

# EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE NDVI Y LA PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA COMO HERRAMIENTAS PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL.

Fabio Alejandro Montealegre Medina<sup>1</sup> Ing Catastral y Geodesta Mg Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas

Fernanda Julia Gaspari<sup>1</sup> Ing Forestal –Mg, Cons. Gestión ambiental Dr Ing Hidráulica

<sup>1</sup> CEIDE – Centro de Estudio Integrales de Dinámica Exógena. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.  
Universidad Nacional DE La Plata. Diagonal 113 numero 469 3º Piso, Tel: (221) 4236616  
{[cuencas@agro.unlp.edu.ar](mailto:cuencas@agro.unlp.edu.ar)}

## OBJETIVO

Analizar la relación entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la productividad agrícola para trigo y cebada por medio de la depuración estadística de la información de recolectada en campo al interior en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú, Buenos Aires, Argentina.

# JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la producción agrícola ha tenido al alcance diversas herramientas tecnológicas que contribuyen al mejoramiento de las prácticas operativas eficientes, una de ellas es la utilización de imágenes tomadas por sensores remotos, de las cuales las más utilizadas provienen de satélites específicos para dicha tarea y la optimización de procesamiento y análisis de datos geográficos.

# MATERIALES

- Imágenes Satelitales Landsat 8.
- Mapas de rendimiento de Trigo y cebada.
- Parcelas de cultivos delimitadas.
- Software Geográfico ArcGis y QGIS.
- Software estadístico R y GeoDa.

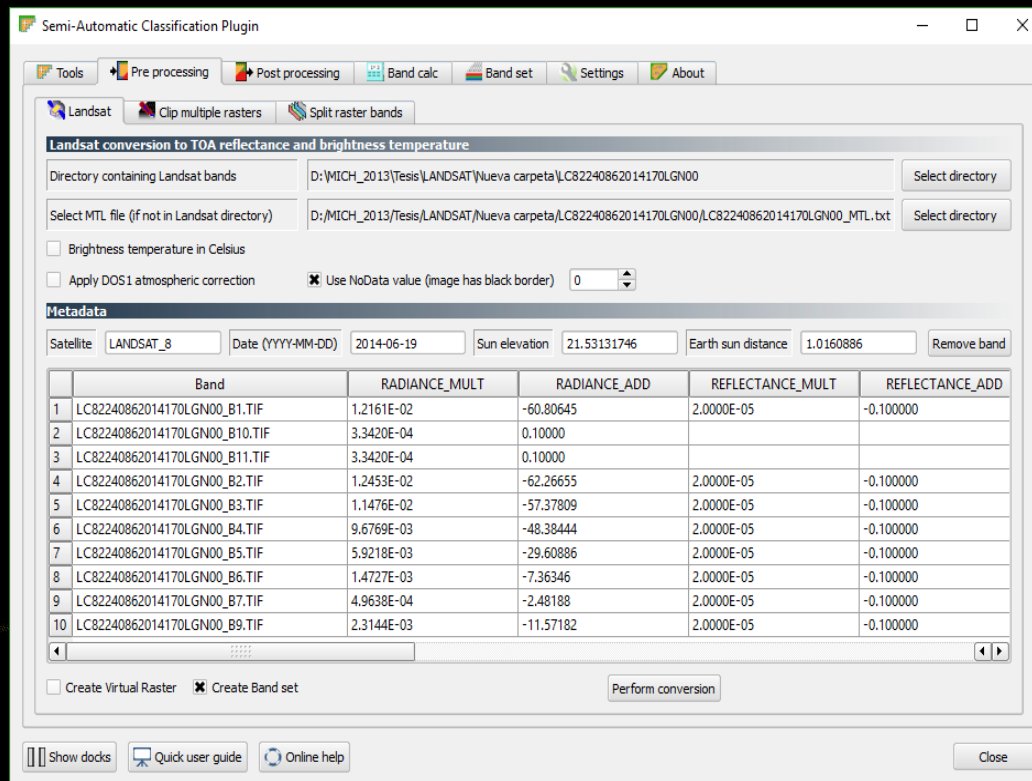
# PROCEDIMIENTO

- Descarga de imágenes Landsat 8 OLI del servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS para el 2do semestre del 2014.

Sensor	Nombre	Fecha	Resolución espacial	Path-Row
Landsat 8	LC82250862014209LGN00	28-Jul-14	30 m	225-086
	LC82250862014225LGN00	14-Aug-14	30 m	225-086
	LC82240862014250LGN00	08-Sep-14	30 m	224-086
	LC82250862014289LGN00	16-Oct-14	30 m	225-086
	LC82250862014321LGN00	17-Nov-14	30 m	225-086
	LC82240862014330LGN00	26-Nov-14	30 m	224-086
	LC82250862014337LGN00	03-Dec-14	30 m	225-086
	LC82240862014346LGN00	12-Dec-14	30 m	224-086

# PROCEDIMIENTO

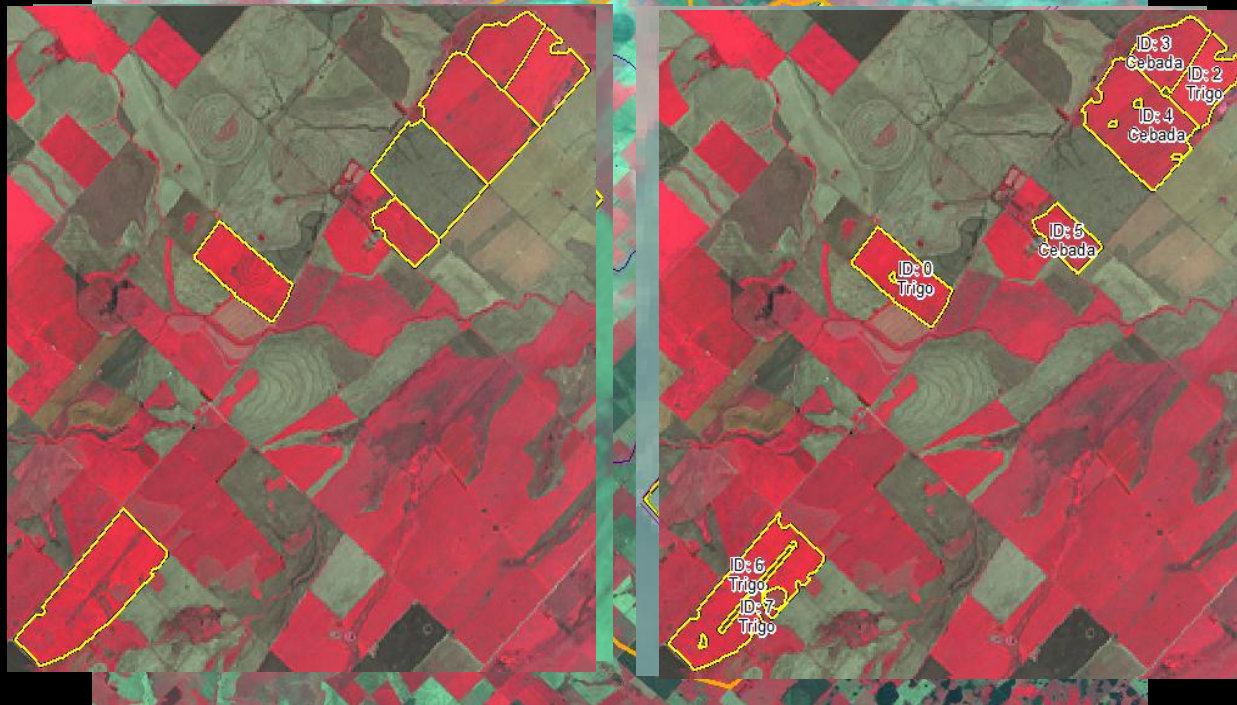
- Corrección radiométrica para llevar los niveles digitales a valores de reflectancia y/o radiancia en el techo de la atmosfera TOA por medio de QGis



# PROCEDIMIENTO

- Interpretación y digitalización de parcelas por medio de imágenes satelitales

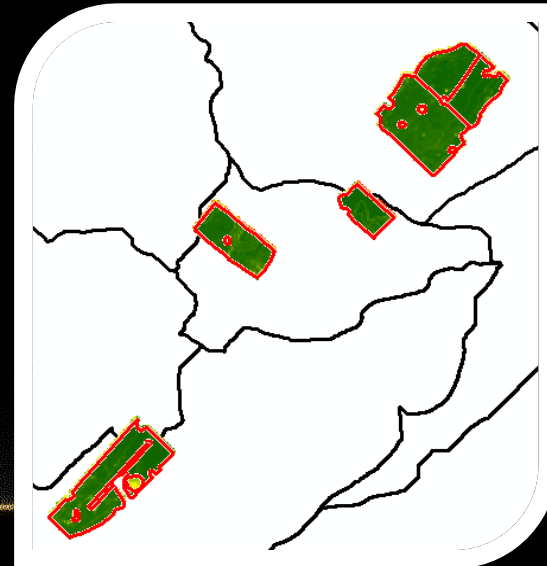
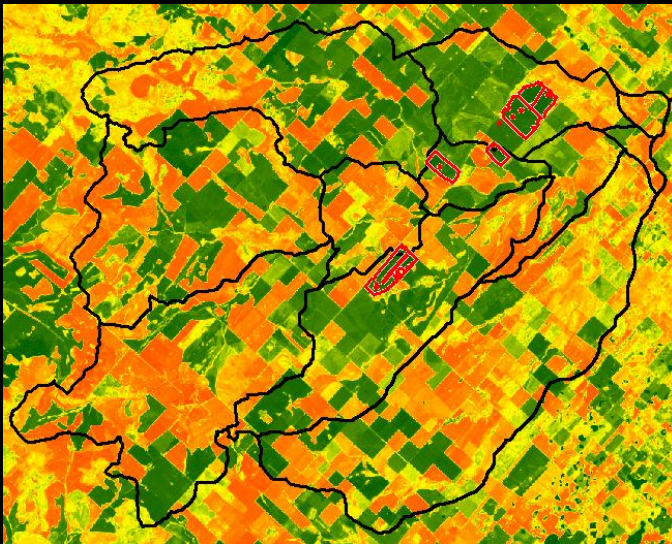
Ilustración 5. Imagen Spot 5 (resolución espacial 10 m) a izquierda y Landsat 8 (resolución espacial 30 m) a derecha



# PROCEDIMIENTO

- Creación de NDVI a partir de imágenes satelitales

$$\text{NDVI} = (\text{RNIR} - \text{R Red}) / (\text{RNIR} + \text{R Red})$$





# PROCEDIMIENTO

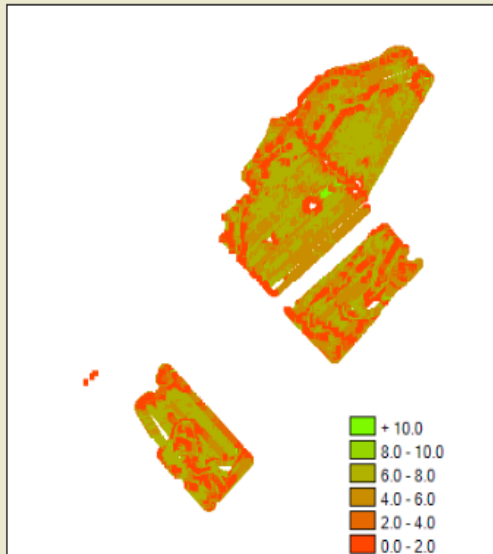
- Mapa de rendimiento: Conversión de datos de rendimiento (Log to Shp)

## Datos generales

Cultivo: CEBADA  
Fecha inicio: 21/12/2014  
02:28 p.m.  
Fecha fin: 26/12/2014  
05:49 p.m.  
Duración: 24:44 hs  
Superficie trabajada: 125.56 ha

## Rendimientos

Rinde humedo promedio: 5095 kg/ha  
Rinde seco promedio: 5345 kg/ha  
Peso total húmedo: 639703 kg  
Peso total seco: 671092 kg  
Ritmo: 5.05 ha/h  
Humedad: 7.09 %



Rendimineto seco normalizado [Ton/ha]

## Configuraciones

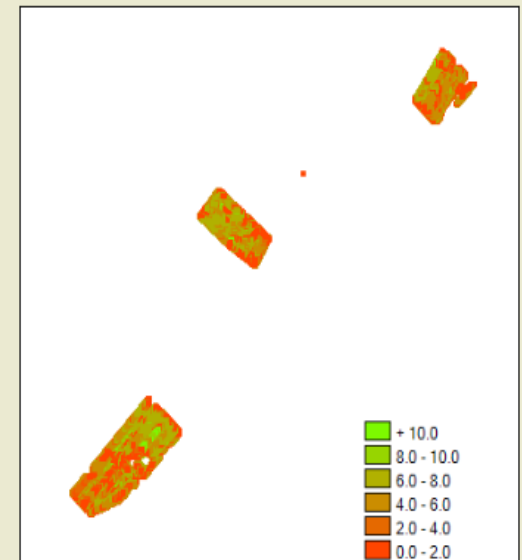
Ancho de trabajo: 8.80 m  
Cant. divisiones: 4  
Retardo ingreso grano: 17 s  
Distancia plataforma-GPS: 2 m  
Humedad almacenaje: 12.00 %

## Datos generales

Cultivo: TRIGO  
Fecha inicio: 26/12/2014  
06:51 p.m.  
Fecha fin: 03/01/2015  
04:06 p.m.  
Duración: 34:10 hs  
Superficie trabajada: 160.87 ha

## Rendimientos

Rinde humedo promedio: 4968 kg/ha  
Rinde seco promedio: 5504 kg/ha  
Peso total húmedo: 799145 kg  
Peso total seco: 885481 kg  
Ritmo: 4.73 ha/h  
Humedad: 3.20 %



Rendimineto seco normalizado [Ton/ha]

## Configuraciones

Ancho de trabajo: 8.40 m  
Cant. divisiones: 4  
Retardo ingreso grano: 17 s  
Distancia plataforma-GPS: 2 m  
Humedad almacenaje: 14.00 %

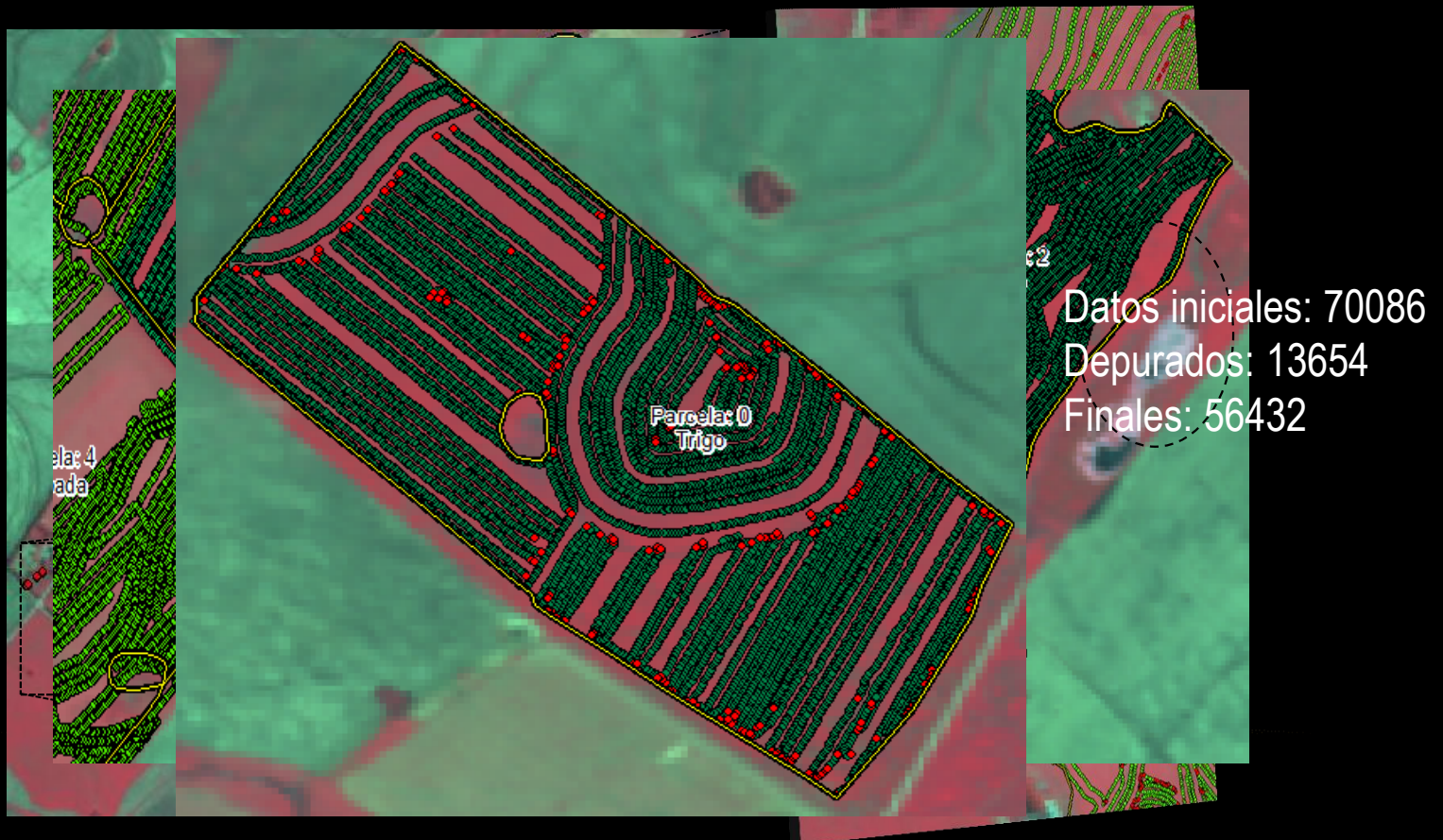
# PROCEDIMIENTO

- Datos de rendimiento por parcela

<b>Nomenclatura</b>	<b>Parcela</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Datos Rinde</b>	<b>Fecha de siembra</b>
36 a	0	Trigo	10624	29-07-14
17 a	2	Trigo	8300	25-07-14
31 a	3	Cebada	7973	04-07-14
17 b	4	Cebada	15445	30-06-14
Esperanza chica	5	Cebada	6096	26-07-14
31	6 y 7	Trigo	21648	28-07-14
<b>Total</b>			<b>70086</b>	

# PROCEDIMIENTO

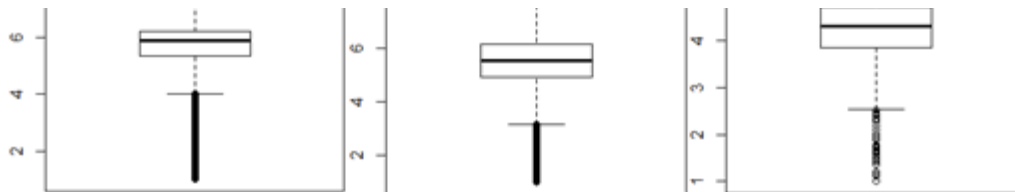
- Depuración preliminar de datos de rendimiento



# PROCEDIMIENTO

- Depuración Estadística de datos de rendimiento

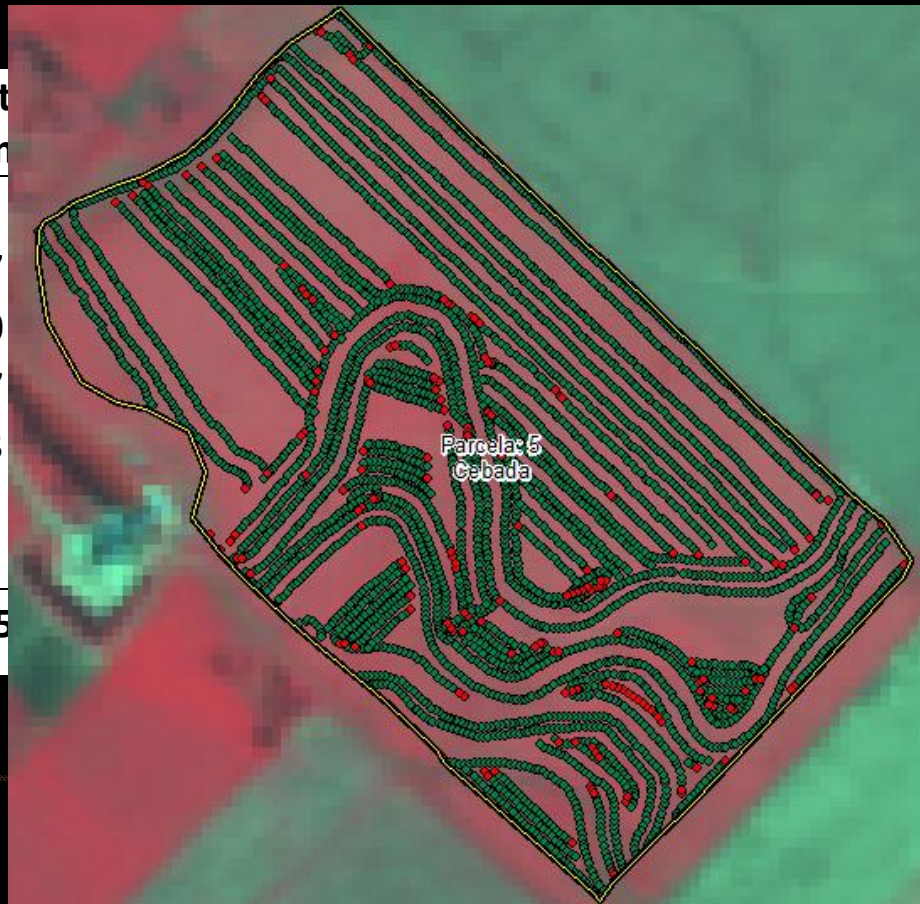
	Parcela 0	parcela 2	parcela 3	parcela 4			
Parcela	Datos	Media	Desviación Estándar	Extremo Mediana	Extremos Mínimo	Máximo	
0	8612	5.27	1.07	5.46	1	11.48	
2	6629	5.14	0.94	5.26	1.01	11.33	
3	6339	5.46	0.97	5.72	1.01	11.93	
4	12881	5.44	1.11	5.71	1.01	11.47	
5	4468	5.57	1.12	5.9	1	11.28	
6	16526	5.42	1.07	5.54	1.01	11.94	
7	977	4.31	0.94	4.32	1	7.24	
<b>Total</b>	<b>56432</b>						



# PROCEDIMIENTO

- Depuración Estadística de datos de rendimiento

Parcela	Valores At Extrem
0	26
2	187
3	200
4	517
5	193
6	87
7	5
<b>Total</b>	<b>1215</b>

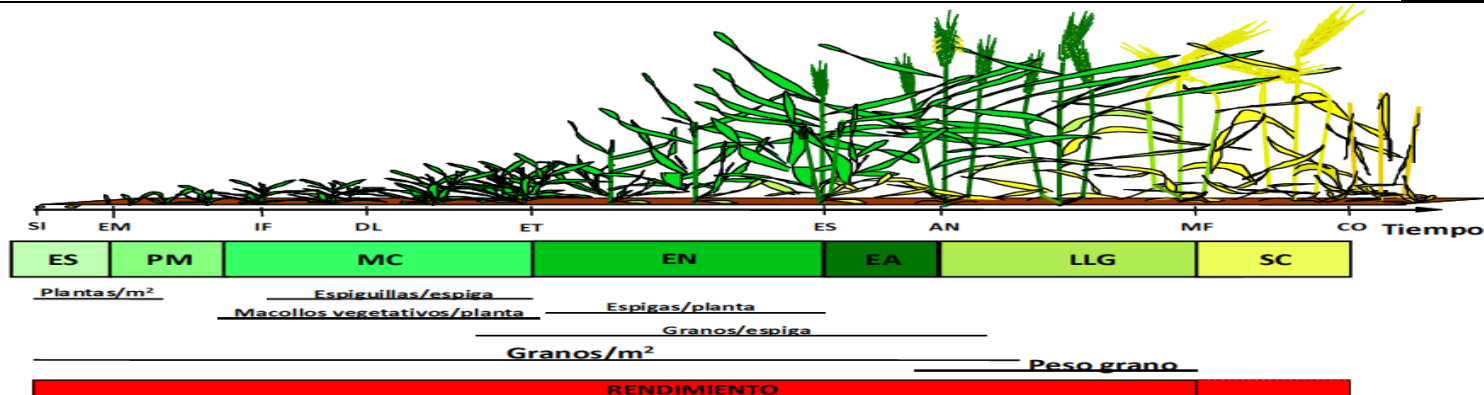


Parcela	Mínimo	Máximo
5	1.13	9.4
7	2.43	7.95
4	2.67	7.68
4	2.46	8.72
3	2.72	8.8
5	1.36	9.63
3	1.21	7.24

# PROCEDIMIENTO

- Correlación Rendimiento Vs NDVI

Cultivo	Parcela	Datos de Rinde	Cantidad de datos NDVI							
			Julio 28	Agosto 14	Septiembre 08	Octubre 16	Noviembre 17	Noviembre 26	Diciembre 03	Diciembre 12
Cebada	3	6139	619	627	627	619	624	626	627	625
	4	12281	1267	1284	1292	1274	1290	1293	1289	1285
	5	4275	430	429	431	430	430	430	430	431
Trigo	0	8586	819	826	828	829	833	834	835	833
	2	6125	611	612	614	612	624	615	616	617
	6	16439	1579	1588	1591	1587	-	1609	1609	1605
	7	972	112	112	112	112	-	112	112	112
<b>Total</b>		<b>56432</b>	<b>5437</b>	<b>5478</b>	<b>5495</b>	<b>5463</b>	<b>3801</b>	<b>5519</b>	<b>5518</b>	<b>5508</b>

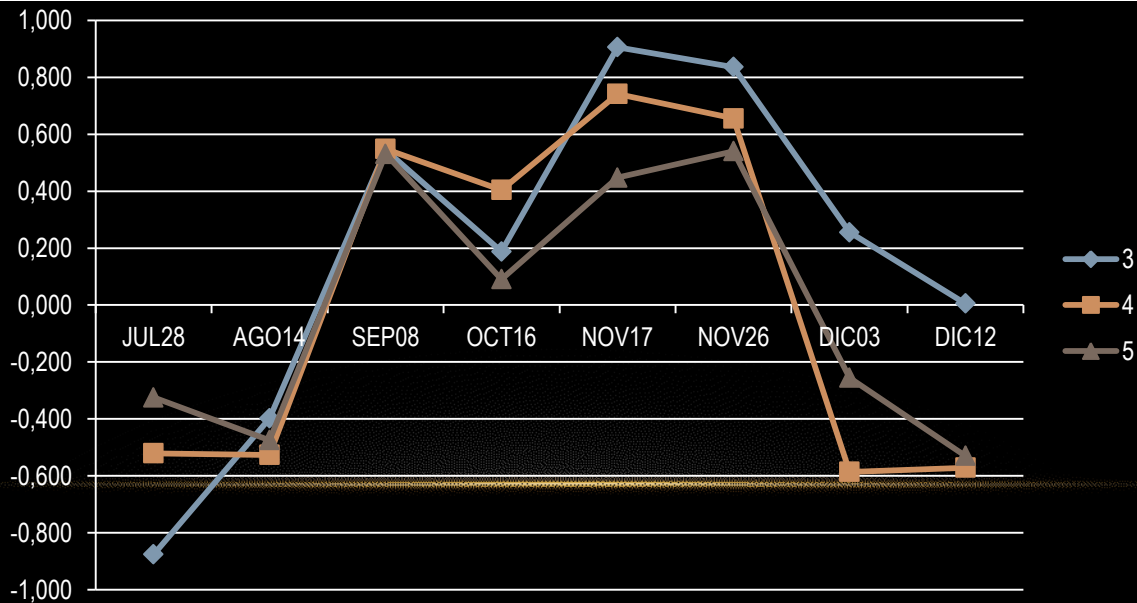


# PROCEDIMIENTO

- Correlación Rendimiento Vs NDVI

## Cebada

PARCELA	JUL28	AGO14	SEP08	OCT16	NOV17	NOV26	DIC03	DIC12
3	-0.876	-0.398	0.544	0.188	0.906	0.836	0.255	0.005
4	-0.521	-0.527	0.548	0.404	0.742	0.656	-0.586	-0.571
5	-0.324	-0.475	0.531	0.091	0.448	0.540	-0.256	-0.530

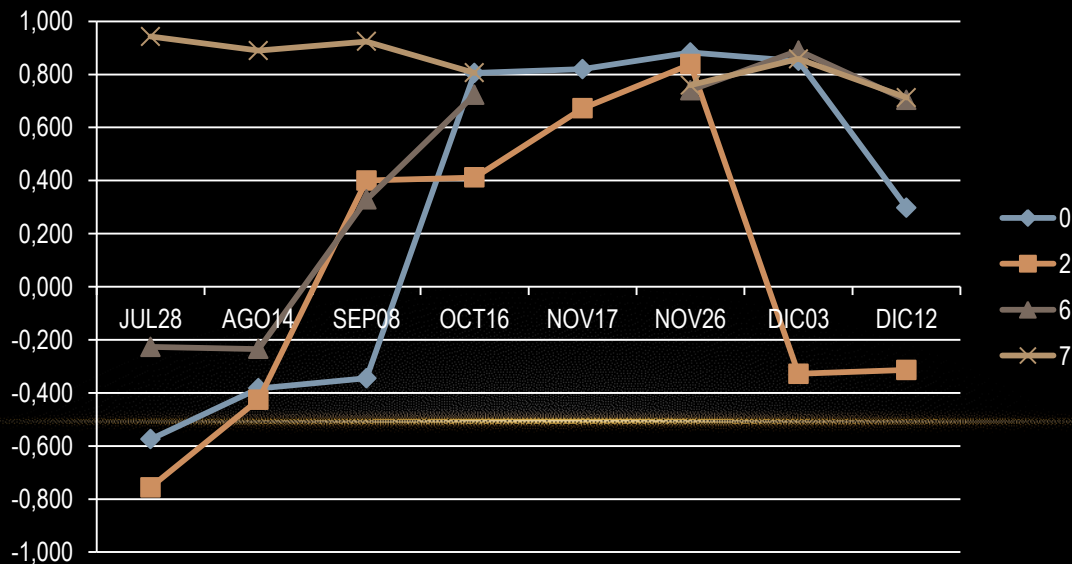


# PROCEDIMIENTO

- Correlación Rendimiento Vs NDVI

## Trigo

PARCELA	JUL28	AGO14	SEP08	OCT16	NOV17	NOV26	DIC03	DIC12
0	-0.575	-0.383	-0.345	0.805	0.819	0.882	0.850	0.297
2	-0.756	-0.426	0.400	0.412	0.672	0.838	-0.328	-0.314
6	-0.227	-0.235	0.328	0.723	-	0.740	0.890	0.703
7	0.943	0.890	0.924	0.806	-	0.759	0.858	0.712





# PROCEDIMIENTO

## Modelos de regresión espacial

- Mínimos Cuadrados Ordinarios

$$y = \beta X + \varepsilon$$

Parcela	Diciembre 03											
	TRIGO						CEBADA					
	0	2	6	6y7	7	Todas	3	4	3y4	5	Todas	
Dependent Variable :	Rinde	Rinde	Rinde	Rinde	Rinde	Rinde	Rinde	Rinde	Rinde	Rinde	Rinde	Rinde
Mean dependent var :	5.19	5.19	5.40	5.33	4.66	5.26	5.57	5.53	5.55	5.69	5.57	
S.D. dependent var :	0.90	0.58	0.82	0.87	0.79	0.83	0.57	0.63	0.61	0.59	0.61	
Number of Observations:	835	610	1548	1668	112	3113	609	1295	1904	432	2336	
Number of Variables :	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Degrees of Freedom :	833	608	1546	1666	110	3111	607	1293	1902	430	2334	
R-squared :	40.98%	0.53%	38.45%	39.97%	67.35%	29.87%	0.35%	0.00%	0.02%	1.36%	0.06%	
Adjusted R-squared :	40.90%	0.37%	38.41%	39.93%	67.05%	29.85%	0.18%	-0.08%	-0.04%	1.13%	0.02%	
Sum squared residual:	396.02	205.13	643.01	765.60	22.83	1521.24	199.07	517.27	717.69	146.28	872.62	
Sigma-square :	0.48	0.34	0.42	0.46	0.21	0.49	0.33	0.40	0.38	0.34	0.37	
S.E. of regression :	0.69	0.58	0.64	0.68	0.46	0.70	0.57	0.63	0.61	0.58	0.61	
Sigma-square ML :	0.47	0.34	0.42	0.46	0.20	0.49	0.33	0.40	0.38	0.34	0.37	
S.E of regression ML:	0.69	0.58	0.64	0.68	0.45	0.70	0.57	0.63	0.61	0.58	0.61	
F-statistic :	578.28	3.26	965.79	1109.13	226.86	1325.06	2.12	0.00	0.30	5.91	1.40	
Prob(F-statistic) :	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.98	0.59	0.02	0.24	
Log likelihood :	-873.37	-533.16	-1516.51	-1717.33	-69.85	-3302.60	-523.65	-1243.31	-1772.82	-379.07	-2164.52	
Akaike info criterion :	1750.75	1070.32	3037.01	3438.66	143.70	6609.21	1051.31	2490.62	3549.64	762.15	4333.04	
Schwarz criterion :	1760.20	1079.15	3047.70	3449.50	149.13	6621.29	1060.13	2500.96	3560.74	770.28	4344.55	

# PROCEDIMIENTO

## Modelos de regresión espacial

- Mínimos Cuadrados Ordinarios

$$y = \beta X + \varepsilon$$

Fecha	Cultivo	Parcela	Variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Probability		
Dic 03	Cebada	3	CONSTANT	0.24	0.56	0.43	0.67		
			NDVI	7.88	0.85	9.30	0.00		
		3y4	CONSTANT	3.83	0.75	5.12	0.00		
			NDVI	2.70	1.15	2.34	0.03		
		4	CONSTANT	3.97	0.99	4.03	0.00		
			NDVI	2.36	1.54	1.53	0.14		
		5	CONSTANT	2.77	1.24	2.23	0.04		
			NDVI	3.99	1.84	2.17	0.04		
		Dic 03	Trigo	0	CONSTANT	-4.03	0.65	-6.25	0.00
					NDVI	12.00	0.87	13.73	0.00
				2	CONSTANT	1.71	0.89	1.91	0.07
					NDVI	4.24	1.17	3.61	0.00
				6	CONSTANT	-1.30	0.22	-5.79	0.00
					NDVI	8.85	0.30	29.34	0.00
6y7	CONSTANT			-1.55	0.31	-5.01	0.00		
	NDVI			9.18	0.43	21.58	0.00		
7	CONSTANT			-1.94	0.74	-2.61	0.02		
	NDVI			9.84	1.09	8.99	0.00		

# PROCEDIMIENTO

## Modelos de regresión espacial

- Mínimos Cuadrados Ordinarios

$$y = \beta X + \varepsilon$$

	0			2			6			6y7			7			Todas			
	DF	VALUE	PROB	DF	VALUE	PROB	DF	VALUE	PROB	DF	VALUE	PROB	DF	VALUE	PROB	DF	VALUE	PROB	
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER		29.56			30.00			26.60			24.88			21.23				26.37	
<b>TEST ON NORMALITY OF ERRORS</b>																			
Jarque-Bera	2	533.33	0.00	2	33.13	0.00	2	610.75	0.00	2	2183.80	0.00	2	0.69	0.71	2	1272.43	0.00	
<b>DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY</b>																			
<b>RANDOM COEFFICIENTS</b>																			
Breusch-Pagan test	1	11.70	0.00	1	88.50	0.00	1	15.14	0.00	1	18.89	0.00	1	2.07	0.15	1	1.07	0.30	
Koenker-Bassett test	1	4.64	0.03	1	62.38	0.00	1	7.08	0.01	1	5.57	0.02	1	2.40	0.12	1	0.48	0.49	
<b>SPECIFICATION ROBUST TEST</b>																			
White	2	12.68	0.00	2	65.65	0.00	2	6.79	0.03	2	8.29	0.02	2	3.10	0.21	2	31.11	0.00	
<b>DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE</b>																			
TEST	MI/DF	VALUE	PROB	MI/DF	VALUE	PROB	MI/DF	VALUE	PROB	MI/DF	VALUE	PROB	MI/DF	VALUE	PROB	MI/DF	VALUE	PROB	
Moran's I (error)	0.3267	18.17	0.00	0.50	23.63	0.00	0.44	32.93	0.00	0.41	32.40	0.00	0.19	3.71	0.00	0.46	48.62	0.00	
Lagrange Multiplier (lag)	1	310.55	0.00	1.00	532.64	0.00	1.00	852.42	0.00	1.00	781.31	0.00	1.00	0.63	0.43	1.00	1943.60	0.00	
Robust LM (lag)	1	20.86	0.00	1.00	13.50	0.00	1.00	0.03	0.87	1.00	1.58	0.21	1.00	4.08	0.04	1.00	0.16	0.69	
Lagrange Multiplier (error)	1	322.05	0.00	1.00	542.71	0.00	1.00	1070.92	0.00	1.00	1037.00	0.00	1.00	11.11	0.00	1.00	2349.88	0.00	
Robust LM (error)	1	32.36	0.00	1.00	23.57	0.00	1.00	218.53	0.00	1.00	257.27	0.00	1.00	14.56	0.00	1.00	406.45	0.00	
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	342.92	0.00	2.00	556.21	0.00	2.00	1070.95	0.00	2.00	1038.58	0.00	2.00	15.19	0.00	2.00	2350.04	0.00	

# PROCEDIMIENTO

## Modelos de regresión espacial

- Spatial Lag

$$y = \rho W y + X \beta + \varepsilon$$

- Spatial Error

$$y = X \beta + u$$
$$u = \lambda W u + \varepsilon$$

# RESULTADOS

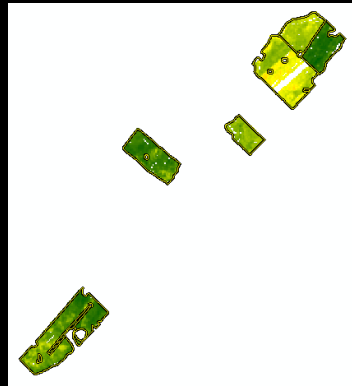
- Manejo y corrección de imágenes satelitales
- Obtención y estandarización de NDVI
- Conversión y depuración de mapas de rendimiento mediante análisis estadístico
- Generación de modelos de regresión clásicos y espacial



# RESULTADOS



NDVI Nov 17

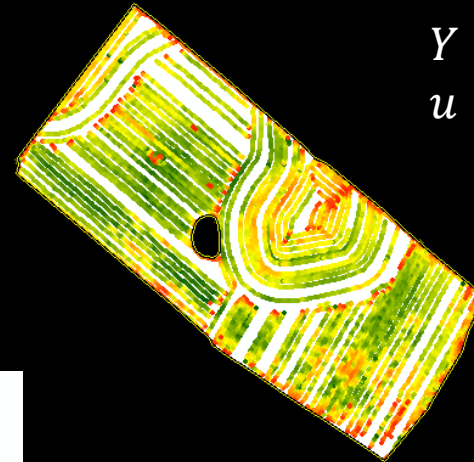


NDVI Dic 03



Modelo Spatial error  
Parcela 3 Nov 17

$$Y = -4.29 + X * 12.56$$
$$u = 0.48 * Wu + \varepsilon$$



Modelo Spatial error  
Parcela 6 Dic 03

$$Y = -1.51 + X * 8.75$$
$$u = 0.78 * Wu + \varepsilon$$

# CONCLUSIONES

- Estructuración de bases de datos iniciales
- Depuración espacial y estadística de la información geográfica
- Generación de modelos que permitan predecir la producción agrícola a partir de NDVI en zonas donde no se posee información

**MUCHAS GRACIAS!**