

# METODO PARA EL SEGUIMIENTO DE LA EVOLUCION HIDRICA DEL CULTIVO DE MAIZ EN LAS PROVINCIAS PAMPEANAS

Juan Alberto Forte Lay (\*) y José Luis Aiello (\*\*)

\* CIBIOM-(CONICET) Serrano 669 2° P. Cap. Fed.

\*\* CONAE Paseo Colón 751 Cap. Fed. (E-mail aiello@conae.gov.ar) y UNLP

## SUMMARY

It is described synthetically the modification of a methodology for the monitoring of the soil water storage in the Pampean region by means of the daily hydrologic balance, that is already operative, with the purpose of adjusting it so that it could estimate the hydric condition of the farm soils destined to the cultivation of corn. For this, it is awarded a coefficient  $K_c$  to each station which modifies the potential evapotranspiration of the reference prairie, in order to simulate cultivations with 3 months of previous fallow, that is calculated in base to the time of planting in each district. There are obtained charts of decadic averages of soil water storage and its anomalies.

Palabras clave: Seguimiento hídrico maíz provincias pampeanas.

## 1. INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

La producción de maíz en Argentina se concentra en un 90% en las 5 provincias pampeanas: Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, La Pampa y Entre Ríos. Por ser un cultivo predominantemente de secano y con un período crítico de requerimientos hídricos muy alto y relativamente corto que tiene lugar en la época de mayores demandas atmosféricas de agua, su rendimiento se halla sujeto a grandes variaciones en la humedad edáfica que ocurren de un año a otro especialmente en las fases fenológicas de prefloración y floración. El balance hídrico diario es un método idóneo para estimar la reserva de agua en el suelo para el cultivo. Forte Lay y Troha en investigaciones inéditas encontraron con este método y usando la evapotranspiración potencial (Etp) de Penman-FAO normal diaria, un valor de correlación  $R = 0.70$  entre los rendimientos de maíz en el partido de Pergamino y el promedio de los almacenajes diarios de Diciembre y Enero en la estación meteorológica del INTA, para series anteriores a 1970. Es de suponer que ante el avance extraordinario en la tecnología del cultivo en estos últimos años más la incorporación del riego complementario, los rendimientos se hayan independizado algo de los riesgos climáticos, sobre todo en la zona núcleo maicera y que no encontremos en la actualidad valores de correlación tan altos, sin embargo el agua en el suelo en los momentos críticos sigue siendo un factor de fundamental importancia en el resultado final de la campaña en este cultivo.

## 2. MATERIALES Y METODO

Existía una metodología que ya se encuentra operativa para el monitoreo de las reservas de agua en el suelo para una pradera de referencia (con capacidad de campo de 200 mm como la más representativa del perfil explorado por las raíces en los distintos tipos de suelo) en las 5 provincias pampeanas mediante la utilización del balance hidrológico diario de 45 estaciones pluviométricas operativas del SMN de la región y de su entorno (Forte Lay y Aiello (a) y (b)), los resultados del método de balance ya habían sido contrastados con mediciones a campo en varios trabajos. El método se utiliza actualmente y se exponen sus resultados quincenalmente. Las 45 estaciones referidas además cuentan con datos históricos diarios de precipitación del período que comienza en 1961, que se usan a los efectos de definir la distribución de probabilidades diarias de la reserva o almacenaje de agua en el suelo según la distribución teórica Beta(I) de dos parámetros de acuerdo a Forte Lay y Troha (a) y (b). El método requiere como entrada series diarias ininterrumpidas de precipitación de 30 o más años y de los valores diarios climáticos normales de la Etp calculados por un método adecuado como el de Penman. La Etp climática diaria se deduce de los 12 valores climáticos mensuales que fueron provistos por Damario y Cattáneo (Fac. de Agron. de Bs.As. UBA) para el período 1941-1960 en la mayoría de las estaciones; la metodología de obtención de estos valores está descrita en Damario, y Cattáneo, (1982).

Existía pues en el país la necesidad de contar con un indicador de referencia que con la información meteorológica disponible en tiempo real permitiera un diagnóstico fiable de las reservas de agua en el suelo a nivel regional y que abarcara al menos las 5 provincias mencionadas. Del mismo se podría evaluar el estado de los cultivos e inferir el resultado de las futuras cosechas, y también determinar objetivamente áreas afectadas por sequía.

Se había desarrollado un software: AGROAGUA (Forte Lay, Aiello y Kuba, 1995) destinado a investigadores y a no especialistas, que facilita el procesamiento de los datos precipitación y Etp para la obtención diversos productos agrohidrológicos, entre ellos la estimación diaria de las reservas de agua edáfica, la climatología del agua en el suelo y por ello la anomalía de una reserva para cualquier fecha y cualquier localidad que disponga de una serie de datos de precipitación diaria, continua y extensa. Mediante el uso del software y actualizando la precipitación diaria de las 45 estaciones (SMN), se estiman actualmente las reservas y anomalías de las mismas para un día o promedio de días consecutivos. La anomalía se obtiene de las series diarias de reserva calculadas por balance hidrológico diario que se hace correr desde 1961 hasta la fecha en todas las localidades utilizando la función Beta(I) de dos parámetros. Una vez obtenidas las 45 reservas y sus anomalías, se representan en sendos mapas con división política las isólineas de ambos elementos, coloreando adecuadamente las áreas delimitadas por las mismas obteniendo una imagen instantánea de la reserva en determinado día y de su grado de anomalía para la fecha. Actualmente dos programas derivados de módulos de AGROAGUA denominados BALAUTO y ANOMAUTO realizan automáticamente el proceso de balance y cálculo de las reservas y anomalías para todas las estaciones lo que acelera notablemente el tiempo de procesamiento y los archivos generados por ellos son tomados por un software comercial que facilita el trazado de isólineas.

De acuerdo al grado de probabilidad (anomalía) se han establecido 7 categorías desde "Extremadamente seco": recurrencia media 1 vez cada 20 años o más ( $P < = 5\%$ ),

hasta "Extremadamente más húmedo que lo habitual": recurrencia de valores más húmedos de 1 vez cada 20 años o más ( $P > = 95\%$ ) pasando por 5 categorías intermedias.

A los fines del presente trabajo se introdujeron a la metodología descrita los ajustes necesarios para que pudiera simular la condición hídrica de los lotes destinados al cultivo de maíz.

Para cada una de las 45 estaciones pluviométricas se confeccionó un archivo de coeficientes Kc, que modifican la evapotranspiración potencial de la pradera de referencia, como para simular la demanda del cultivo con 3 meses de barbecho previo; de acuerdo a la bibliografía disponible se adjudicó al barbecho y a la etapa de siembra del cultivo un valor de 0.4, llegando a 1.1 en las etapas de prefloración y floración unos 85 días después, (35 días de duración), para luego disminuir paulatinamente hasta la cosecha. La fecha de siembra en cada estación se asimiló a la del correspondiente distrito de la SAGPYA, y la gran dispersión de fechas en cada uno, se solucionó tomando la fecha media del período con mayor porcentaje de siembra.

En segundo lugar, tanto los campos de reserva de agua en el suelo obtenidos por ploteo y trazado de isólineas mediante el software comercial por el método Kriging, como los de anomalía de los mismos entendiendo como tal el apartamiento de las condiciones habituales respecto al período 1961-95 suponiendo la hipotética situación de un manejo similar en todos los años, no se calcularon para un día determinado (como en el caso del monitoreo de la pradera), si no que se tomó el promedio de 10 días consecutivos, constituyendo un conjunto de 15 mapas de cada elemento (Octubre a Febrero), con la división política subyacente, lo que permite deducir para cada estado fenológico del maíz y en cada subregión o distrito, la posible evolución del cultivo con respecto a sus necesidades hídricas, lo que lleva a ir intuendo un diagnóstico objetivo del futuro rendimiento, y si se conoce la superficie sembrada en cada región, ir delineando un pronóstico de producción.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

El ensayo se llevó a cabo con los datos fenológicos y meteorológicos de la campaña 1996-97. Para los distintos distritos en que se repartían las estaciones pluviométricas se hallaron 13 fechas de siembra representativas y por ende otras tantas de floración con las que se construyeron los diferentes coeficientes Kc a lo largo del año para cada estación, la fecha de siembra más temprana fue el 1/10 con plenitud de floración el 25/12 y las más tardías el 30/11 y el 22/2 respectivamente, se pudo notar una coincidencia de la fecha de plena floración con la 3ª década de Diciembre en todo el centro NE del área estudiada y en la 3ª de Enero en el sector W, SW y S del área maicera, que se corrió a la 1ª de Febrero en el N de Córdoba y a la 2ª en el centro NW de Santa Fe; en el área de Rosario y Marcos Juárez la misma se centró en la 1ª y 2ª décadas de Enero. Pudo observarse durante las 3 décadas de octubre y las 2 primeras de noviembre muy buenas reservas de agua, especialmente al E de la región con más de 90% de la CC y en algunos casos con excesos, lo que aseguró casi todas las siembras, a partir de la 3ª década de Noviembre comienza a insinuarse en el centro E del núcleo maicero N, con eje Marcos Juárez-Rosario y extendiéndose hacia el SE un área de menores reservas que persiste durante Diciembre, Enero y Febrero ensanchándose hacia el N, al mismo tiempo desde el centro N de Buenos Aires hacia el SE también persisten aunque con algunas irregularidades temporales muy buenos almacenajes que resultan excesivos en algunas oportunidades; el pie de monte de las sierras de Córdoba se mantiene en general con aceptables reservas y el área maicera del NE de La Pampa con excelentes reservas al principio, se va secando desde fines de Enero. Los mapas de anomalías muestran las situaciones extremas a que se llegó en la campaña agrícola 1996-97 con altísimas anomalías positivas en el centro N y SE de Buenos Aires y fuertes apartamientos negativos en la zona N del núcleo maicero hacia el final del período crítico, que luego se extendieron al S de Córdoba y N de La Pampa donde la floración tardía coincidió con un período de sequía. Se puede inferir que un tercio de la superficie sembrada con maíz sufrió daños por sequía, contrarrestados por altos rendimientos especialmente en el centro

N y SE de Buenos Aires.

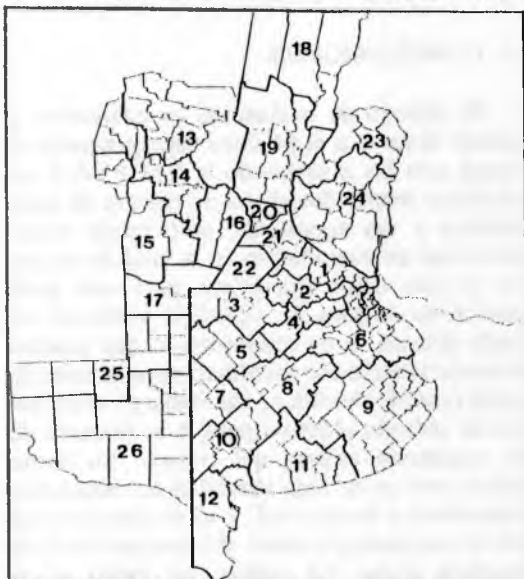
### 4. CONCLUSIONES

El método de evaluación es cualitativo y puede llevarse a la práctica superponiendo el mapa con los distritos de la SAGPYA a los distintos mapas decádicos de reserva de agua edáfica y sus anomalías; pero puede transformarse en cuantitativo en la medida en que se posean datos fidedignos para una serie suficiente de años de superficie sembrada en cada distrito, y de rendimientos que puedan correlacionarse con los almacenajes areales de cada período decádico, sin embargo constituye un método objetivo para la evaluación de la condición hídrica del cultivo. Su punto débil está en la baja densidad de estaciones operativas a tiempo real. Una mejora prevista en la metodología (tanto del monitoreo de la pradera como del cultivo de maíz) es la incorporación de la variable suelo en cuanto a sus constantes hidrológicas ya que aunque la misma es una variable discreta, no interpolable, es posible adjudicar a cada estación pluviométrica valores de constantes hidrológicas (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) que estén de acuerdo a un prorrateo de los valores de las mismas según el área de influencia de cada estación determinada objetivamente por medio de un método idóneo como el de los polígonos de Thiessen. De esta manera podrían obtenerse mapas de agua útil y sus anomalías. El método con los ajustes pertinentes puede aplicarse también a otros cultivos o sucesiones de cultivos que se realizan en la región como por ejemplo trigo-soja.

### 5. ILUSTRACIONES

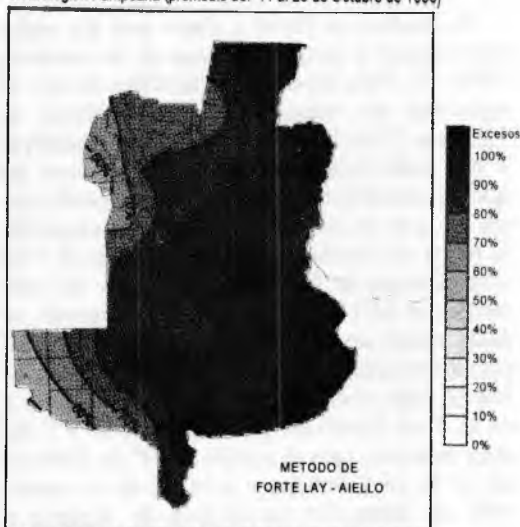
Por razones de espacio, sólo se muestran los pares de mapas de reservas de agua en el suelo y anomalías de la segunda década de Octubre y última década de Diciembre de 1996 como así también de la primera y última décadas de Enero de 1997. También se puede ver el mapa con los distritos de la SAGPYA y un ejemplo de curva de coeficientes Kc, que se desplaza horizontalmente de acuerdo a la fecha de siembra en cada región.

# DISTRITOS DE LA SAGPYA



- 1.- Pergamino. 2.- Junín. 3.- Lincoln. 4.- Bragado. 5.- Pehuajó.  
 6.- Veintidós de Mayo. 7.- Salliqueló. 8.- Bolívar. 9.- Tandil.  
 10.- Pigüé. 11.- Tres Arroyos. 12.- Bahía Blanca. 13.- San Francisco  
 14.- Villa María. 15.- Río Cuarto. 16.- Marcos Juárez. 17.- Laboulaye  
 18.- Avellaneda. 19.- Rafaela. 20.- Cañada de Gómez. 21.- Casilda  
 22.- Venado Tuerto. 23.- Paraná. 24.- Rosario del Tala.  
 25.- General Pico. 26.- Santa Rosa.

## RESERVA DE AGUA EN EL SUELO PARA EL CULTIVO DE MAIZ (en % de una capacidad de almacenaje de referencia) en la Región Pampeana (promedio del 11 al 20 de Octubre de 1996)

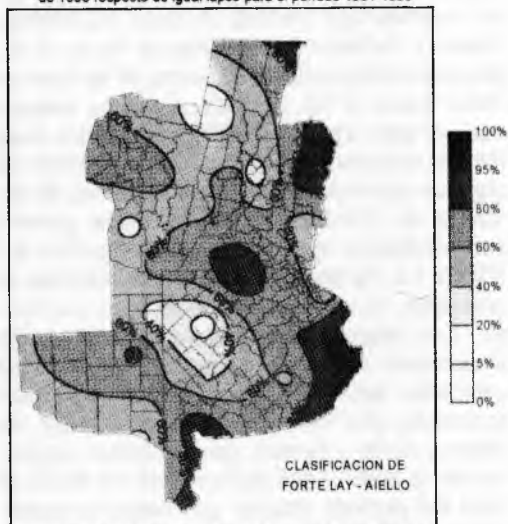


Referencia estimada para un cultivo de maíz de acuerdo a la fenología de cada distrito en 1996-97, con 3 meses de barbecho previo.

Considerar en sequía absoluta las áreas por debajo de 40% de reserva en los suelos arenosos del oeste de la región, y por debajo de 60% en los más arcillosos del extremo oriental.

No considerar por falta de estaciones operativas la región oeste de La Pampa ni el área de las sierras de Córdoba (> 500 m).

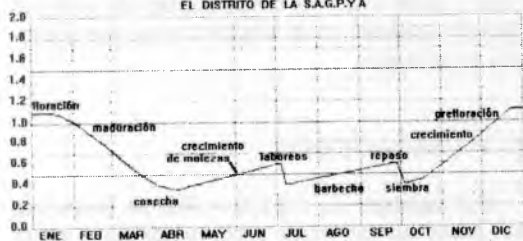
## ANOMALIA DE LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO EN EL CULTIVO DE MAIZ en la Región Pampeana del 11 al 20 de Octubre de 1996 respecto de igual lapso para el período 1961-1995



Probabilidad (%) de tener reservas menores a las actuales:

- < 5 Extremadamente más seco que lo habitual
- 5 - 20 Mucho más seco que lo habitual
- 20 - 40 Más seco que lo habitual
- 40 - 60 Aproximadamente normal para la época
- 60 - 80 Más húmedo que lo habitual
- 80 - 95 Mucho más húmedo que lo habitual
- 95 > Extremadamente más húmedo que lo habitual

EJEMPLO DE VALORES DE KC  
 MOVILES HORIZONTALMENTE A LO LARGO DEL AÑO, DE ACUERDO  
 A LA FECHA DE SIEMBRA EN CADA LOCALIDAD SEGUN  
 EL DISTRITO DE LA S.A.G.P.Y.A



RESERVA DE AGUA EN EL SUELO PARA EL CULTIVO DE MAIZ  
(en % de una capacidad de almacenaje de referencia)  
en la Región Pampeana (promedio del 21 al 31 de Diciembre de 1996)



Referencia estimada para un cultivo de maíz de acuerdo a la fenología de cada distrito en 1996-97, con 3 meses de barbecho previo.

Considerar en sequía absoluta las áreas por debajo de 40% de reserva en los suelos arenosos del oeste de la región, y por debajo de 60% en los más arcillosos del extremo oriental.

No considerar por falta de estaciones operativas la región oeste de La Pampa ni el área de las sierras de Córdoba (> 500 m)

RESERVA DE AGUA EN EL SUELO PARA EL CULTIVO DE MAIZ  
(en % de una capacidad de almacenaje de referencia)  
en la Región Pampeana (promedio del 1 al 10 de Enero de 1997)

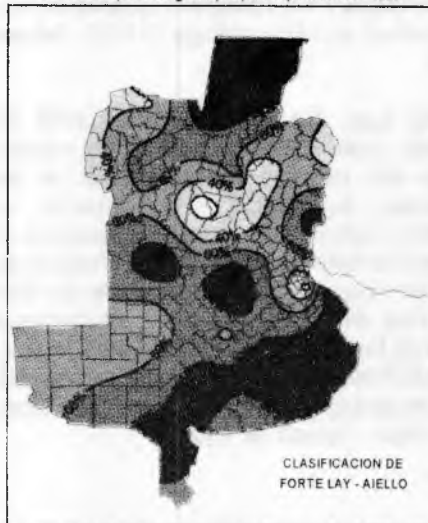


Referencia estimada para un cultivo de maíz de acuerdo a la fenología de cada distrito en 1996-97, con 3 meses de barbecho previo.

Considerar en sequía absoluta las áreas por debajo de 40% de reserva en los suelos arenosos del oeste de la región, y por debajo de 60% en los más arcillosos del extremo oriental.

No considerar por falta de estaciones operativas la región oeste de La Pampa ni el área de las sierras de Córdoba (> 500 m)

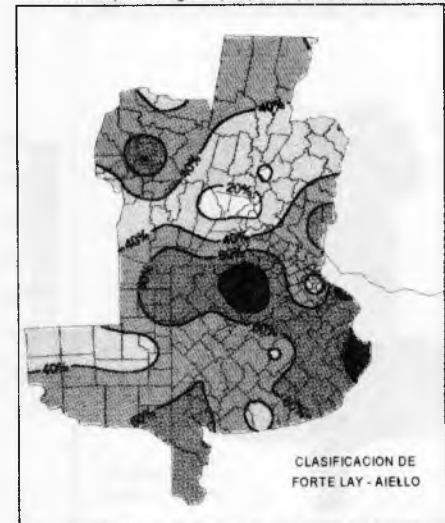
ANOMALIA DE LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO EN EL CULTIVO DE MAIZ en la Región Pampeana del 21 al 31 de Diciembre de 1996 respecto de igual lapso para el período 1961-1995



Probabilidad (%) de tener reservas menores a las actuales:

- < 5 Extremadamente más seco que lo habitual
- 5 - 20 Mucho más seco que lo habitual
- 20 - 40 Más seco que lo habitual
- 40 - 60 Aproximadamente normal para la época
- 60 - 80 Más húmedo que lo habitual
- 80 - 95 Mucho más húmedo que lo habitual
- 95 > Extremadamente más húmedo que lo habitual

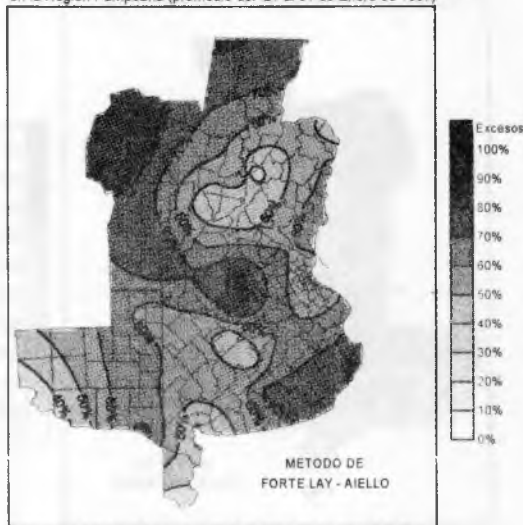
ANOMALIA DE LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO EN EL CULTIVO DE MAIZ en la Región Pampeana del 1 al 10 de Enero de 1997 respecto de igual lapso para el período 1961-1996



Probabilidad (%) de tener reservas menores a las actuales:

- < 5 Extremadamente más seco que lo habitual
- 5 - 20 Mucho más seco que lo habitual
- 20 - 40 Más seco que lo habitual
- 40 - 60 Aproximadamente normal para la época
- 60 - 80 Más húmedo que lo habitual
- 80 - 95 Mucho más húmedo que lo habitual
- 95 > Extremadamente más húmedo que lo habitual

**RESERVA DE AGUA EN EL SUELO PARA EL CULTIVO DE MAIZ**  
(en % de una capacidad de almacenaje de referencia)  
en la Región Pampeana (promedio del 21 al 31 de Enero de 1997)

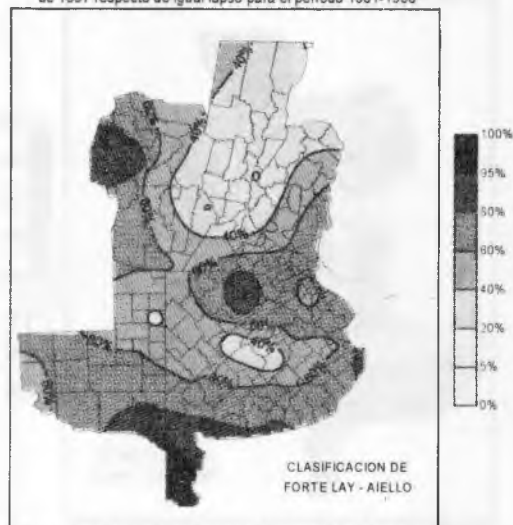


Referencia estimada para un cultivo de maíz de acuerdo a la fenología de cada distrito en 1996-97, con 3 meses de barbecho previo.

Considerar en sequía absoluta las áreas por debajo de 40% de reserva en los suelos arenosos del oeste de la región, y por debajo de 60% en los más arcillosos del extremo oriental.

No considerar por falta de estaciones operativas la región oeste de La Pampa ni el área de las sierras de Córdoba (> 500 m).

**ANOMALIA DE LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO EN EL CULTIVO DE MAIZ** en la Región Pampeana del 21 al 31 de Enero de 1997 respecto de igual lapso para el periodo 1961-1996



Probabilidad (%) de tener reservas menores a las actuales:

- < 5 Extremadamente más seco que lo habitual
- 5 - 20 Mucho más seco que lo habitual
- 20 - 40 Más seco que lo habitual
- 40 - 60 Aproximadamente normal para la época
- 60 - 80 Más húmedo que lo habitual
- 80 - 95 Mucho más húmedo que lo habitual
- 95 > Extremadamente más húmedo que lo habitual

## 6. BIBLIOGRAFIA

1.-Damario, E.A. y C. Cattáneo. 1982. "Estimación climática de la evapotranspiración potencial en la Argentina por el método de Penman. Rev. Fac. Agr.: 3(3). Argentina.

2.-Forte Lay, J.A. y Troha, A. (a): "Distribución de probabilidad de valores de humedad edáfica". GEOACTA (AAGG). Argentina. Vol. 14, N° 1. Pág. 141-152. 1987.

3.-Forte Lay, J.A. y Troha, A. (b): "Utilización de la función Beta para la estimación de probabilidades de humedad edáfica". Anales del V Congreso Brasileiro de Meteorología. Río de Janeiro (Brasil). Vol. 1. Pág. 6-10. 7 al 11 de Noviembre de 1988.

4.-Forte Lay, Juan A.; Aiello José L. y José Kuba: "Software AGROAGUA Versión 4.0". Referencia resumida (4 pág.), distribuida en diskettes a los participantes del Congreso Agrosoft'95, realizado en Juiz de Fora (Brasil) en Octubre de 1995. Resumen publicado en la revista Agrosoft'95.

5.-Forte Lay, J.A. y J.L. Aiello. 1996 (a) "Método para el diagnóstico de la reserva hídrica del suelo en las provincias pampeanas". Actas del VII Congreso Argentino de Meteorología y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología :37-38. Buenos Aires.

6.-Forte Lay, J.A. y J.L. Aiello. 1996 (b) "Método para el diagnóstico de la reserva hídrica del suelo y sus anomalías en las provincias pampeanas". Contribución al Training Course on Practical Applications of Seasonal-to-Interannual Climate Predictions to Water resources and Agriculture for Mesoamerica and the Caribbean. International Research Institute (IRI) for Seasonal to Interannual Climate Prediction. Instituto Nacional de Meteorología de Costa Rica. San José. Costa Rica. Agosto de 1996.