



# USO INNOVADOR DE UN SIG EN LA LOGÍSTICA DE LOS PRODUCTOS FORESTALES

## INNOVATING USE OF A GIS IN THE LOGISTICS OF FOREST PRODUCTS

Armando Benito Brizuela <sup>1</sup>  
Marcelo Daniel Nosetto

**Originales**  
Recepción: 12/11/2002  
Aceptación: 23/12/2002

### **RESUMEN**

El costo del transporte de los productos forestales reviste gran importancia en la rentabilidad de la actividad, incidiendo directamente en el precio percibido por el productor. Ante esta situación sería de utilidad, para el productor y para el transportista, conocer cuál sería el recorrido óptimo desde el lugar de partida (ej. lote del productor) hasta el lugar de destino (ej. acopiador). En consecuencia, se propone comprobar la factibilidad de utilizar el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la determinación, de manera rápida y con exactitud, del camino óptimo entre un lote forestal y el aserradero.

#### **Palabras clave**

SIG • camino óptimo • productos forestales

### **ABSTRACT**

The cost of the transport of forest products has great importance in the yield of the activity, affecting directly in the price perceived by the producer. So, it would be good for the producer and the carrier, to know the optimum route from the departure place (farm) to the destiny place (gatherer). In this work the feasibility to use geographical information systems (GIS), in the fast and exact determination, of the optimal way between a forest lot and the sawmill is analyzed.

#### **Key words**

GIS • optimal way • forest products

### **INTRODUCCIÓN**

La situación actual de los mercados agropecuario y forestal, en un marco de competencia abierta, obliga tanto a productores como comercializadores a aplicar el máximo nivel tecnológico en todos los puntos de la cadena productiva y de comercialización con el objetivo de aumentar su eficiencia. Uno de esos puntos consiste en el transporte de la producción, que actualmente se menciona como logística, debido a que la actividad requiere una planificación, coordinación y control en las distintas etapas de la mencionada cadena.

<sup>1</sup> Investigador CIC y TTP-CONICET  
Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNER. Ruta 11. km 10. Oro Verde. Entre Ríos. Argentina.  
E3100XAD. brizuela@satlink.com, mnosetto@uol.com.ar

La problemática del transporte de las mercaderías de explotación constituye una de las mayores preocupaciones, tanto presentes como futuras del sector granario argentino (8). El costo del transporte de los productos forestales reviste gran importancia en la rentabilidad de la actividad, incidiendo directamente en el precio percibido por el productor. Tanto es así, que en las áreas donde no hay industrias procesadoras, los fletes determinan un fuerte encarecimiento de los costos que deben soportar los productores provocando una disminución en la rentabilidad (13). En muchos casos, en los aserraderos existe un precio de compra "puesto en planta", con lo cual el radio de abastecimiento del mismo está dado, entre otros factores, por el costo del flete (1).

En la zona de Entre Ríos y Corrientes, el transporte de rollizos tiene un valor aprox. de 15 - 17 \$/tn para una distancia de 30 - 70 km, representando una parte importante de los costos de producción (12). Por otro lado, las condiciones del camino juegan un rol importante en el costo del transporte debido a que los deterioros e insuficiencias en el sistema provocan incrementos significativos en los costos operativos del transporte y en incomunicaciones temporarias, accidentales o permanentes (2).

Ante esta situación sería de utilidad, para el productor y para el transportista, conocer cuál sería el recorrido óptimo desde el lugar de partida (ej. lote del productor) hasta el lugar de destino (ej. acopiador).

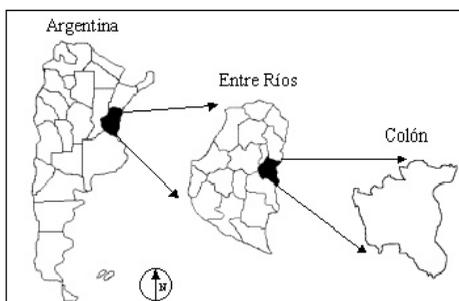
Una de las aplicaciones que poseen los SIG consiste en el análisis de vecindad, que tiene en cuenta las relaciones espaciales de cada píxel con su entorno. Los SIG han sido utilizados como herramientas en el trazado de infraestructuras lineales como carreteras, ferrocarriles y tendidos eléctricos (9) y en la determinación de una ruta óptima en función de las condiciones del tráfico (14), entre otros. Sin embargo pocos trabajos demuestran la incidencia de la topografía y las condiciones del camino en el cálculo de la ruta óptima.

En virtud de lo expuesto precedentemente se propone comprobar la factibilidad de utilizar el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la determinación, de manera rápida y con exactitud, del camino óptimo entre un lote forestal y el aserradero, teniendo en cuenta las distancias, la topografía y las características del terreno.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del área de estudio**

- Departamento Colón, Provincia de Entre Ríos, Argentina
  - Clima: templado húmedo de llanura
  - Temperatura media anual: 18.5 °C.
  - Precipitación media anual: 1100 mm; entre octubre y abril se registra más del 70 % del total anual (11).



La costa del río Uruguay consta de suelos arenosos rojizos y suelos arenosos pardos con características muy variables a corta distancia. Los mismos se disponen en una franja irregular, paralela a la costa del río, en un ancho que varía aproximadamente de 2 a 30 km. Hacia el oeste el porcentaje de arena disminuye y aumenta el de arcilla, determinando la aparición de suelos molisoles y vertisoles.

Los suelos arenosos rojizos pertenecen al orden de los entisoles: son suelos profundos, con textura arenosa a arenosa-franca, con escasa o nula distinción de horizontes. Se caracterizan por ser muy aptos para la implantación de citrus y para la forestación con pinos y eucaliptos. La aptitud para otros sistemas de utilización es muy reducida: la fertilidad y retención de agua muy bajas disminuyen severamente las posibilidades de uso agrícola.

Los suelos arenosos pardos, llamados mestizos, que se encuentran a continuación de la franja de arenosos rojizos, tienen horizontes superficiales muy arenosos, pardos a pardos oscuros que yacen sobre materiales densos, muy poco permeables y penetrables. Cuando la proporción de sedimentos lacustres es baja estos suelos se caracterizan por tener una amplia gama de sistemas de utilización, considerándose dentro de los mejores para citrus y la forestación con pino y eucalipto, incluso más aptos que los arenosos rojizos por su mayor fertilidad y capacidad de retención de agua; mientras que cuando los sedimentos lacustres se encuentran en mayor proporción su aptitud para citrus y pinos se reduce y aumenta para cultivos de cosechas y pasturas.

Al alejarse más del río Uruguay hacia el oeste, los suelos arenosos pardos cambian gradualmente, observándose horizontes superficiales cada vez menos arenosos y más cortos, con textura franca y franco-arcillo-arenosa. A medida que disminuye la influencia de los materiales arenosos, se encuentran perfiles que han perdido sus características de capas, desarrollados sobre limos lacustres calcáreos, mezclados con un cierto porcentaje de arena pudiendo clasificarse como Brunizems arenosos. Finalmente, cuando la influencia de las arenas sobre los materiales lacustres se va perdiendo, los suelos adquieren características cada vez más vertisólicas, de aptitud marginal para la forestación (6). Los suelos pertenecientes al orden vertisol son los más abundantes en el departamento (45 %), siguiéndoles en abundancia los molisoles (36 %), entisoles (8 %), inceptisoles (7 %) y otras taxas (4 %) (7).

Sobre el río Uruguay y sus afluentes se encuentra la prolongación de la Provincia Paranaense, distrito de las Selvas Mixtas: se presenta como una faja muy angosta formando selva en galería a lo largo de los ríos y arroyos. Ésta es una zona rica en especies hidrófilas leñosas, como así también lianas, enredaderas, epifitas y una gran cantidad de especies herbáceas. Las especies predominantes son: *Croton urucurana*, *Guadua trinitii*, *Ficus monckii*, *Ocotea acutifolia*, *Allophylus edulis*, *Cecropia adenopus*, entre otras. El resto del departamento Colón está representado por la Provincia Pampeana. La vegetación predominante es la estepa o pseudoestepa de gramíneas pero, debido a que durante muchos años sus suelos han sido dedicados a la agricultura y ganadería, es muy poco lo que queda de su vegetación originaria, que sólo persiste junto a las vías férreas o en campos abandonados durante varios años (4).

## Imágenes de satélite, cartografía y software utilizados

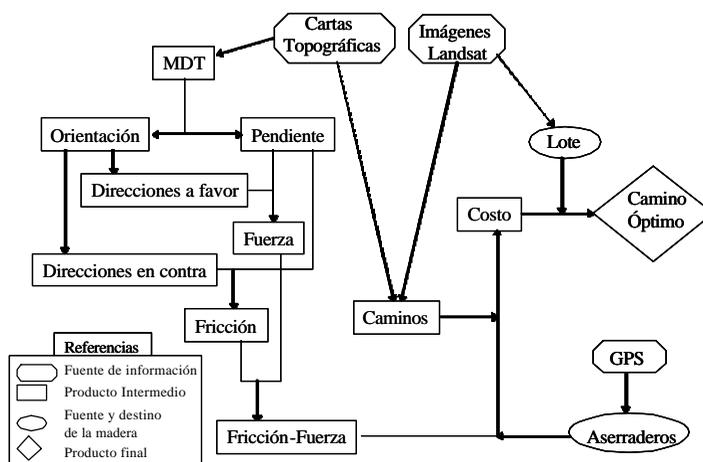
Se trabajó con dos imágenes correspondientes al satélite Landsat 7 ETM+ (órbita 225, escena 82) con fechas 30/08/2000 y 21/01/2001. Se utilizaron cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) en escala 1:100.000 para la georreferenciación de las imágenes satelitales, la digitalización de las curvas de nivel y de los caminos. Las cartas empleadas fueron: Arroyo Barú (3157-31), Jubileo (3160-36), Gobernador Urquiza (3360-06), Colón (3357-01), Concepción del Uruguay (3357-07) y Basabilvaso (3360-12).

Tanto las imágenes satelitales como las cartas topográficas fueron georreferenciadas en la proyección cartográfica de Gauss-Kruger faja 5. Se utilizaron los programas IDRISI 32 y Cartalinx.

## Trabajo de laboratorio

Para la determinación del recorrido óptimo se utilizaron tres variables: distancia, pendiente y tipo de camino. Si se consideran dos lugares hipotéticos, uno de salida y otro de llegada, cabe suponer que existan entre ellos numerosos caminos alternativos los cuales presentan distintas características y a su vez, forman parte de un determinado paisaje con una topografía determinada, es decir que habrá pendientes en distintas direcciones sobre las cuales se encuentran los caminos. Esto determinará, por lo tanto, que el costo de trasladarse sea diferente en distintas direcciones y ante distintas condiciones del camino. Un desplazamiento cuesta arriba aumentará el costo; si se atraviesa en forma perpendicular la pendiente no afectará y cuesta abajo actuará reduciendo el costo. Por otro lado, es de esperar que el costo de trasladarse a través de una ruta asfaltada sea distinto al de trasladarse por un camino vecinal.

Para la obtención del recorrido óptimo desde el lote del productor al aserradero se siguió el siguiente esquema.



Se digitalizaron todos los aserraderos y caminos del Departamento Colón. Para los aserraderos se utilizó un GPS, mientras que los caminos se digitalizaron en pantalla a partir de cartas topográficas e imágenes Landsat 7 y se categorizaron en tres clases de acuerdo con sus características. A los caminos y rutas asfaltadas se les asignó un costo relativo de 1, a los caminos secundarios un valor de 2 y a los caminos vecinales y sendas un valor de 3.

Debido a la falta de cartas topográficas actualizadas, las imágenes satelitales Landsat constituyeron, debido a su alta resolución espacial, una herramienta eficaz en el proceso de digitalización de los caminos de la zona.

Para hacer incidir el efecto de la pendiente en el cálculo del recorrido óptimo fue necesario elaborar un Modelo Digital de Terreno (MDT). Para la confección del mismo se realizó una interpolación a partir de curvas de nivel digitalizadas previamente. Se procedió de este modo porque este método ofrece mejores resultados que otros (5, 10).

A partir del MDT se generaron las imágenes de pendiente y orientación. La pendiente se determina entre un píxel de referencia y sus vecinos más inmediatos situados arriba, abajo, a su derecha y a su izquierda, y asigna el valor de máxima pendiente al píxel central o de referencia. La orientación es la dirección a la que mira o está expuesta la máxima pendiente. Las orientaciones son calculadas en grados y se utilizan designaciones azimutales estándares, de 0 a 360 en el sentido de las agujas del reloj, partiendo del norte.

Para la elaboración de las superficies de fricción-fuerza se consideró el sentido en que se producía el desplazamiento. Por ejemplo: si el desplazamiento es hacia el este, las pendientes favorables serán aquellas que se encuentren con orientación entre 0° y 180°, mientras que las pendientes contrarias están ubicadas entre 180° y 360°. Teniendo esto en cuenta se elaboraron a partir de la imagen de orientación dos imágenes booleanas: una de direcciones favorables y otra de direcciones contrarias. Utilizando álgebra de imágenes se generaron las imágenes de fricción-fuerza con el algoritmo siguiente (3):

$$\begin{aligned}[\text{Fricción}] &= [\text{direcciones en contra}] \times ([\text{pendiente}] + 4) \\ [\text{Fuerza}] &= [\text{direcciones a favor}] \times 4 / ([\text{pendiente}] + 1) \\ [\text{Fricción-Fuerza}] &= [\text{Fricción}] + [\text{Fuerza}]\end{aligned}$$

A partir de esta imagen de fricción-fuerza y utilizando la imagen rasterizada de los aserraderos se creó una imagen intermedia de costos. Para evitar circular fuera de los caminos se generó una imagen "buffer", asignándoles a los píxeles que se encontraban fuera de los mismos un costo de transporte tan elevado que haga imposible circular fuera de ellos.

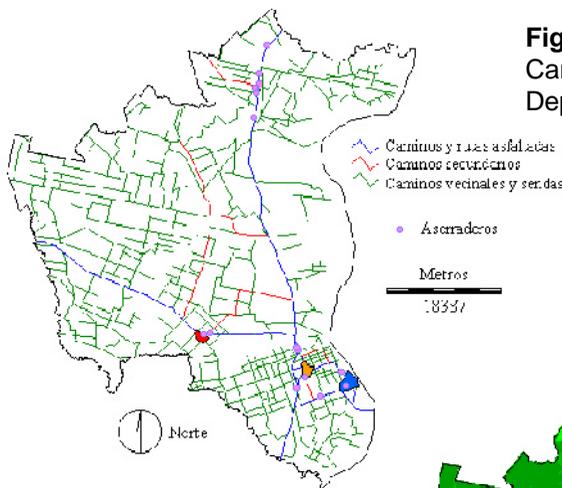
Posteriormente se le sumó a la imagen de costos generada previamente la imagen de caminos obteniéndose la superficie de costos definitiva.

Luego de obtenida la imagen de costo se calculó el recorrido óptimo entre una celda objetivo (lote forestal) y las celdas terminales (aserraderos). Éste se determina a partir de una superficie de costo acumulado, y resulta de la selección entre numerosas alternativas de recorridos y combinaciones posibles. Las imágenes raster de mínimo costo fueron transformadas a formato vector para luego superponerlas como capas a una imagen Falso Color Compuesto para su mejor visualización.

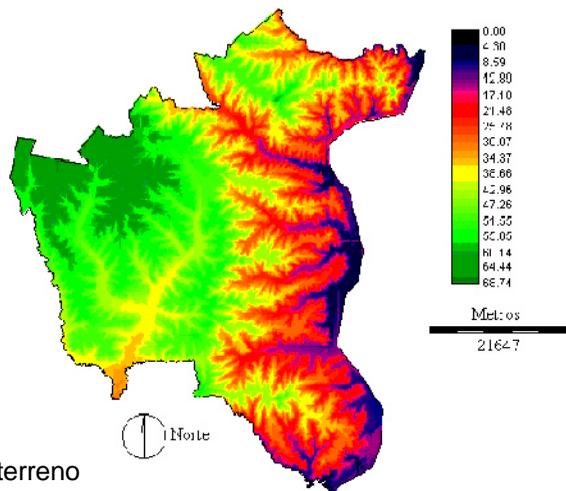
Es necesario aclarar que se generaron tantas imágenes de costos como direcciones de desplazamientos consideradas ya que, al cambiar el sentido del desplazamiento también cambian las direcciones favorables y contrarias.

## **RESULTADOS**

La figura 1 muestra las capas vectoriales de los distintos tipos de caminos y los aserraderos del Dpto. Colón que fueron incluidos en el análisis del recorrido óptimo. Mediante una interpolación, utilizando como elementos de partida las curvas de nivel digitalizadas del área de estudio, se generó un MDT (figura 2) que consiste en una imagen en la cual cada píxel representa la altura sobre el nivel del mar medida en metros. A partir del mismo se generaron posteriormente las imágenes de pendiente y orientación.



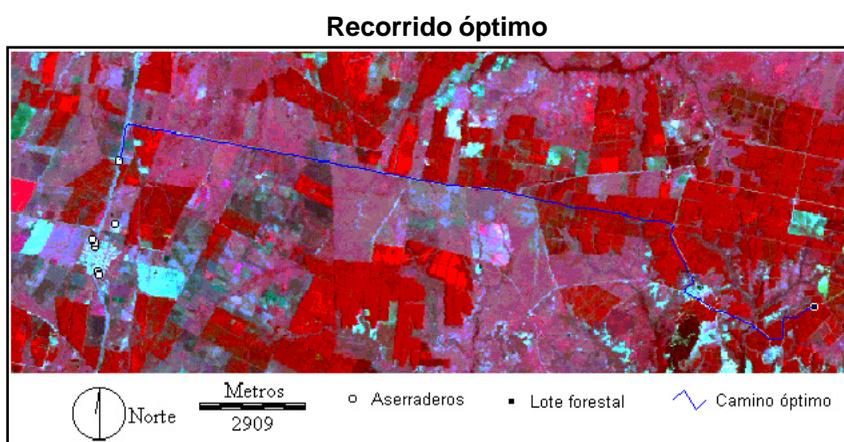
**Figura 1.**  
Caminos y aserraderos del Departamento Colón.



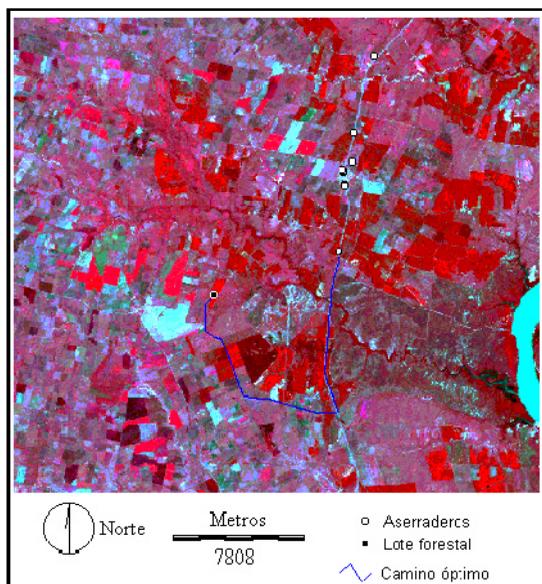
**Figura 2.**  
Modelo digital del terreno

Las imágenes de pendiente y orientación fueron utilizadas a continuación para la elaboración de la superficie de costos siguiendo el esquema presentado en la pág. 80. A partir de estas imágenes de costo generadas se obtuvieron posteriormente los recorridos óptimos desde distintos lotes forestales.

En la figura 3 se observa en línea azul el recorrido óptimo desde un lote forestal hasta el aserradero, en este caso el sentido del desplazamiento es hacia el oeste, por lo tanto, las pendientes favorables son las que se encuentran entre  $180^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  83y las contrarias las que se encuentran entre  $0^{\circ}$  a  $180^{\circ}$ .



**Figura 3.** Aserradero al oeste del lote forestal.



**Figura 4.** Aserradero al noreste del lote forestal.



**Figura 5.** Aserradero al norte del lote forestal.

La figura 4 (pág. 83) muestra el recorrido óptimo en una situación en la cual el aserradero se ubica al noreste del lote. Para esta situación se presupone que el movimiento prevaleciente es hacia el NE; en consecuencia se tuvieron que generar dos imágenes de fricción-fuerza las cuales luego fueron sumadas.

En una de ellas se consideró un desplazamiento hacia el norte, por lo tanto las pendientes favorables son las que se encuentran entre 0 - 45° y 270 - 360°, y en la otra se consideró un desplazamiento hacia el este, por lo tanto las pendientes favorables son las que se encuentran entre 0 - 180° y las contrarias entre 180° - 360°. En la figura 5 (pág. 83) se presenta el recorrido óptimo desde un lote forestal hacia el aserradero considerando que el desplazamiento predominante es hacia el norte.

## **CONCLUSIONES**

La utilización del entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite obtener los recorridos óptimos desde distintos lotes forestales hacia un lugar de destino -en este caso, un aserradero- teniendo en cuenta para el cálculo del mismo: la distancia, la topografía del terreno y las características intrínsecas del camino.

La técnica utilizada es sencilla y a la vez efectiva: la mayor labor consiste en la obtención del MDT, debido a lo dificultoso que resulta la digitalización de las curvas de nivel para un área tan grande como es a nivel de departamento, pero una vez logrado, el resto de los pasos se efectúa en forma rápida y los resultados obtenidos compensan ampliamente el trabajo realizado.

La utilización de dicho método no se limita exclusivamente al cálculo del camino óptimo entre un lote forestal y un aserradero. También podría aplicarse en otras situaciones: por ejemplo, para transportar granos o ganado desde un lote en el campo hacia un determinado lugar de destino.

## **Reconocimientos**

A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por haber financiado parcialmente el proyecto "Estudio de los recursos naturales en la Cuenca del Río Uruguay utilizando Sistemas de Información Geográfica" dentro de cuyo marco se realizó este trabajo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Aguer, E. T. 1992. Entre Ríos Forestal. Dirección de Silvicultura y Citricultura. 104 pp.
2. Bacigalupi, C. 1998. Jornadas de Política Vial. Seminario del Centro Argentino de Ingenieros. 27 de diciembre de 1998.
3. Brizuela, A. B.; Carñel, G. E. y Romero, E. C. 2002. Manual de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Práctica asistida. 158 pp.
4. Cabrera, A. L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Segunda Edición. Tomo II Fascículo 1. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires 85 pp.

5. Cebrian de Miguel, J. A. y Mark, D. 1986. Modelos topográficos digitales. Métodos cuantitativos en Geografía: enseñanza, investigación y planeamiento, Madrid, A.G.E., pp. 292-334.
6. INTA. 1974. Suelos y erosión de la provincia de Entre Ríos. 2° edición. T I. INTA-EEA Paraná. 80 pp.
7. INTA. 2002. Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento Colón. Provincia de Entre Ríos. Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 21.
8. Lande, R. 1995. Logística en el comercio de arroz. PROARROZ. Vol 2 núm. 2. INTA-EEA C. del Uruguay. 8 p.
9. Monzon, A.; Martinez Falero, E. y Espluga, A. P. 1990. Método para el trazado automático de obras lineales. Estudios Territoriales. 32:191-245.
10. Paz, M. y Olmos, L. 2000. Generación de MDT a través del software IDRISI y su comparación mediante el programa SURFER. En XI Congreso Nacional de Fotogrametría y Ciencias Afines. Santiago del Estero. Argentina.
11. Rojas, A. y Saluso, J. H. 1987. Informe climático de la Provincia de Entre Ríos. Publicación técnica N°14 Suelos, Maquinarias y Agrometeorología. INTA-EEA Paraná. 20 p.
12. SAGPyA Forestal. 2002. N° 25. Suplemento Precios N° 17, Diciembre 2002/Julio 2003.
13. SAGPyA - INTA. 1995. Manual para productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. INTA-EEA Concordia. 162 pp.
14. White, M. 1991. Car navigation systems. En: Maguirre, D. J.; Goodchild, M. F. and Rhind, D. W.: Geographical Information Systems. Harlow , Longman, vol. 2, pp. 115-125.



Estación Agrometeorológica Chacras de Coria  
Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina  
Ubicada en el predio experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNCuyo  
(a.s.n.m. 921 m)

Se realizan observaciones meteorológicas y agrometeorológicas ininterrompidas desde 1959, que sirven de sustento al pronóstico nacional del tiempo realizado por el Servicio Meteorológico Nacional, representante de la República Argentina ante la Organización Meteorológica Mundial.

Dichas observaciones constituyen también información básica para las investigaciones realizadas en la Facultad de Ciencias Agrarias, Estación Experimental Luján de INTA y otras instituciones públicas.