

DETERMINACION DE LINEAS DE ISO-RADIACION EN LA  
REGION PAMPEANA CENTRAL DE LA REPUBLICA ARGENTINA

Delina FILIPPIN (1), Alfredo RAPALLINI (2) y  
Guillermo CASAGRANDE (3)

RESUMEN.

El presente trabajo procura delinear para la región pampeana central, región de amplias planicies con accidentes geográficos esporádicos y diferencias de altitud poco perceptible, un mapa de iso-radiación mediante el empleo de datos medidos y estimados a partir de las ecuaciones encontradas para distintas localidades de la región, valorando además mediante diferentes modelos predictivos, la relación existente entre  $K_t$  (claridad atmosférica) y  $H_r$  (heliofanía relativa) para las localidades de Balcarce (150 m s/e nivel del mar) en la provincia de Buenos Aires y de Agua Escondida (1.000 m s/el nivel del mar) en la provincia de Mendoza.

Es posible esperar una captación energética más estable en sentido E-O que en sentido N-S. La intensidad de radiación disminuye más rápidamente hacia el Este de la provincia de La Pampa que hacia el Oeste. Es también probable que el balance de radiación se vea incrementado hacia el Oeste por la mayor reflexión o albedo de sus suelos.

INTRODUCCION

El presente trabajo, continuación de un plan de trabajo de mayores alcances (Filippin C., Rapallini A. y Casagrande G.) 1987, procura completar el estudio de la región pampeana central que, en una primera etapa abarcó la provincia de La Pampa.

Considerando que para el diseño de sistemas de climatización pasiva y/o activa es importante conocer la cantidad de radiación que incide en una superficie, es necesario contar con un mapa de iso-radiación que permitirá tener una visión global del parámetro y una caracterización de cada zona. Este mapa podría elaborarse a través de datos surgidos de ecuaciones de predicción a partir de  $H_r$  (heliofanía relativa).

- (1) Becaria Iniciación CONICET, Santa Rosa (La Pampa)
- (2) Director de Beca CNIE, San Miguel (Buenos Aires)
- (3) Codirector de Beca, INTA, Anguil, (La Pampa)

al existir un número apreciable de estaciones que la miden.

Este mapa permitirá tener una perspectiva más concreta de la proyección territorial de la radiación, y detectar la magnitud de su variación en relación a las coordenadas geográficas. Este tipo de estudios no sería posible en regiones donde existen numerosos accidentes geográficos, a menos que sea posible cubrirlos con una red suficientemente densa de estaciones de medición (Grupo Energía Solar-Salta). Pero no parecería ser esta una condición necesaria en regiones de amplias planicies como las de la región pampeana en la cual los accidentes geográficos aparecen muy esporádicamente y son una excepción. Las diferencias de altitud sobre el nivel del mar se producen de manera muy alternada y poco perceptible. En este caso, un menor número de puntos sobre la geografía regional sería condición necesaria para un trazado satisfactorio de isolinéas de radiación.

Con el fin de ampliar el ámbito geográfico de las estimaciones se incorporó al análisis la localidad de Balcarce (provincia de Buenos Aires) y tratando de mejorar la potencia predictiva de ecuaciones ya calculadas para la localidad de Agua Escondida (provincia de Mendoza) se incorporaron otras variables climáticas.

Las hipótesis que orientan los objetivos del presente trabajo son:

- 1) Contando con valores de  $R_g$  medidos para las localidades de Anguil, 25 de Mayo (Provincia de La Pampa) y Balcarce (Provincia de Buenos Aires), y con valores de  $R_g$  estimados a partir de  $H_r$ , es posible trazar isolinéas de radiación que permitirán detectar áreas con diferente radiación media anual para la provincia de La Pampa y Buenos Aires. Estas isolinéas presentarían para La Pampa cierto desfase respecto a las Cartas de Radiación de Crivelli (1972) entre valores medidos por un lado y los estimados a partir de su ecuación por otro.
- 2) Es posible incrementar el valor  $r$  de correlación entre  $K_t$  y  $H_r$  obtenido anteriormente para la localidad de Agua Escondida incorporando datos de precipitación y temperatura media, mediante el empleo de modelos de correlación múltiple.

Es objetivo principal del presente trabajo:

- 1) Trazar un mapa de iso-radiación para la región pampeana central mediante el empleo de datos medidos y estimados a partir de las ecuaciones encontradas para distintas localidades de dicha región que se detallan en el Anexo 1.
- 2) Con el fin de estimar  $R_g$  a partir de valores de  $H_r$ , se incorporan al estudio otras localidades ubicadas en regiones distintas.

Es así que como objetivo complementario se procura valorar mediante diferentes modelos predictivos, la relación existente entre  $K_t$  y  $H_r$  para las localidades de Balcarce (150 m s/ el nivel del mar) en la provincia de Buenos Aires y de Agua Escondida (1100 m s/ el nivel del mar) en la pro-

vincia de Mendoza.

#### Materiales y Métodos

Se analizaron para la localidad de Balcarce valores de  $H_r$  correspondientes al período 74-83. Se obtuvieron los valores de  $K_t$  a partir del cociente entre  $R_g$  y  $R_t$  (radiación global y teórica respectivamente). Los datos de  $R_g$  provienen de registros efectuados en la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce del INTA. La  $R_t$  surge de aplicar la fórmula de Beckman (Filippin et al., 1987). Se subdividió el período disponible de datos en dos ciclos según el instrumental de medición empleado. (período 74-80 con piranógrafo y 81-83 con piranómetro Eppley Back and White).

Se efectuaron análisis de regresión lineal simple usando un modelo matemático del tipo:

$$K_t = a + b \cdot H_r$$

donde  $K_t$  es la variable dependiente,  $a$  es la ordenada al origen y  $b$  es el coeficiente de regresión que representa la pendiente de la recta. Se estimó así mismo el coeficiente de correlación ( $r$ ) y se usó el error standard (ES) para valorar la dispersión de datos. Estos análisis se realizaron para valores anuales y estacionales (E-F-M, A-M-J, J-A-S y O-N-D).

En segundo lugar se usó un modelo cuadrático

$$K_t = a + b \cdot H_r + c \cdot H_r^2$$

siendo  $K_t$  la variable dependiente,  $a$  la ordenada al origen,  $b$  y  $c$ , respectivamente, los coeficientes de regresión lineal y cuadrático, y  $H_r$  la variable independiente.

En tercer lugar se trabajó con análisis de correlación múltiple. Para ello se incorporaron valores medios mensuales de precipitación y temperatura media mensual. Se empleó un modelo matemático del tipo:

$$K_t = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 \quad (1)$$

donde  $K_t$  es la variable dependiente,  $a$  es la ordenada al origen,  $b_1$  y  $b_2$  son los coeficientes de regresión parcial,  $x_1$  es la heliofanía relativa y  $x_2$  es precipitación o temperatura media. Se estimó también el coeficiente de correlación ( $r$ ) y el error standard (ES).

Para la localidad de Agua Escondida se emplearon modelos de correlación múltiple (1) incorporando valores de precipitación mensual y temperatura media, completando así el análisis realizado anteriormente con modelos simples y cuadráticos.

Los datos fueron analizados mediante un microcomputador Radio Shack modelo TRS programable, y se utilizaron programas en lenguaje BASIC.

#### Resultados y Discusión.

Continuando en primer lugar con el análisis de datos climáticos para la localidad de Agua Escondida, que mostró un  $r=0,059$  entre  $K_t$  y  $H_r$  para el modelo lineal (Filippin et al., 1987) y tratando de mejorar el

valor predictivo de la ecuación, se emplearon modelos de correlación múltiple utilizando precipitación mensual y temperatura media mensual como variables independientes, para el ciclo 79/83. Aumentó el valor de r a 0,29 y 0,26 pero no fueron estadísticamente significativos. (Cuadro 1.1). Tomando valores anuales desaparecieron las diferencias inter-años observadas en los modelos simples presentando mayor uniformidad, teniendo algunos valores estadísticamente significativos (Cuadro 1.2). Trimestralmente mejora también la situación pero la baja significancia de los valores de r impide definir ecuaciones predictivas confiables. Cuadro(1.3).

CUADRO 1. ANALISIS DE CORRELACION SIMPLE Y MULTIPLE PARA VALORES DEL CICLO 1979-1983 ANUALES Y ESTACIONALES DE M y T  
Localidad: AGUA ESCONDIDA

| MODELO                  | COEFICIENTE CORRELACION | ERROR STANDARD |
|-------------------------|-------------------------|----------------|
| LINEAL<br>CICLO 79-83   | 0,059                   | 0,030          |
| MULTIPLE<br>CICLO 79-83 | M vs M, T*              | 0,256*         |
|                         | M vs M, P               | 0,29*          |
|                         | M vs M, P               | 0,26*          |

\*NO SIGNIFICATIVO (P > 0,05)  
\*SIGNIFICATIVO (P < 0,05)  
\*\*MUY SIGNIFICATIVO (P < 0,01)

1.2

| ARO | COEFICIENTE CORRELACION |                  |                |                  | ERROR STANDARD |                  |                |                  |
|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
|     | Correl. Simple          | Correl. Multiple | Correl. Simple | Correl. Multiple | Correl. Simple | Correl. Multiple | Correl. Simple | Correl. Multiple |
| 79  | 0,23*                   | 0,38             | 0,35*          | 0,25*            | 0,12           | 0,011            | 0,11           | 0,16             |
| 80  | 0,22*                   | 0,31*            | 0,63*          | 0,48*            | 0,078          | 0,021            | 0,04           | 0,04             |
| 81  | 0,31*                   | 0,38*            | 0,69*          | 0,53*            | 0,079          | 0,021            | 0,049          | 0,04             |
| 82  | 0,36*                   | 0,27*            | 0,27*          | 0,67*            | 0,072          | 0,026            | 0,071          | 0,058            |
| 83  | 0,19*                   | 0,31*            | 0,59*          | 0,19*            | 0,063          | 0,020            | 0,055          | 0,04             |

REFERENCIAS: M: Anomalia relativa  
T: temperatura media mensual  
P: precipitación mensual  
SI: Índice de claridad atmosférica

1.3

| Estacion | COEFICIENTE CORRELACION |                  |                |                  | ERROR STANDARD |                  |                |                  |
|----------|-------------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
|          | Correl. Simple          | Correl. Multiple | Correl. Simple | Correl. Multiple | Correl. Simple | Correl. Multiple | Correl. Simple | Correl. Multiple |
| EPA      | 0,44*                   | 0,61*            | 0,31*          | 0,34*            | 0,071          | 0,020            | 0,081          | 0,075            |
| AMJ      | 0,021*                  | 0,27*            | 0,25*          | 0,18*            | 0,077          | 0,022            | 0,078          | 0,079            |
| JAS      | 0,30*                   | 0,27*            | 0,27*          | 0,35**           | 0,074          | 0,022            | 0,074          | 0,069            |
| DND      | 0,21*                   | 0,25*            | 0,27*          | 0,18*            | 0,066          | 0,020            | 0,18           | 0,19             |

Para la localidad de Balcarge se divide primero el ciclo completo con datos disponibles de Rg según el aparato de medición empleado, en dos sub-períodos: 74-80 y 81-83 en los cuales se midió Rg con piranógrafo y piranómetro Eppley Black and White respectivamente. Se obtuvieron valores de r = 0,64 y SE = 0,088 para el primer período y r = 0,44, SE = 0,07 para el ciclo 81-83. Si bien la diferencia entre ambos valores de r es representativa, los dos son estadísticamente muy significativos, por tanto, para trabajar con una serie más prolongada de datos, no contar con valores de los años 77-78, se decide unificar el ciclo. Se obtiene así un nuevo valor de r = 0,54 y SE = 0,089, valor éste estadísticamente muy significativo con probabilidad menor al 1% (P < 0,01) de que las estimaciones sean debidas al azar (Cuadro 2.1).

El empleo del modelo binomial para el mismo ciclo acusa un valor de r = 0,30 y un ES=0,011. Disminuye el error de estimación pero también lo hace el coeficiente de correlación. Lo mismo ocurre subdividiendo el ciclo completo en los dos períodos mencionados anteriormente (Cuadro 2.1).

Considerando el período 74-83 se toman cuatro períodos trimestrales

(T-F-M, A-M-J, J-A-S y )-N-D) los que fueron analizados mediante los lineales cuadráticos y múltiples. Los modelos de correlación múltiple no ofrecen un comportamiento superior a los lineales, en tanto los cuadráticos muestran, en general, un comportamiento inferior a los dos anteriores (Cuadro 2.2).

CUADRO 2. ANALISIS DE CORRELACION SIMPLE Y MULTIPLE PARA VALORES DE M, T y P DEL CICLO 74-83 ESTACIONALES  
Localidad: BALCARGE

| CICLO | MODELO LINEAL (M, T, P) |         |        | MODELO CUADRATICO (M, T, P) |      |        |
|-------|-------------------------|---------|--------|-----------------------------|------|--------|
|       | r                       | SE      | r      | r                           | SE   | r      |
| 74-80 | 0,64**                  | 0,088** | 0,54** | 0,40**                      | 0,11 | 0,30** |
| 81-83 | 0,44*                   | 0,07    | 0,69*  | 0,5                         | 0,04 | 0,011  |

2.2

| ESTACION | MODELOS DE CORRELACION |            |          |        |            |          |
|----------|------------------------|------------|----------|--------|------------|----------|
|          | LINEAL                 | QUADRATICO | MULTIPLE | LINEAL | QUADRATICO | MULTIPLE |
| T-F-M    | 0,21**                 | 0,07       | 0,39**   | 0,011  | 0,54**     | 0,027    |
| A-M-J    | 0,22**                 | 0,02       | 0,57**   | 0,011  | 0,21**     | 0,024    |
| J-A-S    | 0,30*                  | 0,095      | 0,12*    | 0,07   | 0,18*      | 0,10     |
| D-N-D    | 0,24*                  | 0,091      | 0,099    | 0,02   | 0,15*      | 0,091    |

\*\* MUY SIGNIFICATIVO (P < 0,01)  
\* SIGNIFICATIVO (P < 0,05)  
\* NO SIGNIFICATIVO (P > 0,05)

REFERENCIAS:

M: anomalía relativa  
T: temperatura media mensual  
P: índice de claridad atmosférica  
SI: temperatura media mensual

El cuadro 2.3, muestra valores de r y SE tomados año a año mediante el empleo de modelos simples lineal y cuadráticos. Los resultados son uniformes excepto para el año 1983 cuya distorsión podría ser el resultado de problemas de medición o lectura de valores. Es destacable el comportamiento muy superior de estos modelos cuando se aplican en períodos anuales en lugar de trimestrales.

2.3

| AÑO | MODELOS DE CORRELACION |            |          |        |            |          |
|-----|------------------------|------------|----------|--------|------------|----------|
|     | LINEAL                 | QUADRATICO | MULTIPLE | LINEAL | QUADRATICO | MULTIPLE |
| 74  | 0,64**                 | 0,087      | 0,11     | 0,019  | 0,32**     | 0,031    |
| 75  | 0,81**                 | 0,042      | 0,72**   | 0,018  | 0,27**     | 0,022    |
| 76  | 0,71**                 | 0,018      | 0,61     | 0,04   | 0,06**     | 0,030    |
| 77  | 0,71**                 | 0,071      | 0,51     | 0,07   | 0,06**     | 0,047    |
| 78  | 0,70**                 | 0,030      | 0,69     | 0,017  | 0,27**     | 0,024    |
| 79  | 0,31**                 | 0,037      | 0,72**   | 0,071  | 0,02**     | 0,055    |
| 80  | 0,34**                 | 0,085      | 0,15*    | 0,015  | 0,04*      | 0,05*    |
| 81  | 0,065*                 | 0,078      | 0,05*    | 0,024  | 0,17*      | 0,07*    |

\*\* MUY SIGNIFICATIVO (P < 0,01)  
\* SIGNIFICATIVO (P < 0,05)  
\* NO SIGNIFICATIVO (P > 0,05)

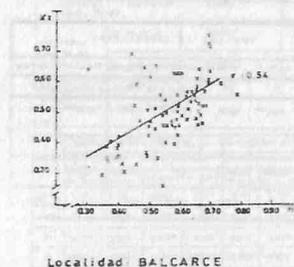
VARIABLES:

M: anomalía relativa  
T: precipitación mensual  
P: temperatura media mensual  
SI: índice de claridad atmosférica

El empleo de modelos de correlación múltiple en períodos anuales permite percibir una mejora bastante significativa de los coeficientes de correlación, ofreciendo valores de ES semejantes a los de modelos simples y valores de  $r$  estadísticamente muy significativos ( $P < 0,01$ ) para los años 1974-75-76-79-81, significativo ( $P < 0,05$ ) para 1980 y no significativo ( $P > 0,05$ ) para los años 1982 y 83, (Cuadro 2.3).

La Fig. 1 muestra la curva de correlación entre Hr y Kt para la localidad de Balcarce siendo  $Kt = 0,18 + 0,56 \cdot Hr$ .

FIG. 1: Correlación lineal simple entre Hr y Kt (1974-1983)



El análisis realizado de Balcarce nos permite establecer una ecuación de predicción de Rg a través de Hr para localidades ubicadas en regiones ambientales semejantes a ella, tales son: Bordenave, Coronel Suarez, Pigüe, Azul y Tandil todas en provincia de Buenos Aires. Tomando la ecuación obtenida anteriormente:  $Kt = 0,15 + 0,81 \cdot Hr$ , para la localidad de Anguil, resulta posible predecir el valor de Kt y a través de  $Rg$  para las localidades de Villa Mercedes (San Luis), Laboulaye (Córdoba), Gral. Pico (La Pampa), Gral. Villegas y Pehuajó (Buenos Aires).

La ecuación obtenida para la localidad de 25 de Mayo (La Pampa),  $Kt = 0,21 + 0,67 \cdot Hr$ , nos permite estimar el valor de Kt para Santa Isabel y Chacharramendi (La Pampa) y Río Colorado (Río Negro).

Se descartan las ecuaciones obtenidas para la localidad de Agua Escondida ya que, si bien pudo incrementarse el valor de  $r$  continúan sin ofrecer confiabilidad los resultados de los nuevos modelos empleados. Se decide entonces emplear la ecuación de Crivelli:  $K/Q_0 = 0,57 \cdot Hr + 0,3$  donde K es radiación global y  $Q_0$  radiación teórica, en localidades con alturas mayores a los 1.000 s/nivel del mar, tal el caso de Malargüe en provincia de Mendoza.

Con los datos medidos de Rg (Anguil, 25 de Mayo y Balcarce) y estimados para las localidades enumeradas, se traza el mapa de iso-radiación anual.

Corroborando el mapa de Crivelli de isolíneas de igual radiación global anual con el obtenido en el presente trabajo se observa que para aquella la provincia de La Pampa estaría comprendida entre los 140 y 150 Kcal/cm<sup>2</sup> año, (4,46 y 4,78 Kw h/m<sup>2</sup> respectivamente) de radiación global. En los resultados de este trabajo se observa un desplazamiento hacia el sur de la línea de 140 Kcal/cm<sup>2</sup> en la provincia de Buenos Aires siendo además el valor máximo de Rg para La Pampa la isolínea de 170 Kcal/cm<sup>2</sup> año (5,41 Kw h/m<sup>2</sup>), ubicada al norte en el límite con la provincia de Córdoba. (Fig. 2).

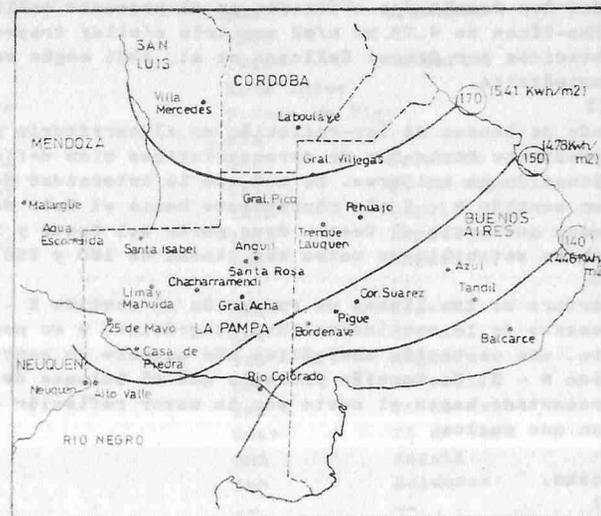


FIGURA 2: LINEAS DE ISO-RADIACION ANUAL (kcal/cm<sup>2</sup>)

Considerando los valores medidos de Rg anual para las localidades de Anguil, 25 de Mayo y Balcarce, se observa que estarían comprendidas dentro de las subzonas obtenidas pero, es necesario remarcar que los valores de radiación fueron registrados con piranógrafo bimetalico Robitasssch, cuyos valores deben tomarse con una confiabilidad del 20% por su sensibilidad con la temperatura ambiente.

#### CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos indicarían un buen grado de asociación entre Kt y Hr para la ciudad de Balcarce, pudiéndose aceptar que la ecuación estimada posee un buen valor predictivo para estimar el Kt de localidades des ubicadas dentro de esa zona de la región pampeana.

Respecto a la localidad de Agua Escondida, parecen ser más confiables los modelos de correlación múltiple que los lineales, aún cuando los resultados no ofrecen una fiabilidad estadística suficiente.

Los resultados confirmarían la viabilidad de la ecuación de Crivelli para las localidades con más de 1.000 mts. de altura sobre el nivel del mar, aún cuando se han detectado algunas diferencias en relación a los sectores más nororientales de la región. Los resultados derivados de este estudio muestran que sería viable considerar para la región pampeana, las líneas de mayor radiación que no fueron contempladas en el trabajo de Crivelli.

Comparados los resultados obtenidos en el presente análisis se observa que la iso-línea de 4,78 kw h/m<sup>2</sup> seguiría similar trayectoria a los valores obtenidos por Grossi Gallegos et al., 1985 según estaciones de la Red solarimétrica.

El trazado de líneas de iso-radiación en el territorio pampeano muestra un gradiente Norte-Sur de características bien definidas, pero con una declinación no uniforme. Es así que la intensidad de radiación disminuye en sentido N - S más rápidamente hacia el Este de la Provincia de La Pampa que hacia el Oeste. Gran parte del Oeste y Sur provincial se encuentra estabilizado entre las líneas de 160 y 150 Kcal/cm<sup>2</sup>.

Esta apertura de las líneas de radiación en sentido E - O coincide con un incremento de la continentalidad geográfica, y es posible esperar, por tanto, una captación energética más estable en sentido E - O que en sentido N - S. Es también probable que el balance de radiación se vea incrementado hacia el oeste por la mayor reflexión o albedo que presentan sus suelos.

#### Referencias.

1. Abeledo, J.H., Kurlat M. y Fernandez R. (1970). "Relación entre la duración relativa de la insolación y la radiación solar global en la Argentina". Meteorológica, Vol. IV.
2. Crivelli E. y Pedregal M. (1972). "Cartas de Radiación solar global en la República Argentina". Meteorológica, Vol. III.
3. Filippin C., Rapallini A. y Casagrande G. (1987). "Análisis de variables climáticas en la Región Pampeana Central. Primeros resultados". XII Reunión de A.S.A.D.E.S. (Bs.As.).
4. Fuerza Aérea Argentina. (1941 a 1980). Servicio Meteorológico Nacional. Estadísticas climatológicas.
5. INENCO, Un Salta, CONICET. "Análisis de datos Meteorológicos del NO. O. Argentino y su relación con el uso de sistemas de climatización natural".
6. Grossi Gallegos, H., Lopardo, R., Atienza, G. y García, M. (1985). "Evaluación del Aporte Energético de Origen Solar en la República Argentina".

#### ANEXO I

| LOCALIDAD      | ORGANISMO QUE MIDIO Hr      | ECUACION USADA | Rg MEDIDO POR         |
|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------|
| ANGUIL         | INTA                        | ---            | INTA                  |
| ALTO VALLE     | SMN                         | ---            | CNIE                  |
| AZUL           | SMN                         | Balcarce       | --                    |
| BAHIA BLANCA   | SMN                         | Crivelli       | --                    |
| BALCARCE       | INTA                        | ---            | CNIE                  |
| BORDENAVE      | INTA                        | Balcarce       | --                    |
| CASA DE PIEDRA | Ente Inter P.Casa de Piedra |                | EIPCP                 |
| CORONEL SUAREZ | SMN                         | Balcarce       | --                    |
| CHACHARRAMENDI | INTA                        | 25 de Mayo     | --                    |
| GRAL. PICO     | INTA                        | Anguil         | --                    |
| GRAL. VILLEGAS | INTA                        | Anguil         | --                    |
| LABOULAYE      | SMN                         | Anguil         | --                    |
| LIMAY MAHUIDA  | II                          | III            | UNLP                  |
| LA CONSULTA    | SMN                         | Crivelli       | --                    |
| MALARGUE       | SMN                         | Crivelli       | --                    |
| PEHUAJO        | SMN                         | Anguil         | --                    |
| RAMA CAIDA     | SMN                         | Crivelli       | --                    |
| RIO COLORADO   | SMN                         | 25 de Mayo     | --                    |
| SANTA ISABEL   | UNLP                        | 25 de Mayo     | --                    |
| SANTA ROSA     | SMN                         | Anguil         | --                    |
| TANDIL         | SMN                         | Balcarce       | --                    |
| 25 de Mayo     | --                          | --             | Ente Prov. R.Colorado |
| VILLA MERCEDES | SMN                         | Anguil         | --                    |