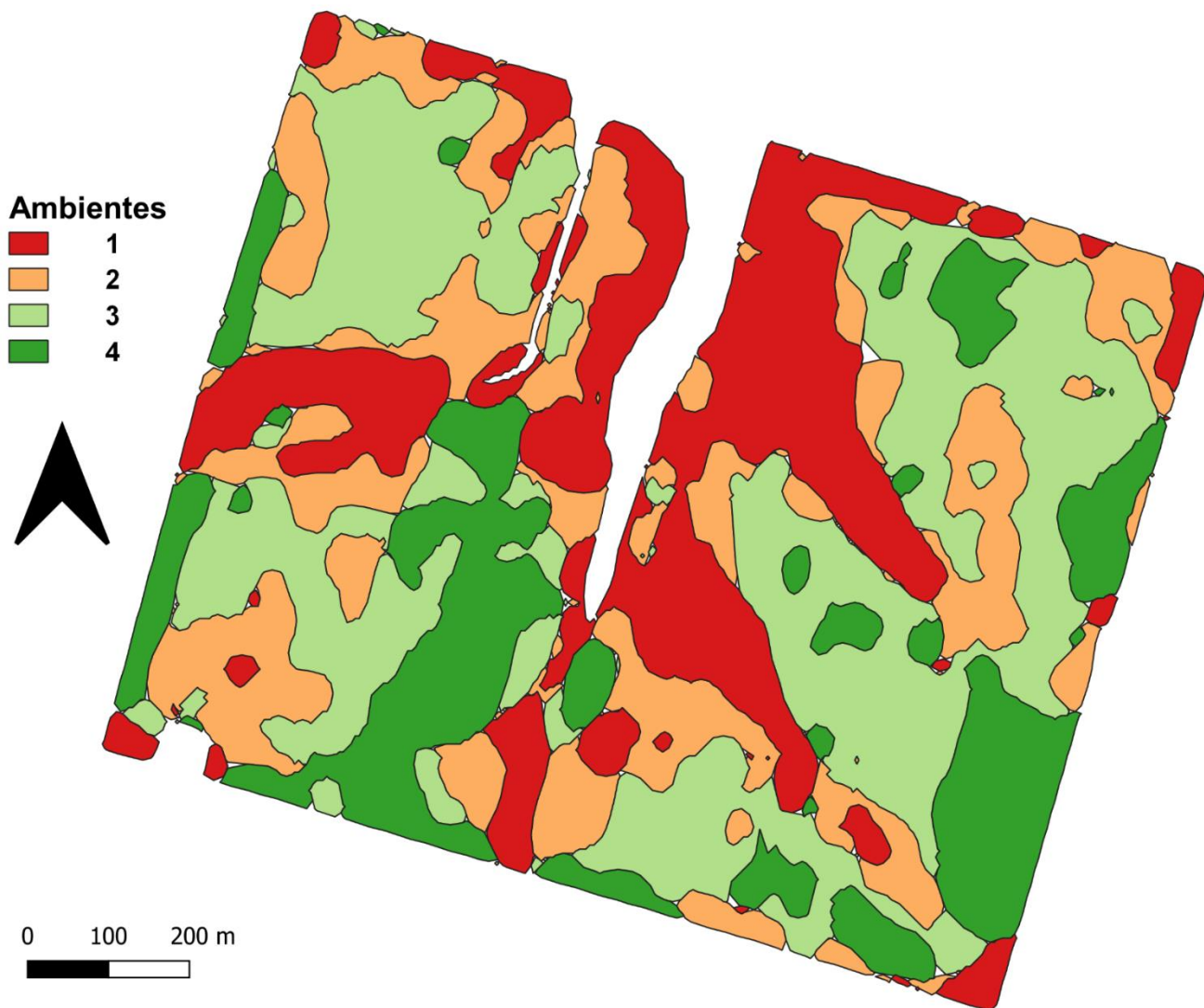
Ambientes



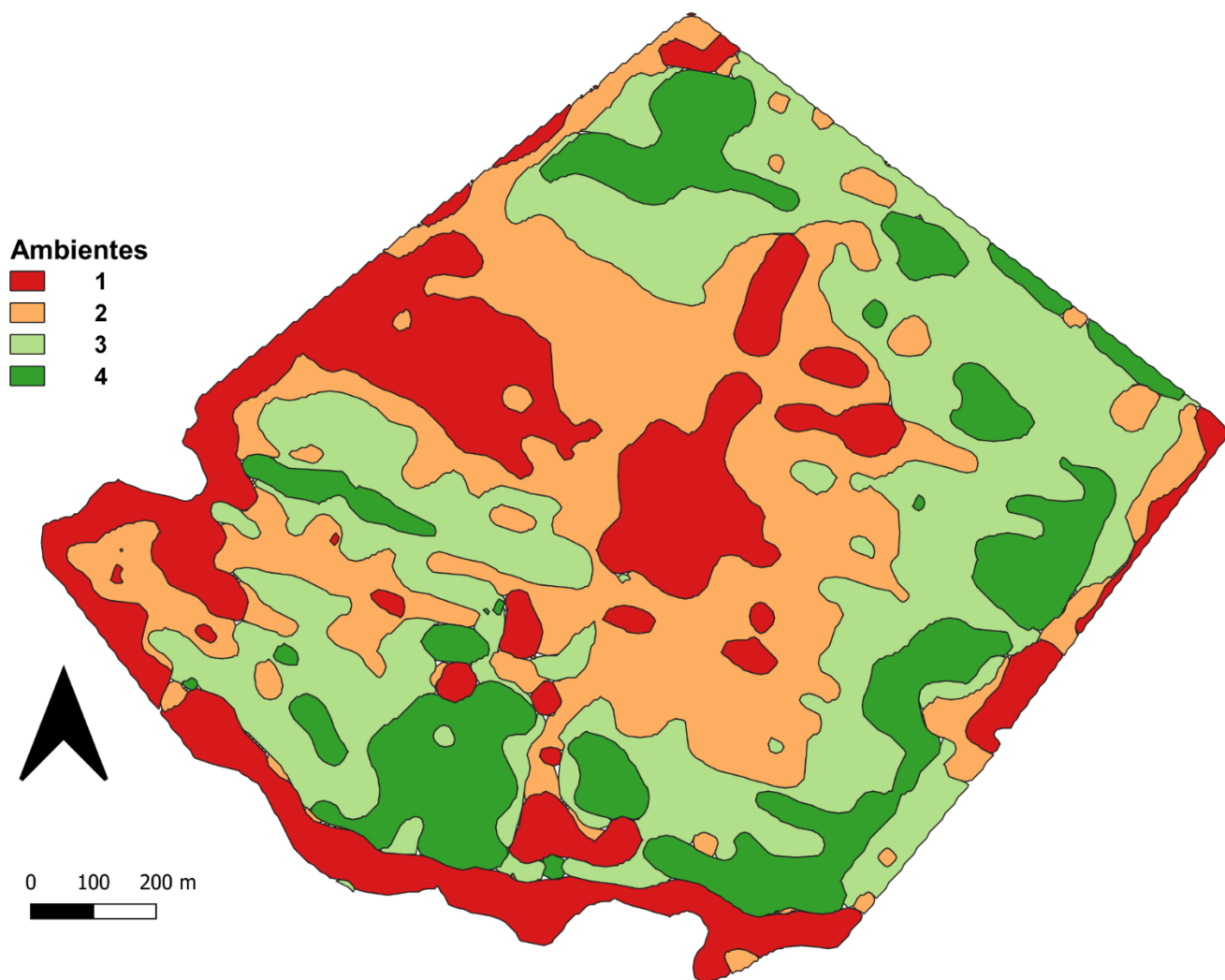
Ambientes	Superficie		Rendimiento (tn/ha)	IB (US\$/ha)
	has	%		
1	44	21	3.9	491
2	60	29	5.2	659
3	58	28	6.0	761
4	44	21	7.0	882



Ambientes	Superficie		Rendimiento (tn/ha)	IB (US\$/ha)
	has	%		
1	8	18	4.6	580
2	15	33	5.7	718
3	13	28	6.7	844
4	10	21	7.7	966



Ambientes	Superficie		Rendimiento (tn/ha)	IB (US\$/ha)
	has	%		
1	24	23	6.7	839
2	25	24	7.4	935
3	36	34	8.2	1032
4	19	19	8.8	1110



Ambientes	Superficie		Rendimiento (tn/ha)	IB (US\$/ha)
	has	%		
1	48	29	7.7	966
2	54	33	8.8	1108
3	37	22	9.2	1158
4	26	16	10.3	1293

Autores del informe:



Ing. Agr. (Msc.) Orcellet, Juan
EEA Concepción del Uruguay
Orcellet.juan@inta.gob.ar



Ing. Agr. Burzaco, Lucas
Vértico
lburzaco@agro.uba.ar
verticoap@gmail.com



Ing. Agr. Larrosa, Luciano
llarrosa@basrl.com.ar