

# Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



**ASAGAI**  
ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOLOGÍA APLICADA  
A LA INGENIERÍA

Córdoba - Argentina



# Metodología para la delimitación de las áreas de riesgo hídrico en la Provincia de Santa Fe

## Methodology for the delimitation of water risk areas in the Province of Santa Fe

Mastaglia, María Inés <sup>1</sup>✉ - Pusineri, Graciela <sup>2</sup> - Arbuét, Alejandra <sup>2</sup> - Pilatti, Miguel Ángel <sup>3</sup>

Recibido: 18 de enero de 2015 • Aceptado: 24 de febrero de 2015

### Resumen

*La Ley Nº 11730 de la Provincia de Santa Fe regula el uso de suelos en áreas inundables con el objeto de reducir los efectos negativos de las inundaciones. La implementación de esta Norma requiere la delimitación de las zonas con diferentes frecuencias de inundación.*

*En este trabajo se desarrolló una metodología que permitió el trazado preliminar de las áreas de riesgo hídrico en veintiún sistemas hídricos de Santa Fe, abarcando prácticamente todo el territorio provincial. El procedimiento se basó en la demarcación en plataforma SIG de las áreas anegadas observadas en imágenes satelitales Landsat, conjuntamente con la aplicación de criterios edafológicos y geomorfológicos. El estado hídrico del sistema para la fecha de la imagen y la recurrencia asociada se analizó previamente mediante estudios hidrológicos de las variables hidrometeorológicas. Las áreas inundadas trazadas a partir de las imágenes se contrastaron y completaron con las determinadas con criterios edafológicos a partir de información sobre limitaciones de drenaje, hidromorfismo, salinidad y sodicidad. Estas tareas permitieron definir una técnica para el trazado de las áreas inundables aplicable a las zonas donde no se contó con información satelital para las recurrencias de interés.*

**Palabras clave:** *inundable, imagen satelital, criterios edafológicos, SIG.*

### Abstract

*The law No. 11730 of the Province of Santa Fe regulates land use in flood prone areas in order to reduce the negative effects of floods. The implementation of this Standard requires the delineation of zones with different frequencies of flooding.*

*In this work was developed a methodology that allows the preliminary traced of the water hazard areas in twenty-one Santa Fe water systems covering practically the whole province. The method was based in the demarcation on SIG platform of flooded areas that observed in Landsat satellite images in conjunction with the application of edaphological and geomorphological criteria. The flooded areas drawn from the*

1. Barbagelata Ingeniería S.A. San Lorenzo 63 (3100) Paraná, Argentina

✉ mmastaglia@gmail.com

2. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral (UNL), Ciudad Universitaria. Ruta Nacional N° 168 - Km 472,4. (3000) Santa Fe, Argentina

3. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. Kreder 2805 - (3080) Esperanza, Argentina.

images were compared and completed with those determined by edaphological criteria from information about limitations of drainage, hydromorphism, salinity and sodium. The water status of the system to the date of image and associated recurrence were previously analyzed by hydrological studies of hydrometeorological variables. These tasks allowed define a technique for mapping of flood areas applicable to the zones where it had no satellite information for recurrences of interest.

**Keywords:** flood, satellite imagery, edaphological criteria, SIG.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo surgió de la necesidad de delimitar las Áreas de Riesgo Hídrico (ARH) definidas en la Ley Provincial N° 11.730 para los sistemas hídricos indicados en la Figura 1 de la provincia de Santa Fe.

El procedimiento estándar para la delimitación de las ARH en ambientes fluviales/lacustres se basa en la modelación hidráulica de los cursos de agua para caudales de diferentes recurrencias, lo cual requiere disponer de perfiles transversales del curso y de mapas planialtimétricos detallados de las áreas inundables con curvas de nivel de equidistancia reducida. Este método

no podría aplicarse para el caso en estudio dada la extensión a analizar que cubre el 72% del territorio provincial y la carencia de la información planialtimétrica con el detalle requerido para todas las cuencas. Dicha situación condujo a proponer un procedimiento alternativo basado, esencialmente, en análisis de frecuencia de variables hidrometeorológicas y digitalización de áreas anegadas en imágenes satelitales a las cuales se le asocia la recurrencia del estado hídrico registrado. Con esta metodología se incluyen todas las áreas con excedentes hídricos visualizables en superficie y fue aplicada en un estudio antecedente (Pedraza *et al.*, 2002) de una cuenca piloto del sistema Saladillos.

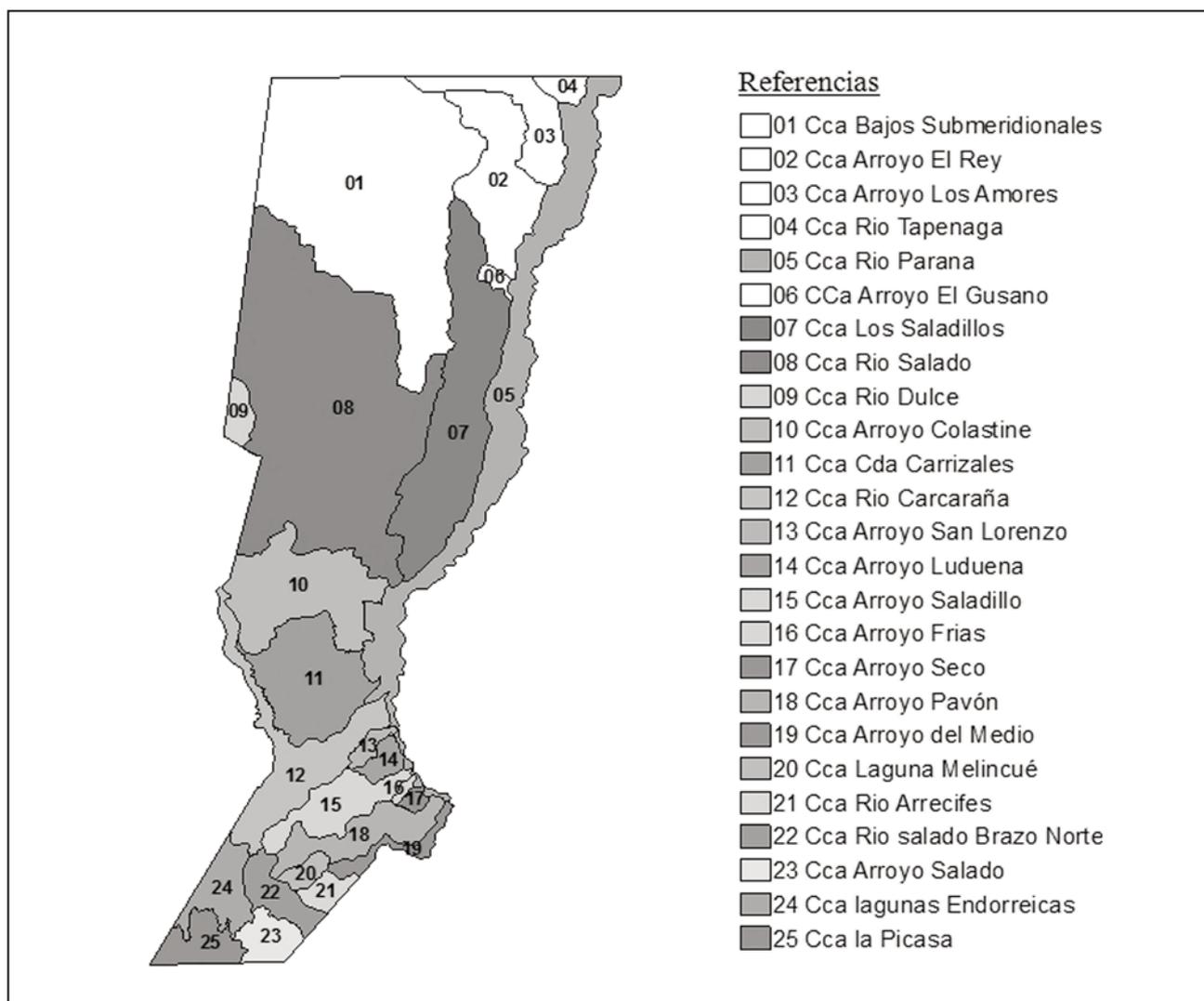


Figura 1. Sistemas hídricos analizados para la delimitación de áreas con riesgo de excedentes hídricos.

En el avance de los estudios se verificaron inconvenientes para obtener imágenes de calidad (sin cobertura nubosa u otros defectos) para las fechas de interés, a lo cual se le sumó que, dada la resolución temporal de las imágenes Landsat (16 días), tampoco se podía disponer de fechas cercanas. Esto hizo necesario readecuar la metodología propuesta recurriendo a los criterios edafológicos, que pasaron de ser elementos complementarios para "fortalecer" el mapeo realizado a partir de las imágenes, a considerarse "base" para la cartografía de las ARH asociadas a las mayores recurrencias.

## METODOLOGÍA

La delimitación de las ARH se basó esencialmente en la demarcación de las áreas anegadas en imágenes satelitales de fecha coincidente con la ocurrencia de un evento de recurrencia preestablecida a partir de estudios hidrológicos y complementando con la aplicación de criterios edafológicos principalmente en las zonas donde no se dispuso con información proveniente de imágenes.

La aplicación metodológica abarcó tres etapas: en primer lugar el análisis de frecuencia de las variables hidrometeorológicas, posteriormente la selección y análisis de imágenes satelitales y por último el trazado de las ARH. Esta última etapa abarcó también la adaptación del procedimiento para demarcación de las áreas en función de la disponibilidad de información.

### Análisis de Frecuencia de Variables Hidrometeorológicas

Para establecer la recurrencia de un evento observado en un determinado sistema hídrico fue necesario realizar un análisis de frecuencia de la variable hidrometeorológica (caudal, altura hidrométrica o precipitación) previamente seleccionada en función de la disponibilidad de datos. Cuando se dispuso de datos de más de una variable ésta se adoptó según el siguiente orden de prioridad: en primer lugar el caudal considerado éste como la variable más consistente cuando se trata de establecer el espacio que inunda un curso de agua en diferentes situaciones hidrológicas (*CFI - AFIN, 1993*), en el caso de inexistencia de datos de caudal pero sí de alturas hidrométricas se adoptó esta variable bajo la hipótesis simplificada de correspondencia entre las recurrencias de alturas y caudales de un evento dado y en última instancia, cuando no se dispone de datos de caudal ni de altura hidrométrica se optó por la precipitación como variable de estudio bajo la hipótesis simplificada de correspondencia entre las recurrencias de precipitaciones y caudales de un evento dado. Seleccionada la variable se generó la serie muestral de máximos anuales (año hidrológico) y para cada serie se realizó un análisis de frecuencia con el programa AFMULTI (*Paoli, 1991*), a partir del cual se definió la función de distribución que mejor ajustó entre las analizadas (Log Normal, Gumbel, GEV, Pearson III, Log Pearson III y Exponencial). Para la función de distribución adoptada se determinaron los valores maximizados de la variable para las recurrencias de interés (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) y las recurrencias correspondientes a cada valor de la serie muestral.

### Selección y Análisis de Imágenes Satelitales

El estudio se limitó, por razones presupuestarias, al uso de las imágenes del satélite Landsat de dominio público. Éstas poseen una resolución espacial de 30 m y temporal de 16 días. A partir de los catálogos de imágenes disponibles en sitios de internet (USGS, CONAE, INPE) se elaboró un listado de las fechas de adquisición de imágenes en las cuales éstas reunían

las condiciones de calidad necesaria para la interpretación. A cada imagen se le asignó la recurrencia correspondiente al estado hídrico registrado determinada a partir de la variable y función de distribución adoptada en el análisis previo de frecuencia. Luego se seleccionaron aquellas imágenes que cubrieron el rango de recurrencias de interés con preferencia de las de fechas recientes, a efectos que sean representativas del sistema de drenaje actual.

Se realizó el pre-procesamiento digital de las imágenes satelitales seleccionadas para ajustarlas al sistema cartográfico del estudio (*Posgar 2007*) y posteriormente se efectuó el procesamiento digital consistente básicamente en la aplicación de distintos métodos, tales como: composiciones en color, realces, filtros, restas y cocientes de bandas, etc., los cuales se emplearon con el fin de mejorar la visualización del elemento de interés a interpretar, límite agua-suelo en este caso.

### Delimitación de las Áreas de Riesgo Hídrico

Las ARH establecidas en la Ley Provincial 11730 son las denominadas áreas I, II y III. El área I corresponde a los cauces naturales y artificiales y cuerpos de agua permanente, es aquella superficie que normalmente ocupa el agua y la recurrencia para fijar este límite se estableció en 2 años. El área II comprende las vías de evacuación de crecidas y áreas de almacenamientos y se asoció a recurrencias entre 2 años y 25 años. El área III corresponde a las zonas con riesgo de inundación no incluidas en las áreas I y II.

En la selección de imágenes se verificaron inconvenientes para obtener material de calidad para las fechas coincidentes con estados hídricos de recurrencia superior a los 10 años, además dada la resolución temporal de las imágenes Landsat tampoco se pudo disponer de fechas cercanas a eventos críticos. Esta circunstancia limitó la disposición de imágenes de recurrencias altas a solo algunos sistemas hídricos y exigió el desarrollo de un procedimiento basado en criterios edafológicos. En consecuencia la metodología que se aplicó varió en función de la disponibilidad de imágenes, así para el área I, de baja recurrencia, se utilizó el procedimiento basado en imágenes satelitales mientras que para las áreas II y III, asociadas a mayores recurrencias, se utilizaron criterios edafológicos.

### Procedimiento para el Área I basado en interpretación de imágenes

En los cauces naturales y artificiales los límites del área I se identificaron en base a imágenes satelitales digitalizando la superficie anegada para una recurrencia de 2 años, aproximadamente. En los cuerpos de agua cerrados se identificaron como permanentes a aquellos que contenían agua en imágenes correspondientes a un estado hídrico de sequía severo y se delimitó como área I a aquella que incluye la superficie anegada más la franja perimetral con vegetación nula o muy escasa (palustre), con o sin depósitos de sal, aspecto indicativo de suelos sujetos a un anegamiento muy frecuente.

### Procedimiento para las Áreas II y III basado en criterios edafológicos

El procedimiento propuesto para elaborar un mapa de zonas con excedentes hídricos a partir de la información edafológica se basa en la circunstancia que el suelo tiene "memoria" de excesos hídricos manifestada a través de diversos rasgos: colores, moteados, concreciones ferromangánicas, entre otros. Si bien a esta apreciación no es posible asociarle una recurrencia

cuantitativa sí puede realizarse una valoración semicuantitativa en los términos de muy anegable, frecuentemente anegable, ocasionalmente..., hasta no anegable. Esto está considerado en la clasificación de los suelos por grupos de aptitud productiva (GAT) en la que se identifican en clases y subclases. Las clases son ocho, con restricciones crecientes para el uso de la tierra desde la 1 (óptima) a la 8 (no apta) y cada una de ellas agrupa tierras con riesgos de similares magnitud para la producción. Las clases se subdividen en subclases que indica el tipo de limitación, tal como: erosión (e), permanencia de excesos hídricos (w), restricciones del suelo en la zona de enraizamiento (s) y climáticas (c). Mayor referencia sobre este tema se puede consultar en los trabajos realizados por INTA - Rafaela (*Giorgi et al., 2010*).

A través del Servicio de Catastro e Información Territorial (SCIT) se contó con información de suelos que permitió elaborar un mapa para la provincia de Santa Fe, en formato shape y escala 1:50.000, de unidades cartográficas (UC) con la simbología según la taxonomía de suelos y con las clases y subclases según clasificación por GAT. Este material fue la base para el desarrollo del procedimiento para delimitar las ARH con criterios edafológicos el cual abarcó las siguientes etapas:

1. Definición de los criterios edafológicos. A partir del mapa de suelos elaborado se realizó una primera zonificación de ARH considerando el riesgo de anegamiento asociado a la clasificación en clases y subclases de las UC. Se delimitaron las tres zonas definidas por la Ley 11730 (I, II y II) y otras tres que son la zona IV tácita en la Ley que supone tierras con muy baja a nula probabilidad de inundación y las II/III y III/IV consideradas, según los criterios aplicados, como áreas intermedias (grises) entre las definidas por la Ley.
2. Validación de los criterios edafológicos. Se seleccionaron cuencas con relieve contrastante y que además dispusieran de imágenes con recurrencia conocida. Sobre estas cuencas se demarcaron las áreas de riesgo según los criterios edafológicos definidos en la etapa anterior y por otro lado se digitalizaron las áreas inundadas visualizadas en las imágenes lo que permitió asociarles una recurrencia a las áreas. Se contrastó la zonificación por suelos con la mapeada en las imágenes, considerando éstas como mejor aproximación. Se calculó el grado de concordancia definido como el porcentaje del área de suelos que concuerda con el área mapeada.
3. Re-definición de los criterios edafológicos. A partir de los resultados de la etapa anterior se realizaron correcciones y optimizaciones a la zonificación edafológica y se re evaluó el grado de concordancia. Se reasignaron las clases y subclases de suelos a cada área de riesgo.
4. Extrapolación de los criterios edafológicos. Se aplicó la zonificación según criterios edafológicos al resto de los sistemas hídricos de la provincia indicados en la Figura 1, a excepción del sistema Paraná donde por su régimen fue posible disponer de imágenes de recurrencia próxima a los 20 años para la demarcación del Área II.

La recurrencia adoptada para la delimitación del área II por criterios edafológicos fue de 10 años. Si bien éste es un valor bajo de recurrencia como límite del

área II es el que permitió la información disponible considerando que no se hallaron imágenes satelitales, requeridas para la validación, de recurrencias superiores a 10 años y además, desde el punto de vista de los criterios edafológicos, a medida que la frecuencia de anegamiento es mayor es más nítida la relación de los suelos con su característica de inundabilidad ya que las crecidas más frecuentes dejan rasgos más marcados y distintivos en el suelo que las menos frecuentes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de Frecuencia de Variables Hidrometeorológicas

Las variables hidrológicas analizadas en cada cuenca y la función de distribución adoptada se sintetizan en la Tabla 1. Las variables se adoptaron de acuerdo a los criterios establecidos y previo análisis de consistencia de las mismas.

### Selección de Imágenes Satelitales

Con base a los resultados del análisis de frecuencia de las variables hidrometeorológicas se establecieron las fechas en las cuales se produjo un evento de recurrencia próxima a las de interés (2, 10, 25 y 100 años) y se buscaron imágenes coincidentes o próximas a dichas fecha. En este proceso se hallaron los principales inconvenientes para la obtención de tal producto con la calidad requerida. Ante esta situación se procedió a ampliar el listado de imágenes considerando también aquellas donde se observaron condiciones de crecida y/o humedad en el suelo. Las recurrencias correspondientes a los estados hídricos observados en cada imagen se determinaron a partir de las funciones teóricas de probabilidad ajustadas en el análisis de frecuencia. En total se analizaron imágenes de 57 fechas y el resultado se sintetizó en una matriz donde se indicó para cada cuenca y para cada fecha la recurrencia del estado hídrico observado en la imagen.

### Delimitación de las Áreas de Riesgo Hídrico

#### Delimitación Del Área I

Los límites del área I en cauces se identificaron en base a imágenes de satélite de fechas recientes a partir de la selección de eventos de recurrencia de 2 años, aproximadamente, sobre las que se digitalizó la superficie anegada (ejemplo en la Figura 2).

Los cuerpos de agua cerrados se identificaron como permanentes mediante interpretación de la imagen satelital de agosto 2009 correspondiente a un estado hídrico de sequía severo. Luego se definió como área I a aquella que incluye la superficie anegada (lagunas permanentes) más la franja perimetral con vegetación escasa (ejemplo en la Figura 3).

#### Delimitación De Las Áreas II y III

##### Primera Tentativa de Zonificación con Criterios Edafológicos

El mapa de suelos generado a partir de los datos del SCIT conjuntamente con el análisis de las características desde el punto de vista hídrico de los suelos de cada clase y subclase, permitió definir, en forma tentativa, una primera aproximación de la zonificación mediante la siguiente correspondencia entre clasificación de los suelos y zonas con excedentes hídricos.

En la Tabla 2 la ARH denominada "I y II" se refiere a que los suelos agrupados en ella están incluidos en las áreas I y II en

**Tabla 1. Variables Hidrometeorológicas Analizadas en cada Sistema y Función de Distribución Adoptada**

Sistema	Curso de agua	Variable Hidrometeorológica	Estación	Función distribución	
Nº	Nombre				
5	Río Paraná	Paraná	Altura hidrométrica	Reconquista	GEV
		San Javier	Altura hidrométrica	Alejandra	GEV
		San Javier	Altura hidrométrica	San Javier	GEV
		San Javier	Altura hidrométrica	Helvecia	PEARSON
		San Javier	Altura hidrométrica	Cayastá	GEV
		Coronda	Altura hidrométrica	Puerto Gaboto	GEV
		Paraná	Altura hidrométrica	Puerto San Martín	GEV
		Paraná	Altura hidrométrica	Rosario	GEV
7	Saladillos	Río Toba	Altura hidrométrica	Margarita	PEARSON
		Saladillo Amargo	Altura hidrométrica	RP39	GEV
		Saladillo Dulce	Altura hidrométrica	RP39	GEV
		Saladillo Amargo	Altura hidrométrica	RP81S (Vera Mujica)	GEV
		Saladillo Dulce	Altura hidrométrica	RP81S (La Noria)	GEV
		Saladillo	Altura hidrométrica	RP62	GEV
8	Salado	Riacho Santa Fe	Altura hidrométrica	Puerto Santa Fe	GEV
		Río Salado	Caudal	RP70 (Recreo)	GEV
		A° Cululú	Caudal	RP50 (MASPYMA)	LOGPEARSON
			Precip.media areal	M.Ville, Sunchales, Eusebia, Rafaela, Esperanza y Saguier	LOGGAUSS
		A° San Antonio	Precip.media areal	M.Ville, S.Guillermo, S.Cristobal, S.Justo, Va.Saralegui	GEV
	A° Las Conchas	Precip.media areal	Ceres, Huanqueros, S.Guillermo, S.Cristóbal, Tostado, Va.Saralegui, V.Pintado	GEV	
9	Laguna de Mar Chiquita	Precipitación	San Guillermo	PEARSON	
10	Colastiné	Precip.media areal	Pelligrini, Rafaela, Sauce Viejo	GEV	
11	Cda. Carrizales	Precip.media areal	Pelligrini, Totoras, Cda. Gómez	GEV	
12	Carcaña	Caudal	Pueblo Andino	GEV	
13	A° San Lorenzo	Precip.media areal	Rosario, Oliveros y Roldán	GEV	
14	Ludueña	Precip.media areal	Rosario y Roldán	LOGPEARSON	
15	Arroyo Saladillo	Precip.media areal	Rosario, Roldán y Cda. Gómez	GEV	
16	Arroyo Frias	Precip.media areal	Rosario y Cnel.Bogado	PEARSON	
17	Arroyo Seco	Precip.media areal	Rosario y Cnel.Bogado	PEARSON	
18	Arroyo Pavón	Caudal	Cnel. Bogado	GEV	
19	Arroyo del Medio	Caudal	La Emilia	LOGPEARSON	
20	Laguna Melincué		Niveles observ.	GEV	
21	Arrecifes	Precip.media areal	Venado Tuerto y Pergamino	LOGGAUSS	
22	Río Salado Brazo Norte	Precipitación	Venado Tuerto	PEARSON	
23	Río Salado Brazo Sur	Precip.media areal	Venado Tuerto, Rufino Y Junin	PEARSON	
24	Lagunas endorreicas	Precipitación	Venado Tuerto	PEARSON	

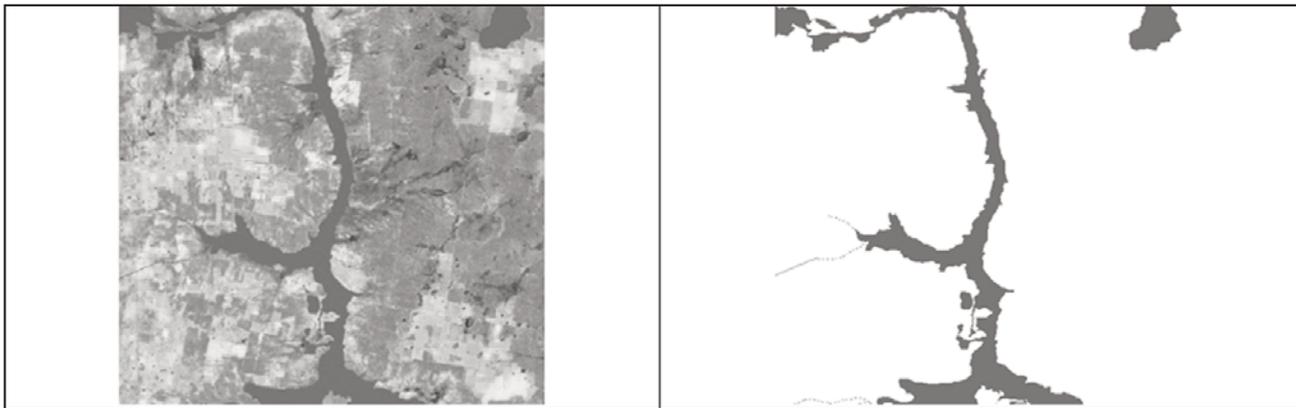


Figura 2. Trazado Área I de Riesgo Hídrico (Santa Fe, Argentina) en cauces naturales y artificiales.

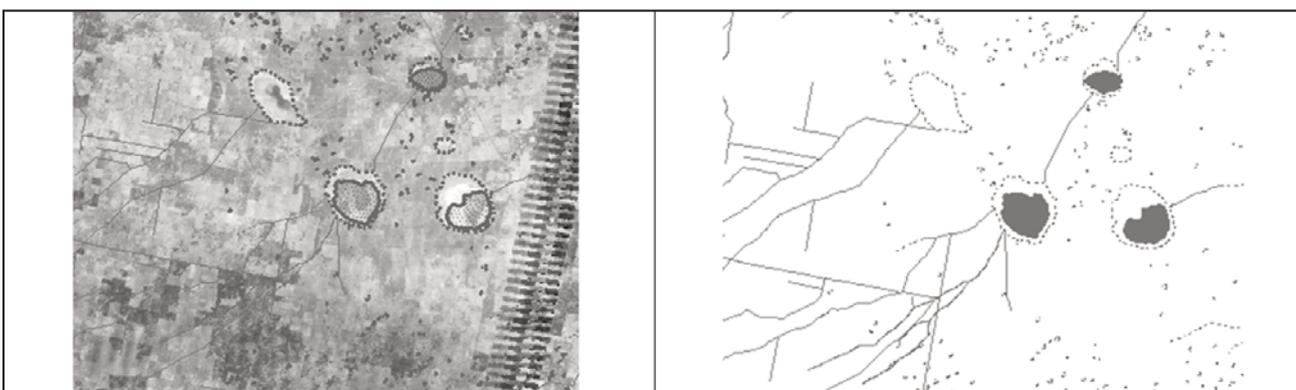


Figura 3. Trazado Área I de Riesgo Hídrico (Santa Fe, Argentina) en cuerpos de agua cerrados.

un procesamiento posterior podrá definirse el área II sustrayendo la I que se delimita con imágenes. Las ARH designadas “II / III” y “III / IV” son zonas grises con incertidumbre en la asignación de los suelos hacia una u otra. La ARH IV comprende todos los suelos no inundables.

### Validación de los Criterios Edafológicos

Para validar la zonificación del punto anterior se seleccionaron cuencas que poseen imágenes con recurrencia conocida.

A modo de ejemplo se describe lo realizado en la cuenca del Arroyo Colástiné. En la Figura 4 se presenta la zonificación en la cuenca con los criterios edafológicos indicados en la Tabla 2.

A fin de verificar las áreas definidas con criterios edafológicos se digitalizaron las manchas de humedad identificadas en imágenes de satélite con recurrencias próximas y superiores a los 10 años, para representar eventos de recurrencias incluidas en las áreas II y III. El reconocimiento de las manchas de humedad en dichas imágenes es un proceso que cuenta con

Tabla 2. Primer tentativa de zonificación de Áreas de Riesgo Hídrico según criterios edafológicos.

ARH	Clases y Subclases de suelos según GAT										
I y II	5 w	5 w(s)	5 ws	5 ws(e)	5/6 ews	5/6 w	5/6 ws	6 e	6 ew	6 ews	6 w
	6 ws	6 ws(e)	6/5 ws	6/7 ews	6/7 ws	6ws	7 ews	7 w	7 ws	7/6 ews	7/6 ws
	8 0	8 ews	8 w	8 ws	8 ws(e)	10w					
II / III	5 e	5 ew	5 ew(s)	5 ews	5/4 ews	5/4 w	5/4 ws				
III	2/3 ew	2/3 w	2/3 w(e,s)	2/3 w(s)	2/3 ws	3 e	3 e(w)	3 ew	3 ew(s)	3 ews	3 s(e)
	3 sw	3 sw(e)	3 w	3 w(e)	3 w(e,s)	3 w(s)	3 ws	3/2 w(s)	3/2 ws	3/4 ew(s)	3/4 ews
	3/4 w	3/4 w(e,s)	3/4 w(s)	3/4 ws	3w	4 e	4 e(w)	4 ew	4 ew(s)	4 ews	4 s
	4 sw(e)	4 w	4 w(s)	4 ws	4 ws(e)	4/3 ews	4/3 w(s)	4/3 ws	4/5 ews	4/5 ws	
III / IV	2 w	3 s	3 s(e)	3 sw	3 ws						
IV	1	1 (e)	1 (s)	1 (w)	1 w	1 w(s)	1(w)	1/2 w	2	2 (s,c)	2 c(w)
	2 e	2 e(w)	2 s	2 w(e)	2 w(s)	2 ws	2/3 e	3 e	3 s(c)		

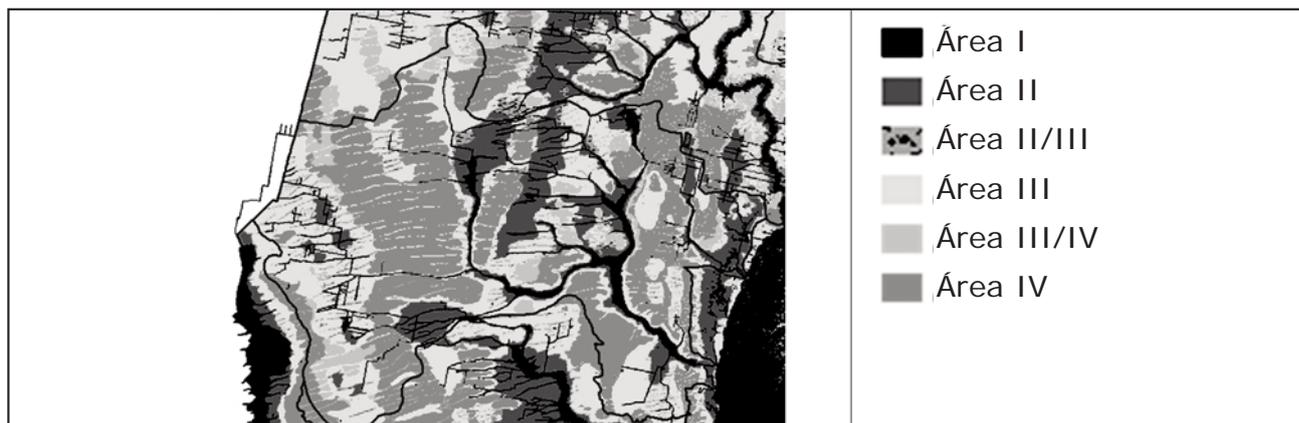


Figura 4. Cuenca del Arroyo Colastiné (Santa Fe, Argentina). Primer tentativa de zonificación de Áreas de Riesgo Hídrico según criterios edafológicos.

incertidumbres debido a varios factores: en primer lugar las fechas de las imágenes aptas que se obtuvieron para cubrir eventos de una recurrencia asimilable a una ARH muchas veces eran de varios días posteriores al evento, por lo que la mancha de humedad que se podía visualizar dependía de la humedad del suelo antecedente, pendiente del terreno, etc. En segundo lugar la distribución espacial de los eventos, sobre todo cuando las imágenes se eligen con el evento precipitación, hace que una imagen no sea igualmente válida para toda una cuenca, sino sólo para un sector. Por lo tanto, el proceso de mapeo se realizó superponiendo varias imágenes de diferentes fechas a efectos de testear que pasaba con distintos fenómenos hidrometeorológicos.

En la Tabla 3 se indican las fechas de las imágenes seleccionadas para la validación en la cuenca del A° Colastiné y las recurrencias asociadas a los eventos pluviométricos observados.

Tabla 3. Cuenca del Arroyo Colastiné - Fechas Imágenes Seleccionadas para las Áreas II y III.

Zona de aplicación imagen dentro de la cuenca	Fecha Imagen	Recurrencia asociada
Este	18/04/07	83 años
Centro	27/12/06	9 años
Oeste	09/04/07	77 años

Sobre las imágenes seleccionadas se digitalizaron las áreas inundadas y manchas de humedad, de acuerdo al análisis de recurrencias se asignaron las zonas definidas en imagen 2006 al ARH II mientras que las mapeadas sobre imagen 2007 se asociaron al ARH III. El resultado del mapeo se sintetiza en la Figura 5.

El paso siguiente fue superponer el mapeo realizado a partir de imágenes satelitales (Figura 5) con la zonificación a partir de criterios edafológicos (Figura 4)

#### Reasignación de las clases de suelos a la zonificación

En función del análisis de la superposición de los mapas se procedió a corregir la clasificación en zonas realizada a partir del mapa de suelos considerando la digitalización de las áreas anegadas sobre las imágenes de satélites asociadas a cada área. La corrección se realizó a partir de procesos analíticos espaciales reasignando los grupos de suelo de la Tabla 2 en función de su condición respecto a la inclusión en las áreas mapeadas.

Surgieron situaciones particulares de los análisis de las imágenes en comparación con la clasificación de suelos como ser el caso de cañadas que en la clasificación de suelos aparecían como áreas III/IV o IV mientras que en imágenes de alta recurrencia, como las del 2007, aparecían anegadas, como hilos o concatenación de pequeñitos bajos naturales, dentro de una zona seca, en estos casos no se mapearon dada su complejidad



Figura 5. Cuenca Arroyo Colastiné (Santa Fe, Argentina). Demarcación de las ARH con criterios hidrológicos a partir de Imágenes satelitales

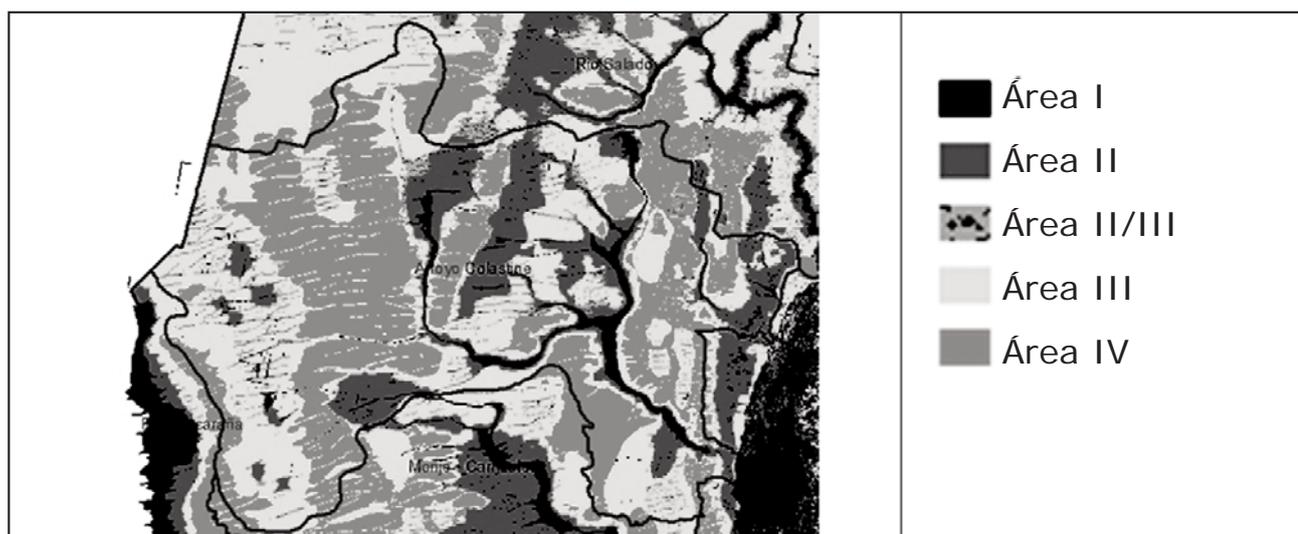


Figura 6. Cuenca del Arroyo Colastiné (Santa Fe, Argentina). Zonificación final de las Áreas de Riesgo Hídrico según criterios edafológicos.

cartográfica, sino que directamente se cambió la clasificación de los suelos, considerando que si la imagen marcaba la existencia de agua, la cañada debía estar considerada al menos como área III.

De manera similar a lo realizado en la cuenca del Ao. Colastiné se procedió con otras cuencas en las que se disponía de imágenes satelitales. El análisis realizado concluyó en la reasignación de las clases y subclases de los suelos asociadas a cada ARH como se indica en la Tabla 4. En la Figura 6 se representa la zonificación en la cuenca del Arroyo Colastiné resultante de la aplicación de los criterios edafológicos finalmente adoptados.

### CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

La metodología desarrollada para el trazado de las ARH es el resultado de un minucioso análisis de la información disponible para maximizar y optimizar su uso, y resulta acorde con la escala del área analizada.

Del contraste de las áreas con excedentes hídricos delimitadas con imágenes satelitales versus la zonificación con criterios edafológicos se determinó que en la delimitación del área II existe una coincidencia del 79% al 96% según el sistema y fecha analizada, mientras que para el área III los criterios fueron válidos para el 69 al 73% de los casos.

El producto final que se obtiene con la aplicación de esta metodología presenta limitaciones, principalmente por la imposibilidad de asociar en forma precisa los límites de las ARH II y III a un valor de recurrencia y como tal tiene un carácter preliminar no debiendo ser interpretado como una zonificación definitiva para regular el uso de suelos pero sí como una valiosa herramienta para una primera apreciación del grado de vulnerabilidad de un sector específico que permita definir la necesidad de llevar a cabo estudios más detallados.

Tabla 4. Zonificación final de las Áreas de Riesgo Hídrico según criterios edafológicos.

ARH	Clases y Subclases de suelos según GAT										
II	5 w	5 w(s)	5 ws	5 ws(e)	5/4 ews	5/4 w	5/4 ws	5/6 ews	5/6 w	6 e	6 ew
	6 ews	6 w	6 ws	6 ws(e)	6/5 ws	6/7 ews	6/7 ws	7 ews	7 w	7 ws	7/6 ews
	7/6 ws	8	8 ews	8 w	8 ws	8 ws(e)	10w				
II / III	5 e	5 ew	5 ew(s)	5 ews	5/4 ews	5/4 w	5/4 ws	2w	2 w(e)	2 w(s)	2 ws
	2/3 ew	2/3 w	2/3 w(e,s)	2/3 w(s)	2/3 ws	3/2 w(s)	3/2 ws				
III	3w	3 w(e)	3 w(e,s)	3 w(s)	3 ws	3s	3 e	3 e(w)	3 ew	3 ew(s)	3 ews
	3 s(e)	3 sw	3 sw(e)	3/4 ew(s)	3/4 ews	3/4 w	3/4 w(e,s)	3/4 w(s)	3/4 ws	4 e	4 e(w)
	4 ew	4 ew(s)	4 ews	4 s	4 sw(e)	4 w	4 w(s)	4 ws	4 ws(e)	4/3 ews	4/3 w(s)
	4/3 ws	4/5 ews	4/5 ws								
IV	1	1 (e)	1 (s)	1 (w)	1 w	1 w(s)	1/2 w	2	2 c(w)	2 e	2 e(w)
	2 s	2 (s,c)	2/3 e	3 e	3 s(c)						

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CFI-AFIN, 1993.  
Estudio para la Determinación de la Línea de Ribera del Río Negro.  
*Informe Final. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia, Argentina.*
- COMISIÓN NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES (CONAE).  
Catálogo de imágenes Landsat.  
*Disponible en <http://catalogos.conae.gov.ar/LANDSAT/defaultl.asp>.*
- GIORGI R., TOSOLINI R., SAPINO V., LEÓN C., 2010a.  
Agrupamiento por aptitud agropecuaria de las tierras de la Provincia de Santa Fe (GAT) - I.  
*Conceptos del sistema. Disponible en [http://rafaela.inta.gov.ar/mapas/suelos/GAT\\_conceptual.htm](http://rafaela.inta.gov.ar/mapas/suelos/GAT_conceptual.htm)*
- GIORGI R., TOSOLINI R., SAPINO V., LEÓN C., 2010b.  
Agrupamiento por aptitud agropecuaria de las tierras de la Provincia de Santa Fe (GAT) - II.  
*Procedimientos operativos para la clasificación de las unidades cartográficas en clases y subclases de aptitud agropecuaria. Disponible en [http://rafaela.inta.gov.ar/mapas/suelos/GAT\\_operativo.htm](http://rafaela.inta.gov.ar/mapas/suelos/GAT_operativo.htm)*
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE).  
Catálogo de Imagens.  
*Disponible en <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>*
- PAOLI C, BOLZICCO J, CACIK P., 1991.  
Manual del Usuario - Programa AFMULTI.  
*Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.*
- PEDRAZA R., TONINI C., TARDIVO R., PUSINERI G., GRACIANI S., GARDIOL M., 2002.  
Delimitación de áreas de riesgo hídrico en el Sistema Saladillos - San Javier.  
*Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.*
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS).  
Landsat Missions.  
*Browse and Download Data. <http://glovis.usgs.gov/>*



# ASAGAI

ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOLOGÍA APLICADA  
A LA INGENIERÍA

Metodología para la delimitación de las áreas de riesgo hídrico en la Provincia de Santa Fe

*Mastaglia, María Inés - Pusineri, Graciela - Arbué, Alejandra - Pilatti, Miguel Ángel*

Modelo de redes funcionales orientado a pronóstico de crecidas en cursos de llanura del Gran Rosario, Santa Fe, Argentina

*Scuderi, Carlos M. - Riccardi, Gerardo A. - Zimmermann, Erik D. .*

Nota Técnica. Estabilización de las subrasantes loésicas utilizando el descarte de piedras ornamentales

*Cruz, María P. - Martín Schmädke, Italo F. - Arnaudo, Carlos E. - Higa, José J.*

Construcción de vínculos interdisciplinarios e intersectoriales desde las ciencias sociales para el abordaje del riesgo hídrico. Ciudad de Santa Fe

*Córdoba, Anabella - Chialvo, Patricia - Morresi, María del Valle*

Estimación de la lluvia de diseño mediante información multi-satélite de libre disponibilidad

*Catalini, Carlos G. - García, Carlos M. - García, Cesar - Jovanovic, Nebo Z. - Bagan, Richard DH*

Modelo de flujo de agua subterránea en el sector industrial planificado (Tornquist, provincia de Buenos Aires)

*Albouy, René - Lafont, Daniela - Lexow, Claudio - Carrica, Jorge*

Cartografía de susceptibilidad hídrica en el delta del río Paraná

*Sepulcri, M.G. - Flamenco, E.A. - Pizarro, M.J. - Herrera, M.G. - Borus, J. - Giordano L.*

Procesos modeladores en los acantilados de Las Grutas, provincia de Río Negro

*Fucks, Enrique Eduardo - Schnack, Enrique Jorge - Scalise, Armando - Ahrendt, Kai - Vafeidis, Nassos - Sterr, Horst*

Visión crítica por introducción de obras en márgenes y cauce del río Dulce entre las ciudades de Santiago del Estero y La Banda

*Castellano, Juan - Ávila, Edgardo - Zerda, Hugo*

Portada: Vista de las características geomorfológicas del valle en el que se localiza Junín de los Andes, en segundo plano volcán Lanín.

Fotografía: F.X. Pereyra

**Revista de Geología  
Aplicada a la Ingeniería  
y al Ambiente**

