

**EVOLUCIÓN ESPACIAL DE LA OCUPACIÓN DE LOS RESIDUOS  
MINEROS EN UN SECTOR DEL DEPARTAMENTO SARMIENTO,  
PROVINCIA DE SAN JUAN, ARGENTINA**

Spatial evolution of the occupation of Mining Waste of  
a sector Department Sarmiento,  
Province of San Juan

Mirta Mariel Negrelli, María Valentina Soria y Mónica Susana Ramírez.  
Instituto de Investigaciones Mineras y Departamento Ingeniería de Minas,  
Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de San Juan – Argentina.  
mnegrelli@unsj.edu.ar

Recibido: Junio de 2014

Aceptado: Agosto de 2014

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo fue determinar la evolución espacial de la ocupación de residuos mineros producto de la actividad calera en un área del Departamento Sarmiento, Provincia de San Juan, Argentina.

En este caso se estudia el Distrito Minero Los Berros, cuya principal actividad económica es la extracción e industrialización de la piedra caliza para la obtención de cales.

Este distrito se ha caracterizado históricamente por constituir un importante polo calero industrial, iniciándose a partir de la década de 1940. Desde esa época fue aumentando progresivamente su importancia y actualmente el 70% de la producción de calcáreos de San Juan proviene de esta localidad.

A lo largo de este lapso se ha producido una acumulación constante de residuos mineros, procedentes tanto de las canteras de explotación como de las plantas de tratamiento, produciendo impactos sobre el suelo y el paisaje. Para dimensionar ese impacto se realizó un análisis de su evolución espacial entre los años 1987 y 2010 y se proyectó su comportamiento al año 2022, considerando que se mantendrán las actuales condiciones de producción.

La metodología aplicada consistió en un estudio multitemporal utilizando imágenes de satélites de los años 1987, 1994, 1999, 2005 y 2010. El procesamiento digital de estas imágenes permitió identificar la evolución espacial de las manchas de residuos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo concluir que ha producido un avance permanente de las áreas ocupadas por residuos, con una consecuente modificación del ambiente en la zona atribuible a un importante aumento de la producción.

**ABSTRACT:** The aim of this study was to determine the spatial evolution of the occupation of mining waste from lime industry in an area of Sarmiento Department, San Juan Province, Argentina.

In this case the Mining District "Los Berros", whose main economic activity is the extraction and industrialization of limestone to obtain limes was studied.

This district has historically been characterized by constitute an important industrial pole of limes, starting from the 1940s. Since that time the lime industry has gradually increased its importance and currently 70% of the production of calcareous from San Juan province comes from this location.

Throughout this period there has been a steady accumulation of mining waste from both exploitation of quarries and processing plants producing impacts on soil and

landscape. To measure this impact an analysis of their spatial evolution between 1987 and 2010 was carried out and their behavior was projected to 2022, considering that the current production conditions will be maintained in time.

The applied methodology consisted of a study using multitemporal satellite images for the years 1987, 1994, 1999, 2005 and 2010. The images digital processing allowed to identify the spatial evolution of the waste spots.

According to the results obtained it was concluded that there has been a permanent advance of the areas occupied by waste, with consequent modification of the environment in the area attributable to a significant increase of limes production.

PALABRAS CLAVES: Cales – Residuos Mineros – Evolución

KEY WORDS: Lime – Mining Waste – Evolution

## INTRODUCCIÓN

La Localidad de Los Berros, ubicada al Oeste del Departamento Sarmiento (Figura 1), es uno de los centros caleros más importantes de la Provincia de San Juan, Argentina. Dista de la capital provincial aproximadamente 80 km en dirección SSO y está emplazado a 700 m.s.n.m.

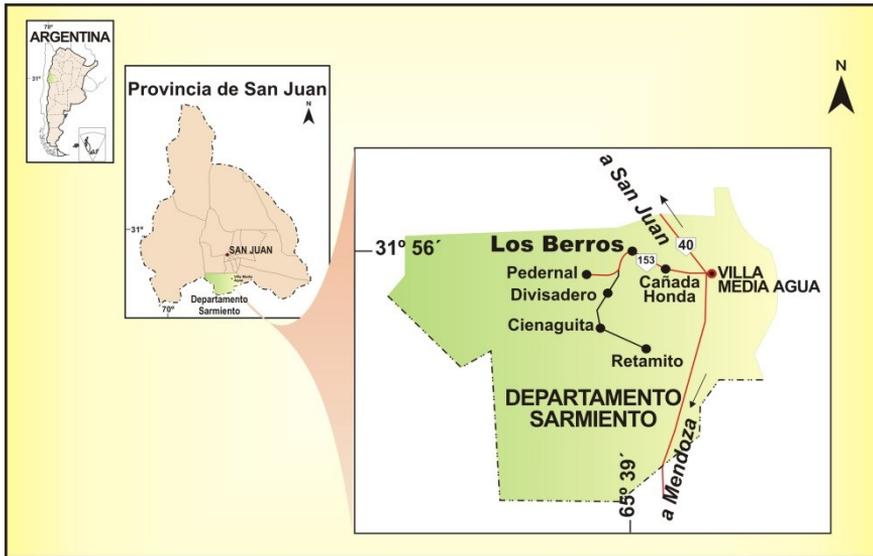


Figura 1: Ubicación del área de estudio

La minería es la principal actividad productiva de esta zona y se basa principalmente en la extracción de la piedra caliza y su industrialización para obtener cal viva e hidratada y carbonato de calcio precipitado. En los últimos años también se desarrolla una importante actividad agrícola, especialmente dedicada a cultivos de vides y olivos.

El Distrito Minero Los Berros se caracteriza por la presencia del Cerro Pedernal de Los Berros y Cerro del Medio (Figura 2). Litológicamente este cordón montañoso está integrado por calizas y dolomías de edad Ordovícica que constituyen la materia prima objeto de la explotación minera (Ortiz y Zambrano, 1981). Adosado a este cordón, se encuentran las bajadas pedemontanas y abanicos aluviales (antiguos y modernos), constituidos por sedimentos aluviales detríticos de tamaños variados de edad Cuaternaria.

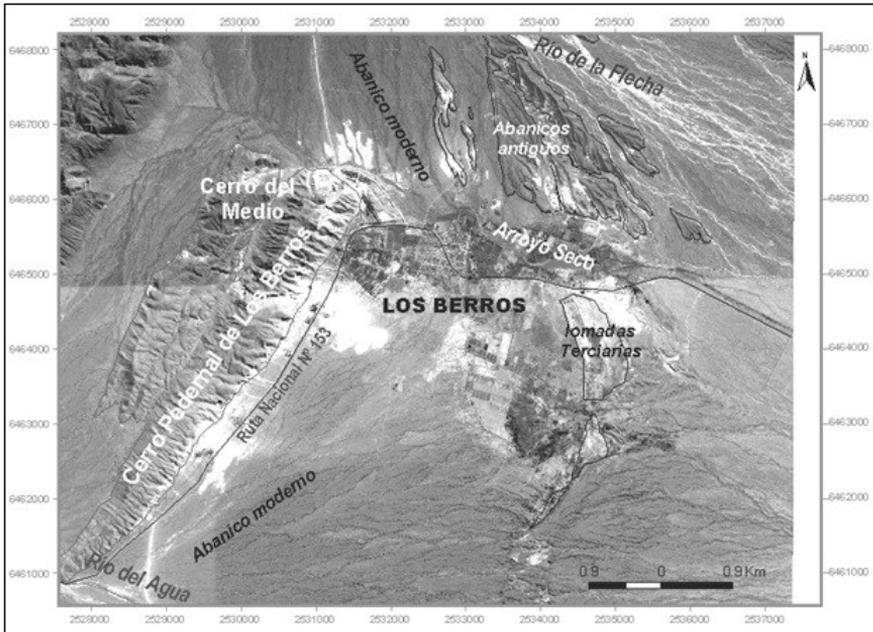


Figura 2: Ubicación del área de estudio

Los Berros históricamente se ha caracterizado por constituir un polo calero industrial. Su actividad se inicia a partir de la década de 1940, cuando se produce una gran demanda de cal y materiales para la construcción, utilizados en la reconstrucción edilicia de San Juan después del terremoto del año 1944. Más tarde se incrementó fuertemente la actividad minera extractiva de calizas y su industrialización, debido a que la cal comenzó a ser requerida por diversas industrias como la construcción, minera, siderúrgica, química, del petróleo, agricultura, en las papeleras, azucareras, curtiembres, para la potabilización del agua, entre otras. Esto explica su demanda y expansión creciente, que permite inferir una mayor producción a mediano y largo plazo.

De esta forma, la producción de cales en Los Berros fue aumentando progresivamente su importancia y, actualmente, el 70% de la producción de calcáreos de San Juan proviene del mencionado distrito.

Este aumento de la producción trajo como consecuencia la acumulación constante de residuos mineros, procedentes tanto de las canteras de explotación como de las plantas de tratamiento, produciendo impactos negativos sobre el suelo y el paisaje.

Por lo antes expuesto, se planteó como objetivo analizar la evolución espacial de la ocupación de los residuos mineros, producto de la actividad calera en este sector del departamento Sarmiento. También se estimó su proyección hasta el año 2022, considerando que se mantendrán las actuales condiciones de producción. Este estudio se llevó a cabo analizando imágenes de satélites de los años 1987, 1994, 1999, 2005 y 2010.

## **METODOS Y DESARROLLO**

La metodología utilizada se basó en trabajo de gabinete, realizado en dos etapas consecutivas. La primera de carácter descriptivo, en la cual se profundizó en el estudio de la evolución de la producción de cales en Los Berros. Para ello se recurrió a datos secundarios, históricos y actuales, correspondientes a estadísticas mineras de la provincia, del departamento y del sector productivo de la zona.

La segunda etapa, estuvo enfocada en la teledetección y utilización de SIG como herramientas para la identificación y cuantificación de las áreas con residuos mineros. Esta etapa involucró los siguientes pasos:

- a) Pre-procesamiento (incluye las técnicas de mejoramiento radiométrico y geométrico).
- b) Interpretación visual.
- c) Procesamiento digital de imágenes.
- d) Implementación de un SIG (Sistema de Información Geográfica), que permitió cuantificar la superficie ocupada por los residuos mineros para los diferentes años. Esto permitió realizar la cartografía temática correspondiente al área de estudio, en donde se muestra la evolución de dichos residuos producto de la actividad minera.
- e) Estimación estadística del comportamiento del avance de los residuos mineros para el año 2022.

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat 5 TM, de path/row 232/081 de las siguientes fechas: 10-12-1987, 27-01-1994, 03-12-1999, 25-11-2005 y 25-12-2010. La imagen del año 1999 fue obtenida gratuitamente en el Global Land Cover Facility (GLCF) y fue utilizada de base para la georreferenciación. Las imágenes de los años 1987, 1994, 2005 y 2010 se obtuvieron en el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-Brasil).

Se utilizó el software ENVI 4.5 para el preprocesamiento, interpretación y también para el procesamiento digital de imágenes de satélite. El programa ArcView 3.3 se aplicó para elaborar la base de datos de la información obtenida, confeccionar los escenarios futuros y obtener los mapas temáticos finales.

Para la realización de este trabajo se empleó un modelo cartográfico, que permite la organización de las actividades y una mejor planificación de los procesos de análisis con el que se tratará la información, en función a los objetivos que se desean cumplir. Este modelo (Figura 3) indica los pasos que se siguieron para obtener una cartografía final, en donde se encuentran representadas las manchas de residuos y cómo han ido evolucionando a través de los años (Negrelli, 2013).



Figura 3: Modelo Cartográfico

### Primera Etapa: Evolución de la producción de cales en Los Berros

Este análisis fue realizado con el objetivo de obtener una visión sobre el comportamiento de la producción de materiales calcáreos vinculados a la zona de estudio, de manera de relacionarlos con la generación de los residuos mineros que origina esta actividad.

La provincia de San Juan posee tres distritos caleros importantes: un distrito correspondiente al Departamento Jáchal, el segundo en el

Departamento Albardón y el tercero, correspondiente a la localidad de Los Berros (Departamento Sarmiento). La Tabla 1 muestra los valores de producción de cales para cada uno de ellos, durante el periodo comprendido entre los años 2000 y 2009.

La comparación de los valores indica que aproximadamente entre el 60 y 70% de la producción de cales de la provincia de San Juan pertenece a Los Berros.

En la Tabla 1 también se puede observar una producción creciente de cales, lo que se debería ver reflejado en un crecimiento constante de la mancha de los residuos mineros.

Tabla 1: Producción de cales en San Juan y por Distritos (tn)

AÑO	Jáchal	Albardón	Los Berros	Total San Juan
2000	61.500	217.521	518.182	797.203
2001	60.710	196.404	488.596	745.710
2002	43.390	220.820	535.980	800.190
2003	44.870	241.099	673.201	959.170
2004	13.552	302.468	744.032	1.060.052
2005	18.346	368.633	899.913	1.286.892
2006	40.518	400.335	1.048.028	1.488.881
2007	62.857	399.370	1.248.473	1.710.700
2008	46.789	395.393	1.252.218	1.694.400
2009	62.088	348.446	1.143.716	1.554.250
2010	Sin información	Sin información	1.100.000	1.719.884

*Fuente: Estadísticas de la Provincia de San Juan, Información de productores (Cabanay, 2010)*

A partir del año 2000 la actividad minera de Los Berros se orienta mayoritariamente a la producción de cales, siendo ésta actividad la mayor generadora de residuos mineros.

## **Segunda Etapa: Estimación de los Residuos Mineros**

### *a) Pre-procesamiento*

Esta fase involucra en primera instancia la corrección radiométrica, que permite llevar el valor de los niveles digitales de los píxeles a valores de reflectancia; de esta forma se pueden evaluar cambios temporales y comparar correctamente píxel a píxel.

En segunda instancia se procedió a la corrección geométrica, es decir la georreferenciación de las imágenes a utilizar, tomando de referencia la imagen de satélite de 1999. El sistema de proyección utilizado corresponde a Gauss Krüger faja 2, Datum WGS 84 (Negrelli, 2013).

### *b) Interpretación Visual y Análisis Espectral de las Coberturas del área de estudio*

Se realizó una combinación falso color compuesta (RGB: 5-4-2) en cada una de las imágenes correspondientes a los distintos años (Figura 4).

La selección de esta combinación permitió identificar los cursos de agua en colores azules, la vegetación en tonos verdes, el suelo en tonos rojizos y en colores blancos los residuos mineros y las áreas con fenómenos de salinización.

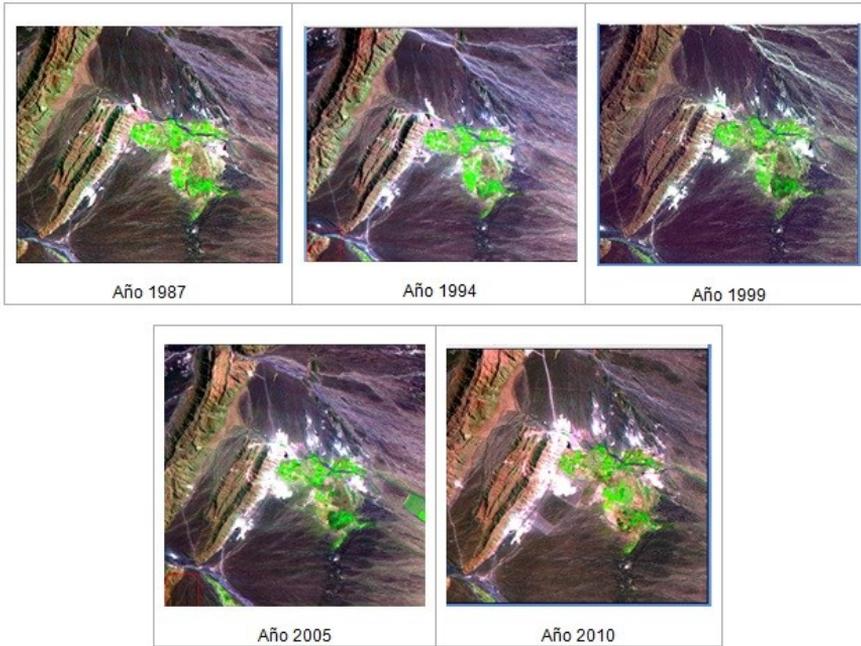


Figura 4: Evolución de las diferentes coberturas en imágenes satelitales Landsat

Los cursos de **agua** se manifiestan en colores azules, ya que se ha utilizado la banda 2 del visible en el canal azul. La red de drenaje del área de estudio es de carácter temporaria. Sin embargo las imágenes obtenidas corresponden al mes de diciembre, que pertenece al periodo de lluvias torrenciales, por lo que se activan los cursos hídricos. Por este motivo en algunas de ellas se puede identificar la presencia de agua, como el caso del Arroyo Seco (Figura 2) que escurre en dirección O-E.

En cuanto a la **vegetación**, tiene su máxima reflectividad en la banda 4, de forma tal que al ser colocada en el canal verde, permite observar a los diversos tipos de cobertura vegetal en este tono. Las áreas cultivadas se identifican por su división parcelaria y se encuentran ubicadas en el centro de la imagen. La vegetación natural está localizada sobre las quebradas de los cordones montañosos, como así también en las áreas de mayor humedad, relacionadas a niveles freáticos altos.

Los **suelos** presentan una firma espectral constante y ascendente, a valores de infrarrojo medio (SWIR). De esta forma, ubicando la banda 5 en el canal rojo, se puede visualizar en tonos rojizos al sector montañoso y en tonos marrones oscuros el pie de monte.

Los **residuos sólidos mineros** producto de la actividad calera, para esta combinación se identifican en colores blancos.

La presencia de **sedimentos finos de limos arcillosos con contenidos de salinidad** presenta en la imagen una similitud visual a los residuos mineros. Por ello y para poder diferenciarlos, se analizaron las firmas espectrales de ambas coberturas (Figuras 5 a 9).

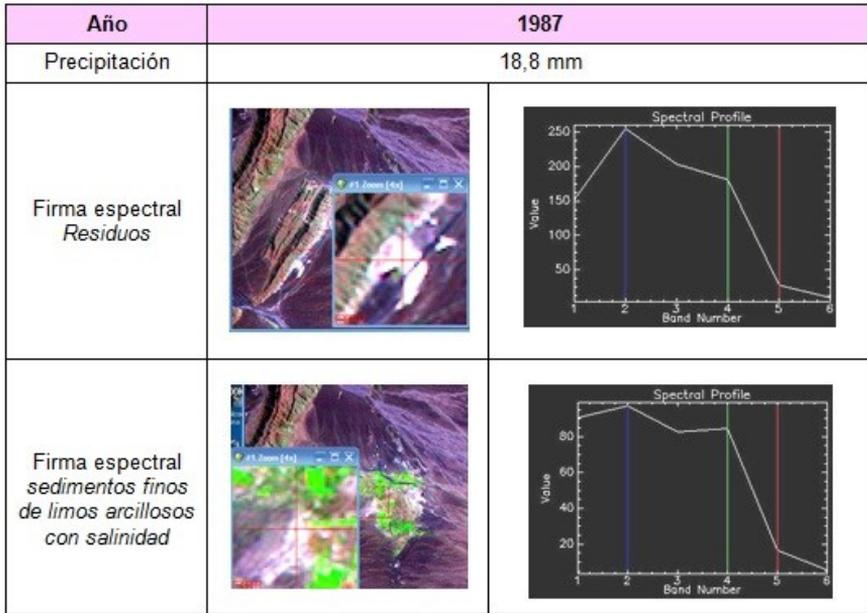


Figura 5: Comparación entre las firmas espectrales de los residuos mineros y los sedimentos finos de limos arcillosos con contenidos salinos. Año 1987

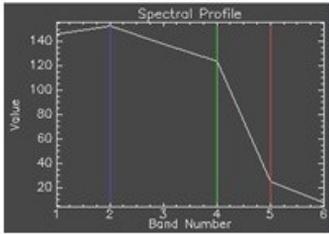
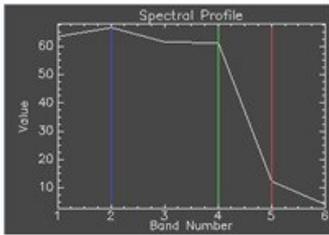
Año	1994															
Precipitación	2 mm															
Firma espectral <i>Residuos</i>		 <table border="1"> <caption>Spectral Profile Data for Mining Residues (1994)</caption> <thead> <tr><th>Band Number</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>140</td></tr> <tr><td>2</td><td>145</td></tr> <tr><td>3</td><td>130</td></tr> <tr><td>4</td><td>120</td></tr> <tr><td>5</td><td>20</td></tr> <tr><td>6</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>	Band Number	Value	1	140	2	145	3	130	4	120	5	20	6	10
Band Number	Value															
1	140															
2	145															
3	130															
4	120															
5	20															
6	10															
Firma espectral <i>sedimentos finos de limos arcillosos con salinidad</i>		 <table border="1"> <caption>Spectral Profile Data for Fine Silty Clays with Salinity (1994)</caption> <thead> <tr><th>Band Number</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>60</td></tr> <tr><td>2</td><td>65</td></tr> <tr><td>3</td><td>60</td></tr> <tr><td>4</td><td>60</td></tr> <tr><td>5</td><td>10</td></tr> <tr><td>6</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>	Band Number	Value	1	60	2	65	3	60	4	60	5	10	6	5
Band Number	Value															
1	60															
2	65															
3	60															
4	60															
5	10															
6	5															

Figura 6: Comparación entre las firmas espectrales de los residuos mineros y los sedimentos finos de limos arcillosos con contenidos salinos. Año 1994

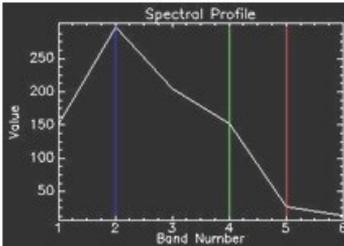
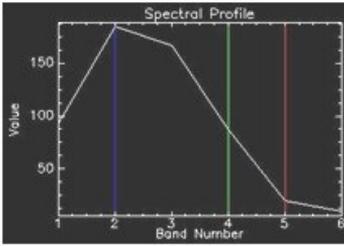
Año	1999															
Precipitación	43,4 mm															
Firma espectral <i>Residuos</i>		 <table border="1"> <caption>Spectral Profile Data for Mining Residues (1999)</caption> <thead> <tr><th>Band Number</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>150</td></tr> <tr><td>2</td><td>240</td></tr> <tr><td>3</td><td>200</td></tr> <tr><td>4</td><td>150</td></tr> <tr><td>5</td><td>20</td></tr> <tr><td>6</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>	Band Number	Value	1	150	2	240	3	200	4	150	5	20	6	10
Band Number	Value															
1	150															
2	240															
3	200															
4	150															
5	20															
6	10															
Firma espectral <i>sedimentos finos de limos arcillosos con salinidad</i>		 <table border="1"> <caption>Spectral Profile Data for Fine Silty Clays with Salinity (1999)</caption> <thead> <tr><th>Band Number</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>100</td></tr> <tr><td>2</td><td>170</td></tr> <tr><td>3</td><td>160</td></tr> <tr><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>5</td><td>20</td></tr> <tr><td>6</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>	Band Number	Value	1	100	2	170	3	160	4	100	5	20	6	10
Band Number	Value															
1	100															
2	170															
3	160															
4	100															
5	20															
6	10															

Figura 7: Comparación entre las firmas espectrales de los residuos mineros y los sedimentos finos de limos arcillosos con contenidos salinos. Año 1999

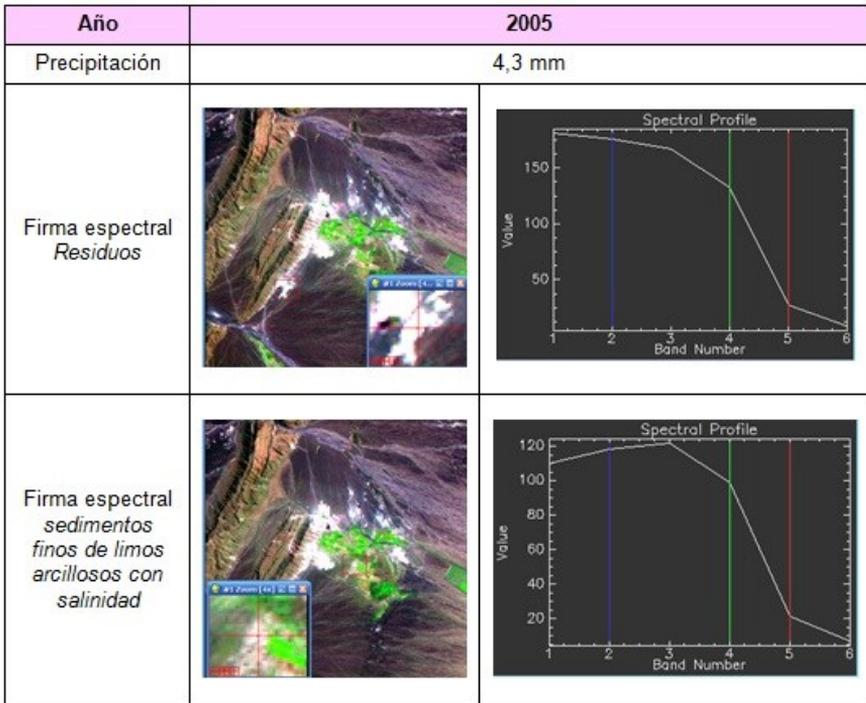


Figura 8: Comparación entre las firmas espectrales de los residuos mineros y los sedimentos finos de limos arcillosos con contenidos salinos. Año 2005

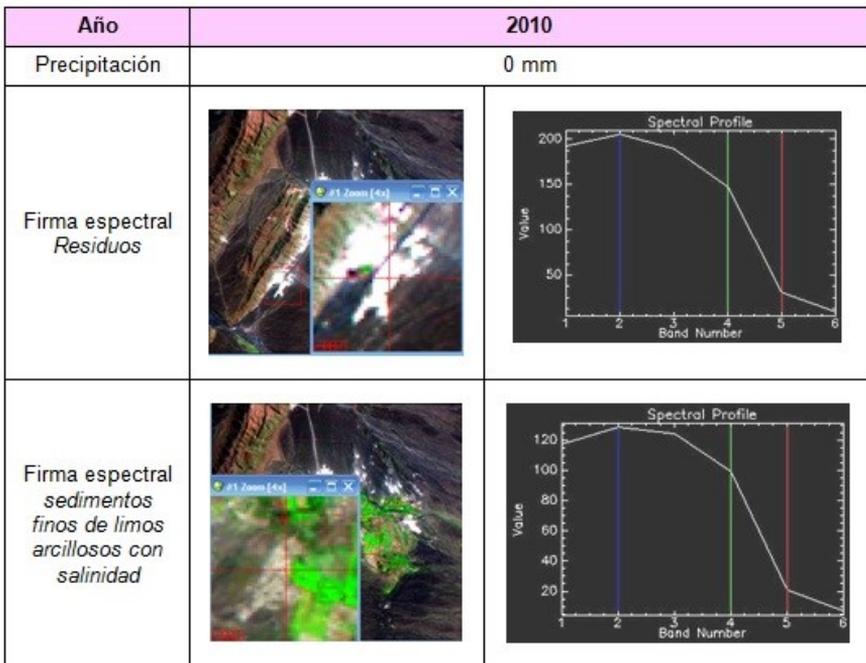


Figura 9: Comparación entre las firmas espectrales de los residuos mineros y los sedimentos finos de limos arcillosos con contenidos salinos. Año 2010

En base al análisis de las firmas espectrales, se puede observar que los residuos mineros tienden a presentar en la banda 3 de las imágenes satelitales de los años considerados, menor reflectancia espectral que las áreas constituidas por sedimentos arcillosos salinos. Esta banda es la que permite la diferenciación espectral entre ambas coberturas (sedimentos finos de limos arcillosos con contenidos salinos y residuos mineros).

Las variaciones en el trazado de las curvas espectrales para los cinco años están influenciadas por la presencia de humedad, vinculado a las precipitaciones típicas que pueden originarse en la época estival (Tabla 2).

Esto se refleja con mayor claridad para el año 1999 (Figura 7), en donde el total de precipitaciones para el mes de diciembre es de 43,4 mm; provocando una baja reflectividad de los residuos mineros, en la banda 3, debido a la humedad contenida en ellos.

Tabla 2: Datos Estadísticos Agrometeorológicos

PARÁMETROS	1987	1994	1999	2005	2010
Precipitación (mm) del mes en que fue tomada la imagen satelital	18,8	2	43,3	4,3	0

Fuente: INTA (2011)

En la imagen satelital de alta resolución espacial correspondiente al año 2011, se diferenciaron los sectores con residuos mineros producto de la actividad calera, de las áreas con la presencia de sedimentos finos de limos arcillosos con salinidad (Figura 10).

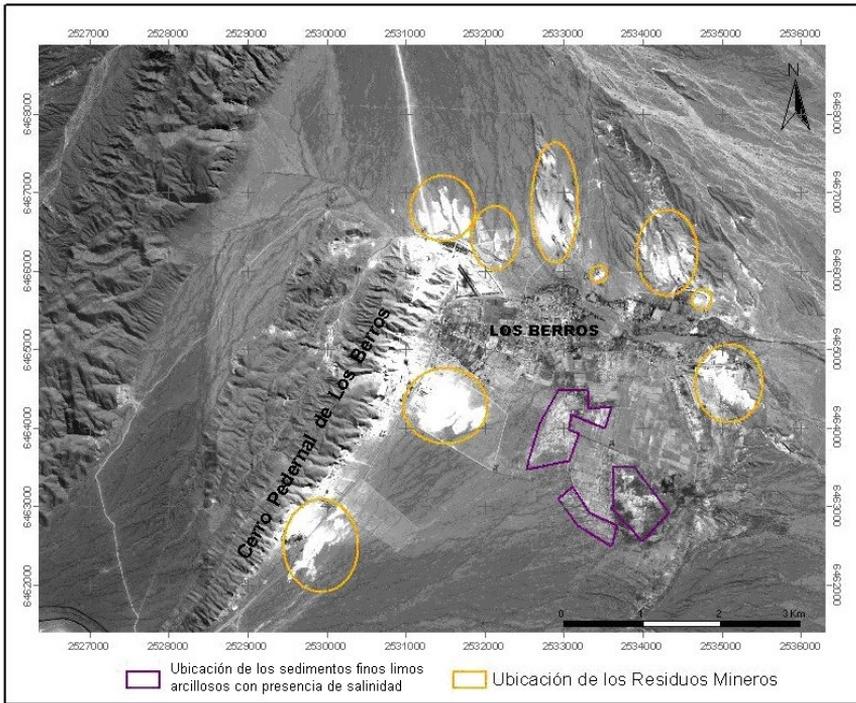


Figura 10: Ubicación de los sectores con residuos mineros y de las áreas de sedimentos finos limos arcillosos, con contenidos salinos

### c) Procesamiento digital de imágenes

Se realizó una *clasificación supervisada* que consiste en “un proceso de extracción de información de las imágenes para reconocer patrones y objetos homogéneos, que posibilitan la construcción de mapas de la superficie terrestre, diferenciando clases o grupos cuyos miembros tengan ciertas características en común” (RSI, 2004).

La clasificación supervisada que se realizó en este trabajo tuvo en cuenta una fase de entrenamiento, que consiste en la selección de muestras o áreas de interés. En este caso se identificaron dos tipos de áreas:

- 1) Áreas con *residuos* propiamente dichos.
- 2) Áreas de *no residuos*, es decir el resto de la imagen.

Esta clasificación dio como resultado, para cada uno de los años en estudio, una imagen en donde se identificaron tres clases:

- Clase 1: residuos (color rojo)
- Clase 2: no residuos (color verde)
- Clase 3: píxeles no clasificados (color negro) que se identificaron como las áreas de transición o halos alrededor de las áreas de los residuos.

En la Figura 11 se puede observar la clasificación supervisada correspondiente a cada uno de los años estudiados. De esta manera, en las imágenes se pudieron delimitar las áreas propias de residuos, las que posteriormente fueron relevadas mediante reconocimiento de campo (Fotos 1 y 2).

Los residuos mineros se localizan principalmente sobre el flanco oriental del Cerro Pedernal de Los Berros, con un aumento paulatino de las manchas desde el año 1987 hasta el 2010.

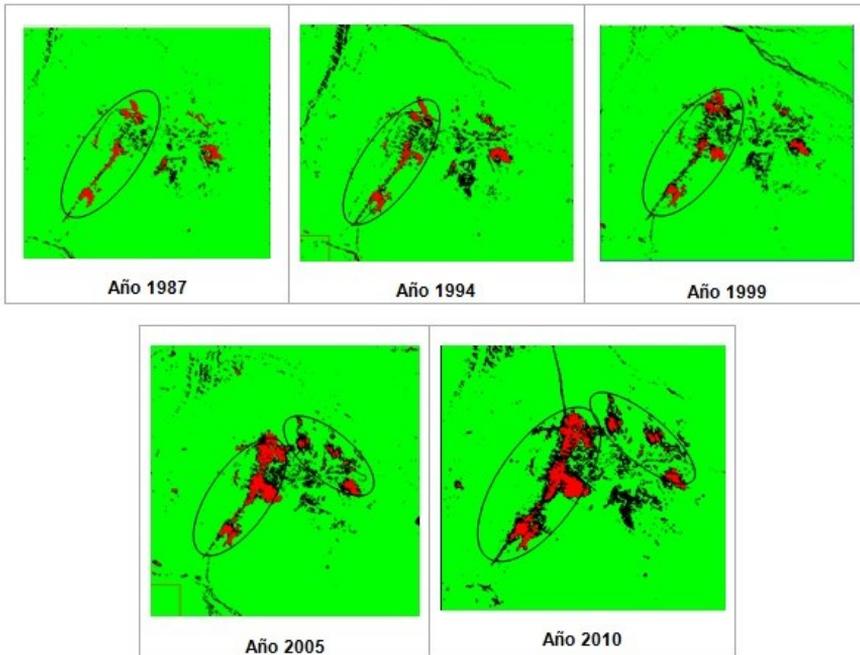


Figura 11: Evolución de las diferentes coberturas en imágenes satelitales Landsat 5

A partir de la imagen del año 1999, se pueden apreciar nuevas manchas en el sector Noreste, que van creciendo progresivamente hasta alcanzar su mayor tamaño en el año 2010.



*d) Cuantificación y análisis de la evolución de la mancha de residuos mineros*

Las imágenes clasificadas fueron convertidas a formato vectorial para evaluar cuantitativamente el avance de la superficie ocupada por los residuos.

Se utilizaron procedimientos SIG (software Arcview 3.3) para conocer su comportamiento espacial (avances), los que permiten representar, visualizar, consultar y analizar la información obtenida de las imágenes satelitales, analizando y cuantificando la evolución de la mancha de residuos mineros.

Para ello se tomó en cuenta solamente la Clase 1, integrada tanto por los residuos propiamente dichos como por las áreas de canteras ubicadas sobre el flanco oriental del cerro.

En base a la geomorfología de la zona se identificó el límite entre canteras y escombreras, de manera de poder discriminar y seleccionar aquellos elementos que corresponden a los residuos mineros, descartando las áreas de canteras.

En la Figura 12 se muestra la evolución de los residuos mineros (Clase 1), evidenciando un crecimiento constante visualizado en la escala cromática para los diferentes años.

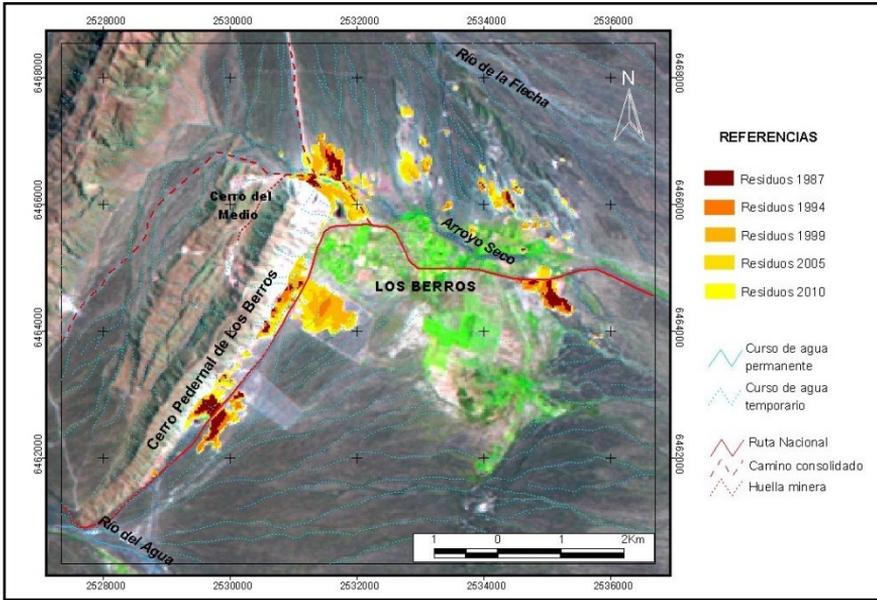


Figura 12: Evolución de los residuos mineros para los diferentes años

Los datos obtenidos para los cinco años en estudio muestran el crecimiento de la superficie ocupada por residuos (Tabla 3) y el crecimiento entre períodos (Tabla 4).

Tabla 3: Superficie ocupada por los residuos mineros en cada uno de los años en estudio

Fuente	Año	Superficie de residuos mineros (ha) *
Landsat 5 TM path/row 232/081	1987	41,18
	1994	60,17
	1999	129,17
	2005	173,66
	2010	216,63

\* Cálculo obtenido por el software Arc View 3.3

Tabla 4: Crecimiento de la superficie entre períodos

Período	Crecimiento entre periodo (ha)
1987 - 1994	18,99
1994 - 1999	69,00
1999 - 2005	44,49
2005 - 2010	42,97

El análisis de los datos marca un crecimiento de la superficie ocupada de 18,99 hectáreas para el periodo 1987-1994 a 69,00 hectáreas para el periodo 1994- 1999. A partir de este último año, el crecimiento ha sido sostenido y constante en algo más de 40 hectáreas.

Este contraste por períodos podría atribuirse, en primera instancia, a una reactivación de la actividad calera a partir de los años '90. En esta época se produjo una mejoría relacionada con la incorporación de nuevas tecnologías en el proceso de industrialización de la cal, principalmente de origen italiano, ya que en décadas anteriores la obtención de la piedra caliza para la producción de cal, era llevada a cabo por pequeños productores en forma artesanal (Serman *et al*, 2010).

Esta mejora tecnológica generó un aumento en la producción de cales, con un correspondiente incremento de residuos provenientes de este proceso, los que se han ido acumulando a lo largo de los años sobre las áreas aledañas a las canteras.

La aparición en los últimos años de nuevos hornos caleros en el sector NE, que pertenecen en su mayoría a pequeños productores, ha originado manchas de residuos mineros sobre este sector. Estas manchas se pueden identificar a partir de la imagen del año 2005.

Esta actividad minera a pequeña y mediana escala produce un impacto sobre el área de pie de monte (sector oriental del Cerro Pedernal de Los Berros) y principalmente en el área NE de la localidad de Los Berros, generando manchas de residuos mineros. Estas manchas se vinculan a los hornos caleros de tipo artesanal, constituyendo un patrón de distribución de estos residuos en forma puntual y dispersos (Figura 12).

En cuanto a las manchas generadas por los grandes productores, éstas se manifiestan en forma lineal a lo largo de un eje de comunicación, la Ruta Nacional 153, que conecta a la localidad de Los Berros con las localidades aledañas.

*e) Estimación estadística del comportamiento del avance de los residuos mineros para el año 2022*

Con el objeto de obtener un escenario del área a ser ocupada por los residuos en el año 2022, se realizó un análisis de tendencia lineal.

Para ello se aplicó un modelo de regresión, que relaciona la superficie cubierta por residuos mineros con el tiempo en años. De esta manera, se obtuvo una línea de tendencia de crecimiento de la superficie que será ocupada por los residuos mineros en el año mencionado, suponiendo que se mantendrán los niveles de producción de cales actuales.

Para hacer este cálculo se aplicaron dos metodologías de trabajo:

En el primer caso se obtuvo un ajuste lineal utilizando los datos de superficies ocupadas por los residuos, obtenidas a través del SIG, y usando las planillas de cálculo Excel (Figura 13).

De este gráfico se puede inferir que la ocupación de los residuos para el año 2022 será de 310 ha, es decir la mancha se incrementará aproximadamente en 90 ha.

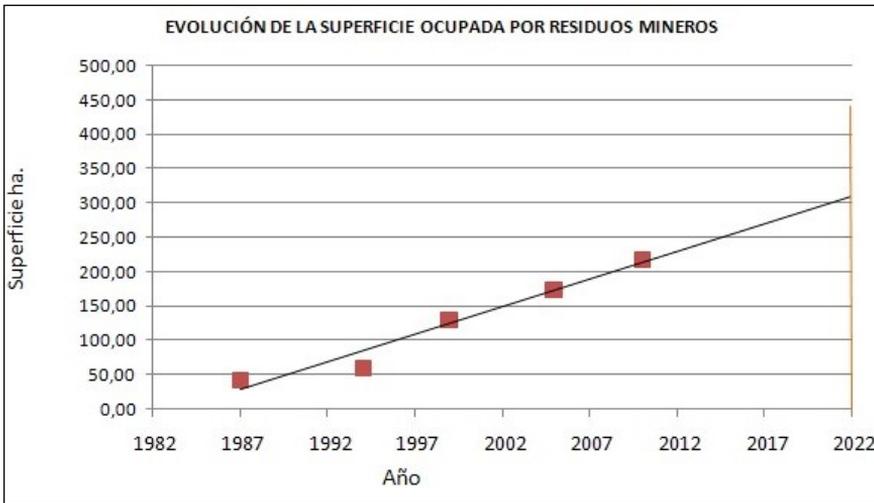


Figura 13: Evolución de los residuos mineros hasta el año 2022

En un segundo análisis se usó el programa estadístico STATGRAPHICS que aplica el Método Pronóstico en el Tiempo (Mendenhall *et al*, 1986). Dicho programa proporciona un modelo de tendencia lineal en el tiempo, pronosticando el crecimiento de los residuos mineros y los límites del intervalo de confianza que permiten estimar los rangos de crecimiento.

Para el caso en estudio, el programa estadístico realizó la extrapolación para el año 2022 con los datos mostrados en la Tabla 3,

generando los resultados que se muestran en la Figura 14. En esta figura el año 0 (cero) corresponde al año 1987, es decir la primera imagen de satélite que se consideró para el estudio.

De la Figura 14 se puede inferir que la ocupación de los residuos para el año 2022 será de 309,918 ha.

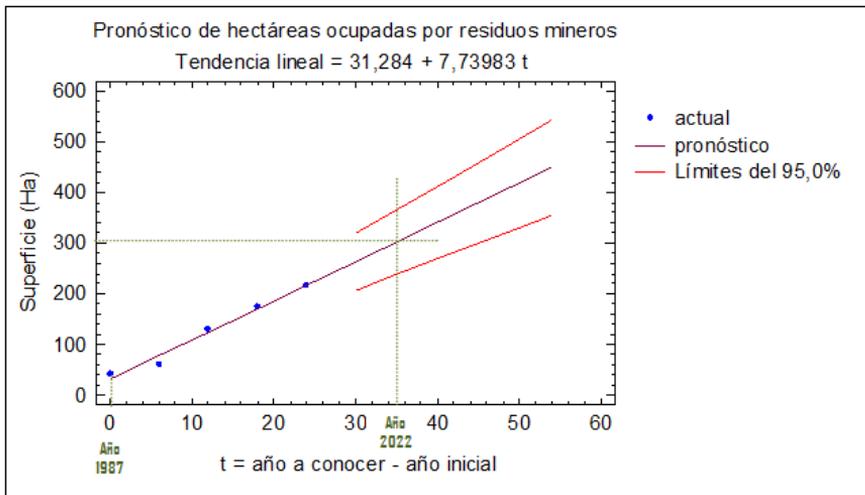


Figura 14: Modelo de Evolución de los residuos mineros hasta el año 2022

La Tabla 5 muestra la estimación de ocupación de superficie de los residuos, pronosticados en el modelo.

Tabla 5: Pronósticos de avance anual de áreas de residuos mineros

Año	Área estimada (ha)	Límite en 95,0% Inferior	Límite en 95,0% Superior
2016	263,479	207,586	319,372
2022	309,918	245,379	374,457
2028	356,357	282,167	430,547

Por otro lado, el modelo pronostica también el límite superior e inferior en que puede variar la cantidad de superficie ocupada por residuos para el año 2022. Estos límites muestran el intervalo de variación de los residuos con 95,0% de confianza, asumiendo que el modelo ajustado es apropiado para los datos.

Comparando el análisis y aplicación de las dos metodologías usadas, se puede decir que existe una muy buena correlación en los

resultados, ya que el primer modelo estima un crecimiento de la mancha de residuos mineros en 310 ha, mientras que el segundo modelo lo estima en 309,91 ha.

## CONCLUSIONES

- El crecimiento sostenido de la producción de cales en el Distrito Minero Los Berros ha producido un aumento proporcional de las manchas de residuos mineros.
- Las manchas generadas por los grandes productores se manifiestan en forma lineal a lo largo de un eje de comunicación (Ruta Nacional 153), que conecta Los Berros con las localidades aledañas.
- La actividad minera a pequeña y mediana escala genera un impacto sobre el área de pie de monte (sector oriental del Cerro Pedernal de Los Berros) y principalmente en el área NE de la localidad de Los Berros, generando manchas de residuos mineros vinculadas a los hornos caleros de tipo artesanal, constituyendo un patrón de distribución de estos residuos en forma puntual y dispersos.
- Siendo la minería la principal actividad que se realiza en Los Berros y considerando que su proyección indica un crecimiento sostenido, el mismo está relacionado con un aumento proporcional de las manchas de residuos mineros identificados a partir de la aplicación de técnicas de teledetección.
- La teledetección ha sido una herramienta eficiente para la estimación de la superficie ocupada por los residuos mineros. Con esta metodología se determinó que el avance de los residuos mineros ha sido de 216,63 ha en el periodo 1987-2010, con una proyección de 310 ha para el año 2022.
- El método de tendencia lineal permitió estimar el crecimiento de las manchas de residuos mineros y su evolución hasta el año 2022 y los límites del intervalo de confianza de la estimación. Los resultados obtenidos fueron muy similares a los alcanzados con la otra metodología.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CICITCA – UNSJ, al Instituto de Investigaciones Mineras y al Departamento Ingeniería de Minas de la UNSJ, el apoyo recibido para la realización de este trabajo en el marco del

proyecto de investigación “Actividad Minera del Departamento Sarmiento. Efecto actual sobre el ambiente y su implicancia futura”.

## Bibliografía

- CABANAY R., (2010): "Cales: Actualización de la Producción en Argentina. Análisis de la cal industrial en la Provincia de San Juan". Argentina MINING. San Juan.
- INDEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010): "Censo Nacional de Población y Vivienda" [en línea] <<http://www.indec.mecon.ar/>> [consulta: 13 de diciembre 2011].
- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2011): "Datos Estadísticos Agrometeorológicos de Sarmiento". Servicio de Agrometeorología, de la EEA (Estación Experimental Agropecuaria) San Juan, Argentina. (Comunicación escrita).
- MENDENHALL W., Scheaffer, R. y Wackerly, D. (1986): "Estadística Matemática con Aplicaciones". Ed. Iberoamericana, 443 p.
- NEGRELLI, M. M. (2013): "Efecto de la actividad calera sobre los componentes ambientales del Distrito Minero Los Berros, Departamento Sarmiento, Provincia de San Juan". Tesis de Maestría en Gestión de Recursos Minerales. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan.
- ORTIZ, A. y Zambrano, J. J. (1981): "La provincia geológica Precordillera Oriental". 8º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 59-74.
- RSI. (2004): "ENVI User' Guide". Versión 4.1, 575 p.
- SERMAN G., Castro G., Cordero S. y Fojo F. (2010): "Informe Técnico Final. Proyecto Diagnóstico y propuesta de desarrollo estratégico del distrito minero Los Berros. Código del proyecto S814". Facultad de Ciencias Sociales. Universidad Nacional de San Juan.