

ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INUNDACION DEL NOROESTE BONAERENSE.

Montealegre Medina, F.A.a, Mazzucchelli, M.G.b, Gaspari F.J.c,

^aMg. Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. FCAYF. UNLP, ARGENTINA

^b Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), ARGENTINA

^cCurso de Manejo de Cuencas Hidrográficas. FCAYF. Universidad Nacional de La Plata, ARGENTINA

e-mail: fgaspari@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

La cuenca del río Salado forma parte de la pampa deprimida, con una topografía plana y características geomorfológicas particulares que favorecen al anegamiento de grandes áreas. La intervención antrópica, al interior de la misma, contribuye a reducir y modificar el escurrimiento del agua, generando el incremento de la problemática de inundaciones. El objetivo del trabajo fue caracterizar la susceptibilidad de inundación en la subregión A1, referida en el Plan Maestro de la cuenca del Río Salado, que abarca 17742,85 km². Se analizaron capas vectoriales de coberturas de suelo de FAO y de las limitantes principales superficiales de los suelos descriptas por el INTA, las que se procesaron generalizando la tipología de la información agrupándolos en zonas con características similares, interpretándolas mediante geoprocetamiento de superposición espacial de la información definida. Las clases de uso del suelo contempladas fueron cultivos, pasturas/herbáceas/bañados, cuerpos de agua y zonas urbanas, las cuales se integraron con las limitantes edáficas superficiales como: drenaje deficiente, baja retención de humedad, no apto para agricultura y área inundable. Al realizar el cruce se definieron categorías susceptibilidad, que debido a las características e incidencias de las capas que intervienen, describen las áreas sensibles de inundación al interior de la zona de estudio. El 37 % de la subcuenca tiene susceptibilidad alta-media, observando que la susceptibilidad es elevada en zonas pertenecientes a las riberas de los ríos o cercanas a los cuerpos de agua, media en zona de amortiguación hídrica y/o actividades agropecuarias y baja en perímetros urbanos, ya que se asume que estos poseen una adecuada planificación territorial para prevenir o mitigar eventos de inundación.

Palabras Clave: Anegamientos, SIG, Suelos-Usos del suelo.

INTRODUCCIÓN

El río Salado se encuentra en la Pampa húmeda bonaerense, específicamente en la Pampa Deprimida. Es una región de llanuras, de relieve muy suave, casi horizontal, con una pendiente media de aproximadamente 0,25 por mil, y decrece en altura con dirección oeste-este, en dirección a la costa del Mar Argentino. Definir la cuenca del río Salado resulta complejo, debido a que las aguas de los ríos y arroyos de cauce permanente escurren lentamente en direcciones variables hacia lagunas, bañados o sectores con menor nivel. El paisaje general es producto de la acción de agregación fluvial, modificada parcialmente por la acción del litoral y los vientos. Los suelos presentan un importante grado de desarrollo producto de la baja morfogénesis, el alto nivel del mar de los últimos períodos que ha implicado el predominio de la depositación frente a la erosión y a las condiciones bioclimáticas y morfogenéticas. Se

presentan amplias terrazas fluviales y planicies aluviales surcadas por numerosos cursos de agua y frecuentes bajos y lagunas de poca profundidad.

La capacidad productiva de los suelos de la cuenca del río Salado permitió que los pastizales pampeanos se sustituyeran por agroecosistemas, evidenciando un importante nivel de degradación y un escaso grado de conservación. La actividad productiva de la cuenca es predominantemente agropecuaria; los recursos naturales directamente vinculados con esta producción que resultaron más afectados, fueron los suelos y el agua (MOSP, 1999)

En la cuenca del río Salado predominan los procesos de transferencia vertical (evaporación-infiltración) sobre el escurrimiento superficial, razón por la cual las inundaciones son frecuentes, periódicas y prolongadas. Esto se agravó en las últimas tres décadas, al iniciarse un período más húmedo con mayor frecuencia de los eventos que afectan en forma generalizada la región del Salado. Las consecuencias son pérdidas de gran magnitud en la producción del sector agropecuario y la infraestructura vial y urbana, al igual que en el sector rural (López et al. 2003).

Las herramientas para el análisis de datos espaciales son tratadas con detalle ya que se utilizan para dar respuesta a cuestiones particulares o soluciones a un problema concreto (Aliaga, 2006). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) contribuyen a realizar estudios que integran la influencia del cambio de usos del suelo con los análisis y procesos geoespaciales. Los SIG permiten observar y evaluar las características del territorio en una cuenca hidrográfica, como los son los cambios en la cobertura y uso del suelo, provocados por actividades antrópicas, ya sea por análisis de imágenes satelitales o información relevada en campo. De esta forma es posible calcular valores de aumento y/o la disminución en la superficie de la cuenca en diferentes lapsos de tiempo. Así, el Sistema de Información Geográfica consiste en una tecnología utilizada para la planificación del territorio a través del cual los estudios, evaluaciones y monitoreos evolutivos de fenómenos y simulaciones, y la representación cartográfica ganan en agilidad y precisión (Sonaglio & da Silva, 2009).

La utilización de información geográfica, georreferenciada correctamente, contribuye al uso de bases de datos, integrados a un SIG, las cuales por medio de geoprocésamiento permiten explorar los mecanismos que fuerzan los cambios de uso del suelo y las variables sociales, económicas y espaciales que los ocasionan; proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo junto con regímenes de manejo sobre los patrones de desarrollo en el territorio. Lo anterior aporta a la generación de parámetros que se pueden plasmar en un mapa cartográfico, para así visualizar y comprender ampliamente los patrones, relaciones y tendencias de los cambios espacio - temporales. Los SIG proporcionan una perspectiva dinámica de la información que permite tomar decisiones tendientes al ordenamiento territorial

El objetivo del trabajo es caracterizar la susceptibilidad a la inundación en el noroeste bonaerense. Para ello se definió una cuenca modal en la subregión A1 del río Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

MÉTODOLÓGIA

El Plan Maestro Integral de la Cuenca del río Salado (MOSP, 1999), consideró que la Subregión del Salado Superior, denominada A1, se ubica en el extremo Noroeste al interior de

la provincia de Buenos Aires. En un trabajo en curso, financiado por FONARSEC por la UNLP, se redefinieron los límites de la cuenca del río Salado, considerando toda su amplitud de drenaje superficial y de la subcuenca A1, como se presenta en la Figura 1.

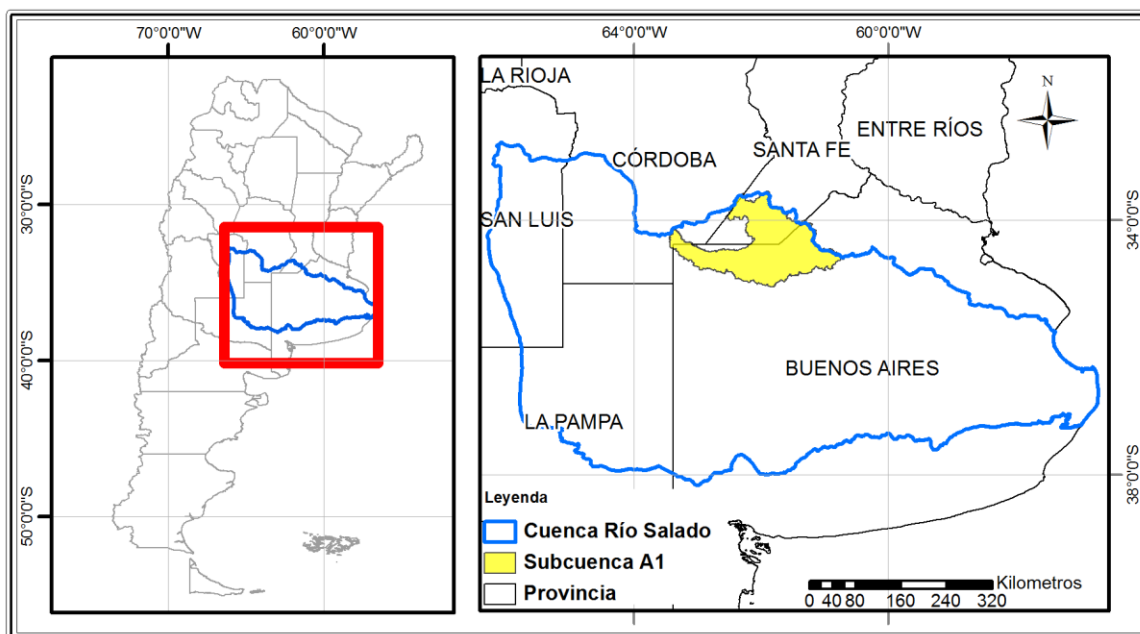


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Salado y detalle en A1. Fuente: Elaboración propia.

El detalle del presente trabajo permitió definir al área de aporte A1 como cuenca de estudio, la cual cuenta con una superficie de 17742,85 km². La misma se subdividió en subcuencas, las cuales conformaron el modelo de cuantificación de la susceptibilidad de la inundación y se caracterizaron geográficamente.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (UNEP) desarrollaron el Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS) en el que se define una clasificación de referencia con la finalidad poder estandarizar o recolectar los datos armonizados (LCCS, FAO 2005). Se realizó en la cuenca en estudio el análisis de la cobertura (bio) física observada en la superficie de la tierra, definida según FAO como cobertura de suelo (LCCS, FAO 2005). El concepto se refiere a la descripción de la vegetación y elementos antrópicos presentes y lo diferencia del concepto de uso de la tierra, que está caracterizado por los arreglos, actividades e insumos que el hombre realiza en un determinado tipo de cobertura terrestre para producir, cambiar o mantenerla (LCCS, FAO 2005). Los datos se procesaron con herramientas SIG generalizando la tipología de la información geográfica contenida, y se agruparon en zonas con características similares, interpretándolas mediante geoprocésamiento de superposición espacial de la información definida.

Además, se establecieron los factores edáficos limitantes, descriptos como propiedades y características del medio que influyen en el desarrollo de los cultivos, que resultan de los procesos de degradación del suelo por influencia antropogénica. Las limitantes edáficas superficiales detectadas en el área de estudio fueron vectorizadas a partir del mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000 del INTA (INTA,1989).

A partir del geoprocesamiento de ambos mapas vectoriales, se definieron categorías de susceptibilidad a la inundación. Las mismas se definieron en función de las características e incidencias de las capas que intervienen en su formación, definiendo áreas propensas a la inundación, categorizadas en alto, medio, bajo o nulo-indefinido.

La susceptibilidad es entendida como la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra. En otras palabras, la susceptibilidad es la probabilidad de ocurrencia de un evento sobre un área en base a las condiciones locales del territorio, en este caso se trata de la susceptibilidad a la inundación y deslizamiento de taludes que pueda ocurrir en una determinada zona o región. Se entiende por inundación a aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y que ocasionan daños a la población, a sus actividades e infraestructura. Para realizar los mapas de susceptibilidad a inundaciones y deslizamiento de taludes se utiliza el análisis multicriterio (AMC) combinado con herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). En este caso se calificaron los atributos que pueden favorecer o desfavorecer la susceptibilidad de inundación o deslizamientos de taludes. La identificación de susceptibilidades pueden ser de mucha ayuda en proyectos de planeación y establecimiento de políticas, ya que al identificar las zonas susceptibles de inundación o de deslizamientos de taludes, se pueden establecer políticas y acciones que eviten riesgos a los asentamientos humanos que se encuentren cerca o dentro de estas áreas, mediante su reubicación o la prohibición de construcciones¹.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El procesamiento geoespacial de la información contribuyó a definir 5 subcuencas, que se denominan numéricamente en forma progresiva desde las nacientes hacia su desembocadura, como se representa en la Figura 2. La cuenca A1 ocupa 11969.14 km² en la Provincia de Buenos Aires, 5206.96 km² en la Provincia de Santa Fe y 566.75 km² en la provincia de Córdoba.

Las subcuencas 1, 2 y 3 se encuentran en las tres provincias y las subcuencas 4 y 5 ocupan territorio bonaerense. Las subcuencas 1 y 2 ocupan la mayor superficie, con 7583,62 km² y 6766,14 km², seguidas de la subcuenca 4 con 1996,17 km². Las cuencas 5 y 3 son las más pequeñas, con una superficie de 798,72 km² y 598,20 km² cada una. La subcuenca 3, en su casi 600 km² es la que resume el agua de casi toda la cuenca A1. Del total de superficie, el 67 % se encuentra sobre territorio de Buenos Aires, el 29 % está en la provincia de Santa Fe y el 3 % restante en la de Córdoba.

El sistema de drenaje está compuesto por cursos de agua transitorios y permanentes. También hay 497 km² están ocupados por cuerpos de agua (lagunas), en los que se distinguen aproximadamente 200 km² de tipo permanente y alrededor de 300 km² de tipo no permanente. Se desarrollan principalmente en la Provincia de Buenos Aires (325 km²), mientras que en la Provincia de Santa Fe ocupan 169 km² y presentan un escaso desarrollo en la de Córdoba. Por otro lado, los bañados multiplican por dos veces y media la superficie ocupada por las lagunas,

¹ Susceptibilidad de inundaciones y deslizamiento de taludes. CONURBA. Colombia. 2013. <http://conurbamx.com/home/susceptibilidad-de-inundaciones-y-deslizamiento-de-taludes/>

en particular aquellos de tipo no permanente, teniendo en general una buena representación en las tres provincias: Buenos Aires 836 km²; Córdoba 19 km² y Santa Fe 498 km².

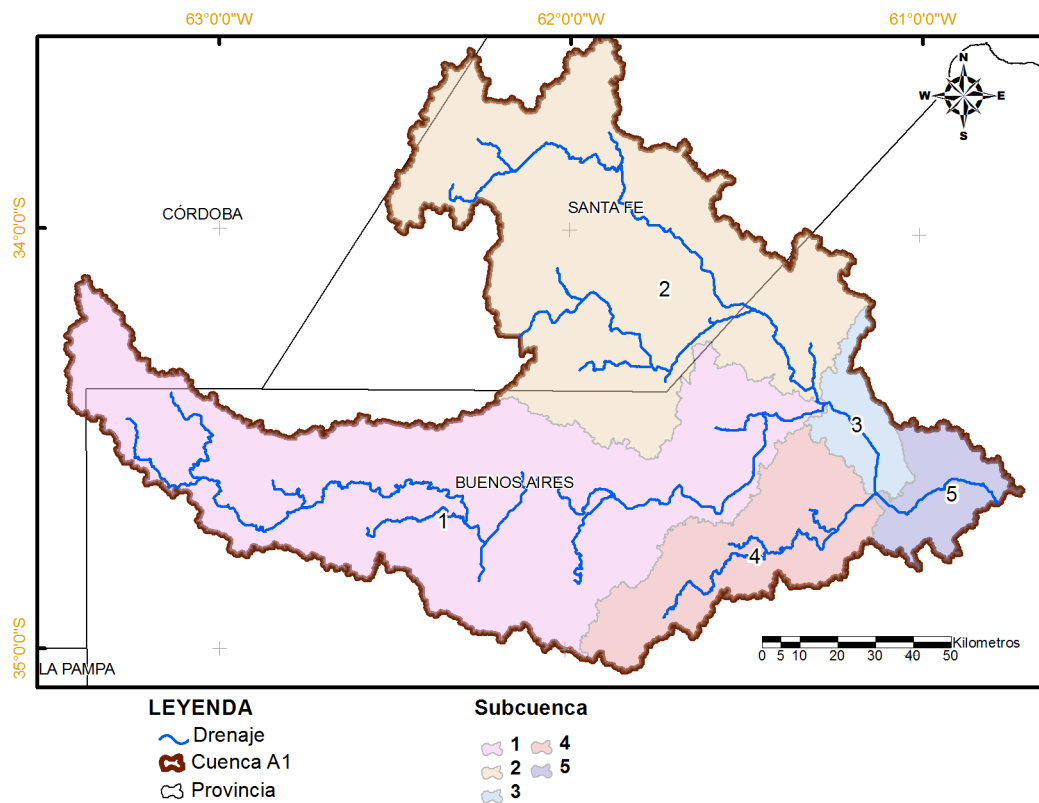


Figura 2. Detalle de las subcuencas de la A1.

De la aplicación de los conceptos formulados por el sistema de Clasificación de Cobertura de la Tierra de FAO - LCCS (2005), se vectorizaron las coberturas presentes en el área de la Cuenca A1, como se representa en la Figura 3, con sus respectivos porcentajes de ocupación por cobertura (Tabla I).

Las clases de uso del suelo contempladas fueron cultivos, pasturas/herbáceas/bañados, cuerpos de agua y zonas urbanas, que según la definición de FAO responden a las siguientes características:

Cultivo: Es una mezcla de distintas formas de vida (Graminoideas y No Graminoideas), que forman una capa continua de los dos elementos. Si la cobertura herbácea presenta graminoideas en más de un 75 % se define como vegetación Graminoide. Lo mismo sucede para el caso no graminoideas. En síntesis, el 80 % de la cuenca A1 se encuentra cultivada por formas de vida graminoideas y no graminoideas.

Pasturas/ herbáceas: En esta cobertura se homologaron las gramíneas que se presentan en comunidades con coberturas cerradas únicas (>65%) o combinadas con otras formas de vida. o cuando conforman comunidades con coberturas abiertas (del 65-15%), únicas o combinadas con otras formas de vida. Los árboles y/o arbustos pueden estar presentes con cobertura dispersa, es decir inferior al 15%.

Cuerpos de agua: Esta cobertura se refiere a las áreas cubiertas por agua, debido a la construcción de reservorios, canales, lagos artificiales, etc., De no haberse realizado estas construcciones, el área no debería estar cubierta por agua. Así y de acuerdo con la permanencia del agua en los sitios, los cuerpos de agua se pueden dividir en permanentes (cuando la duración es mayor a 9 meses), y no permanentes (cuando es menor a 9 meses).

Áreas urbanas: Son aquellas áreas con cobertura artificial como resultado de actividades humanas: construcciones, extracción o depósitos. La clasificación de las coberturas depende del aspecto superficial, en él se especifica si las superficies son construidas o no construidas. Las superficies construidas se caracterizan por la sustitución de la cobertura original con una cobertura artificial, frecuentemente impermeable.

Bañados: Está representada por los pastizales en comunidades de cobertura abierta o cerrada, únicas o combinadas con otras formas de vida. Puede haber presencia de árboles y/o arbustos. La característica en particular de esta cobertura es que se encuentra en áreas (semi) permanentemente inundadas o anegadas, por más de 4 meses al año, periodo de tiempo, que no necesariamente está ligado a una estación climática.

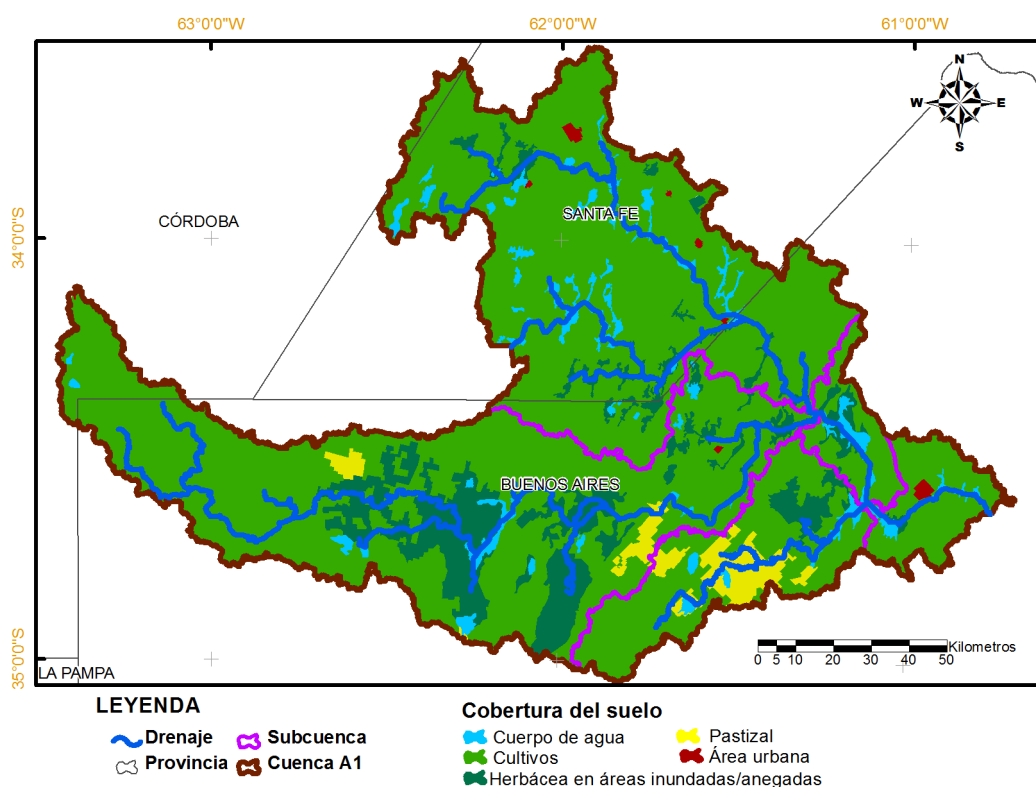


Figura 3: Coberturas de Tierra según clasificación LCCS. FAO 2005. Fuente: Elaboración propia

Tabla I: Superficie de ocupación de las clases de cobertura según FAO.

	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3	Subcuenca 4	Subcuenca 5	Totales Cuenca A1
	km2	km2	km2	km2	km2	km2
Áreas urbanas	7,19	28,47			18,44	54,11
cuerpos de agua	178,10	366,63	75,37	81,58	55,01	756,71
Cultivos	5786,69	6051,90	441,26	1416,87	713,64	14410,36
Bañados	1465,00	319,98	81,57	156,73	11,62	2034,90
Pasturas/herbaceas	146,63			340,98		487,61
Total general	7583,62	6766,98	598,20	1996,17	798,72	17743,69

Las limitantes edáficas superficiales detectadas en el área de estudio se describen a continuación y se representan en la Figura 4.

Áreas sin limitaciones: Son tierras que no presentan ninguna limitación para su uso de las cuales el 77% se encuentran distribuidos en las subcuencas 1 y 2, las que corresponden a los suelos productivos del sur de la provincia de Santa Fe y NO de la de Buenos Aires.

Drenaje deficiente: El drenaje deficiente implica la saturación del suelo en condiciones tales que el exceso de agua no permite más infiltración, también se considera un drenaje deficiente cuando se reduce la capacidad de infiltración debido a la compactación del suelo o la presencia de capas poco permeables. En suelos con drenaje deficiente, el agua de lluvia infiltra con lentitud, lo que hace que el suelo permanezca con excesiva humedad durante períodos cortos, impidiendo una buena absorción de nutrientes y favoreciendo el desarrollo de enfermedades fúngicas y bacterianas.

Susceptibilidad a inundación o anegamiento: Como surge de la Tabla, el 10% de la superficie total de la cuenca se zonificó con esta limitante, lo que representa 1829 km² siendo de relevancia, en orden decreciente, en las subcuencas 2 y 1 donde se zonificaron 1168 km² y 571 km², que representan el 6,6 % y 3,2 % del área total de la cuenca A1.

Baja retención de humedad: En líneas generales esta limitante no reviste relevancia en la cuenca. Está relacionada a las subcuencas 1 y 2 con 43 km² y 666 km² respectivamente, en las zonas cercanas a la provincia de Córdoba.

No apto agricultura: 180 km² que representan el 1 % de la totalidad del área de estudio se zonificaron como no aptas para las actividades agrícolas, distribuidas en forma homogénea en las cinco subcuencas.

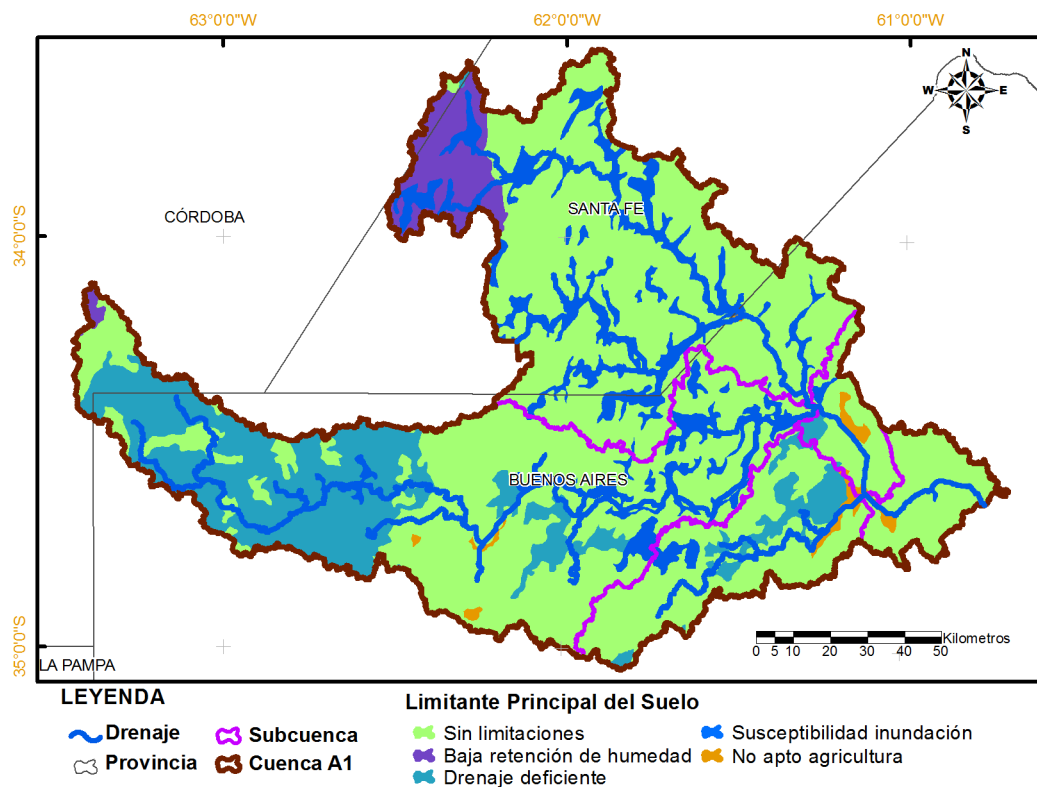


Figura 4: Limitantes principales presentes en el área de estudio

En la Tabla II se observa la superficie que ocupa cada limitante principal de los suelos presentes en el área de estudio en orden decreciente de importancia:

Tabla II. Superficie de limitantes principales de suelos de la cuenca A1.

	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3	Subcuenca 4	Subcuenca 5	Totales Cuenca A1
	km2	km2	km2	km2	km2	km2
Areas sin limitaciones	4287,28	4911,87	472,23	1502,59	767,42	11941,38
Drenaje deficiente	2647,16	11,30	48,79	373,95		3081,20
Suscep inund o anega	571,54	1168,62	17,72	67,19	3,95	1829,02
Baja retenc humedad	43,74	666,83				710,57
No apto agricultura	33,90	7,53	59,46	52,44	27,35	180,67
Total general	7583,62	6766,14	598,20	1996,17	798,72	17742,85

A partir de los mapas de cobertura de suelo FAO y limitantes principales de los suelos, se obtuvo el mapa de Susceptibilidad de inundación en la cuenca A1 (Figura 5). En este análisis se definió como de las áreas sin limitaciones edáficas presentan bajo a nulo el nivel de susceptibilidad. Las zonas con presencia de agua en superficie (inundables y/o drenaje deficiente) se clasificaron como medio – alto nivel de susceptibilidad.

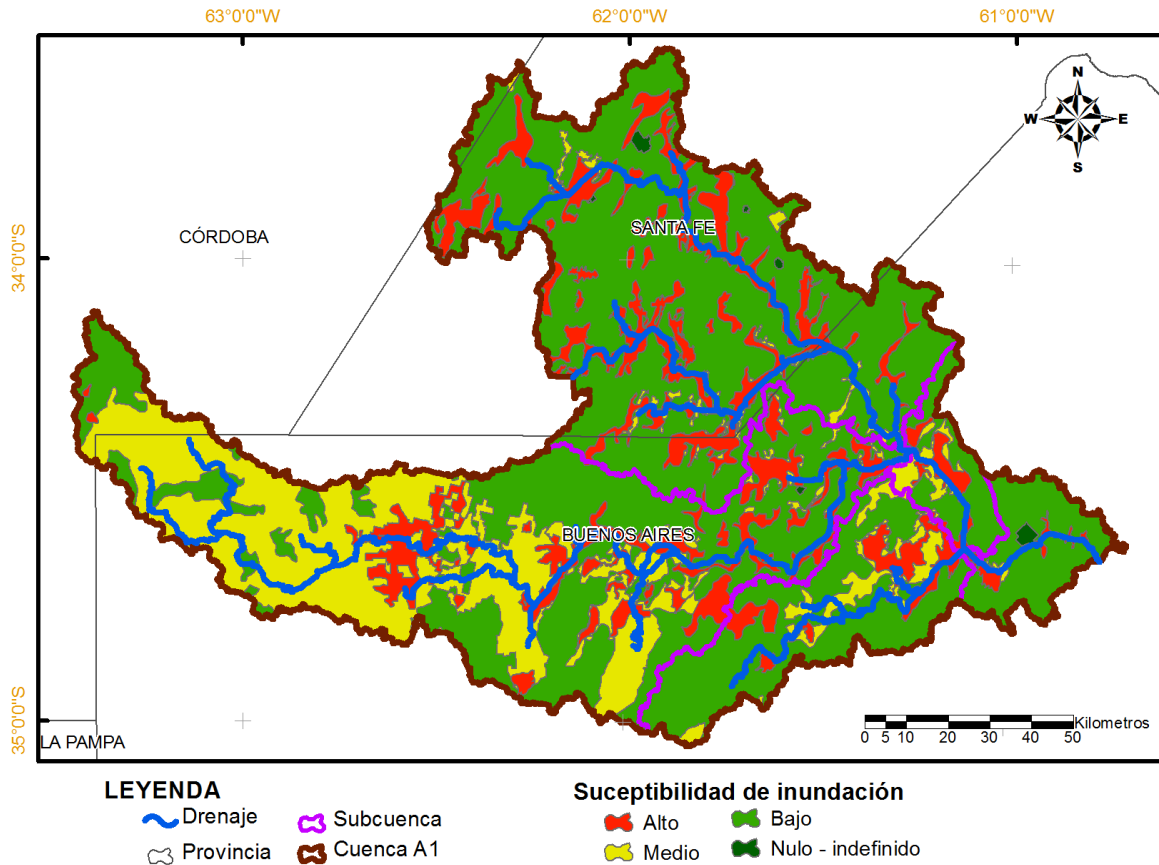


Figura 5: Mapa de susceptibilidad de inundación de la cuenca A1

Como surge de la Tabla III, el 62% de la cuenca A1 tiene una susceptibilidad baja de inundación, mientras que el 21 % presenta una susceptibilidad media y el 16 % es alta. Las áreas con mayor susceptibilidad estarían vinculadas al tipo de limitante principal asociado a usos vinculados.

Tabla III: Áreas susceptibles de inundación en la Cuenca A1

Susceptibilidad inundación	Area (km2)	Porcentaje
Alto	2896,8	16,3%
Medio	3777,4	21,3%
Bajo	11022,4	62,1%
Nulo - Indefinido	47,1	0,3%
Total	17743,7	

En la Tabla IV se presenta la superficie de ocupación por subcuenca según el nivel de susceptibilidad de inundación.

Tabla IV: Áreas susceptibles de inundación por subcuencas.

	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3	Subcuenca 4	Subcuenca 5	Totales Cuenca A1
	km2	km2	km2	km2	km2	km2
Alto	1076,36	1360,23	116,32	279,14	64,73	2896,78
Medio	3204,95	183,97	104,13	274,70	9,67	3777,42
Bajo	3299,27	5197,18	377,75	1442,32	705,88	11022,40
Leve	3,04	25,60			18,44	47,09
Total general	7583,62	6766,98	598,20	1996,17	798,72	17743,69

A partir de los resultados generales observados en la cuenca A1 y, desglosándolos a nivel subcuenca se puede observar que las subcuencas 1 y 2 presentan la mayor susceptibilidad de inundación. Tal como se describió a nivel general, la cuenca A1 tiene una baja susceptibilidad a inundarse.

CONCLUSIONES

El procesamiento con SIG permitió definir áreas susceptibles de inundación en forma geoespacial y de manera sencilla con datos disponibles en la web y en redes de información cartográfica. El 37 % de la cuenca A1 tiene susceptibilidad alta-media, observando que la susceptibilidad es elevada en zonas pertenecientes a las riberas de los ríos o cercanas a los cuerpos de agua, media en zona de amortiguación hídrica y/o actividades agropecuarias y baja en perímetros urbanos, ya que se asume que estos poseen una adecuada planificación territorial para prevenir o mitigar eventos de inundación.

REFERENCIAS

- Aliaga, G. 2006. Juan Peña Llopis. Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio. Revista de Geografía Norte Grande, (36), pp.97-101.
- FAO, 2005. Land Cover Classification System. Classification concepts and user manual. Software Version (2). Rome.
- Instituto Nacional de Tecnología Agrícola (INTA). 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires (escala 1:500.000) Buenos Aires, Argentina. 345 p.
- López, S, Rodríguez. A, Rodríguez. M. 2003. Modelado Hidrológico de la Cuenca del Río Salado, Buenos Aires, Argentina. Implementación de un SIG. (EtapaI) Sistemas & Información Global.
- M.O.S.P (1999). CD Rom. Plan Maestro Integral de la cuenca del río Salado
- Sonaglio, K. E. & da Silva Bueno, L. 2009. Zonificación, ocupación y uso del suelo por medio del SIG: una herramienta en la planificación sustentable del turismo. Estudios y perspectivas en turismo, 18(4), pp. 381-399.