

---

## TRABAJO PRÁCTICO N° 13

### SANEAMIENTO REGIONAL

---

La solución a los problemas de anegamiento e inundaciones a vastas zonas de producción agropecuarias es uno de los temas principales cuando se habla de saneamiento a nivel regional. En el presente trabajo práctico se desarrolla una evaluación hidrológica de un área del domo central de la provincia del Chaco, de producción agrícola dominante, la cual está sujeta a cíclicos períodos de inundación con significativa cobertura superficial que afectan en forma considerable los montos totales de producción, el rendimiento de los cultivos, la transitabilidad de los caminos, provocan inundaciones en centros urbanos, etc.

Esta evaluación permitirá conocer el comportamiento hidrológico del sistema natural en el área implicada y definir el caudal de diseño necesario para lograr el desagüe de los excedentes hídricos, en un período de tiempo compatible con la resistencia de los cultivos a las condiciones de anegamiento.

Las distintas etapas en la confección del trabajo son las siguientes:

- 1- Determinación del **área de aporte** o de influencia en la zona con problemas.
  - 2- Definición de los valores evapotranspiración, almacenamiento de agua en el perfil del suelo, precipitación, coeficiente de saneamiento y demás **parámetros** para realizar la evaluación hidrológica.
  - 3- **Evaluación hidrológica a paso mensual**, en la situación **natural** y con la **obra planteada**, para la alternativa de inundación elegida.
- 









### 1. **Determinación del área de influencia**

Atendiendo a las características particulares que presentan los sistemas hidrológicos de llanura y a los rasgos dominantes de los mismos en los períodos de excesos de agua que son significativos en volumen y en tiempo de permanencia, toma importancia la definición cuantitativa del área de influencia.

No puede configurarse un área de aporte constante como en los sistemas hidrológicos típicos, debido a las múltiples transfluencias bidireccionales que se presentan en períodos húmedos e hiperhúmedos, recibiendo y cediendo aportes de los subsistemas vecinos independientemente del sentido dominante del escurrimiento. Para adoptar una configuración fija del área de evaluación denominada área de influencia o área de aporte, se toma como base los siguientes puntos:

- Divisoria natural de agua con funcionamiento efectivo (sin transfluencias).
- Divisoria artificial de agua u obstrucciones artificiales al escurrimiento superficial (caminos vecinales, terraplenes, cunetas de defensa, etc.)

- La topografía del área en estudio, visualizada con la representación de las curvas de nivel, siendo estas las curvas que unen puntos de igual altura topográfica, con respecto a un nivel de comparación, "0" (cero) del Mareógrafo de Mar del Plata (MOP) ó "0" (cero) del Instituto Geográfico Militar (IGM).

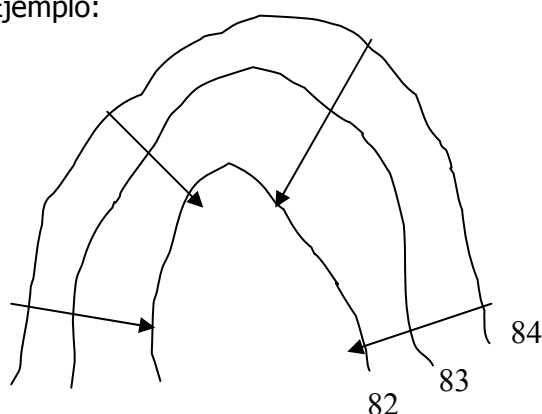
Para la determinación del área de influencia se cuenta además con los siguientes planos: a) dinámica de escurrimiento ó hidrodinámica, obtenidos por la interpretación de fotos aéreas, en el que se reflejan los principales sentidos de escurrimiento superficial, ya sea laminar (  ) ó concentrado (  ); las divisorias de escurrimiento, fuertes ó principales (  ) y débiles ó secundarias (  ); las transfuencias unidireccionales (  ) ó bidireccionales (  ); los cuerpos con agua permanentes (  ) ó esporádicos (  ).

Este plano permite, una vez identificada el área con problemas, plantear un área de influencia marcando con línea continua, las divisorias netas y secundarias que se unen entre sí, e interconectándose con la ayuda de las divisorias artificiales, calculándose su superficie.

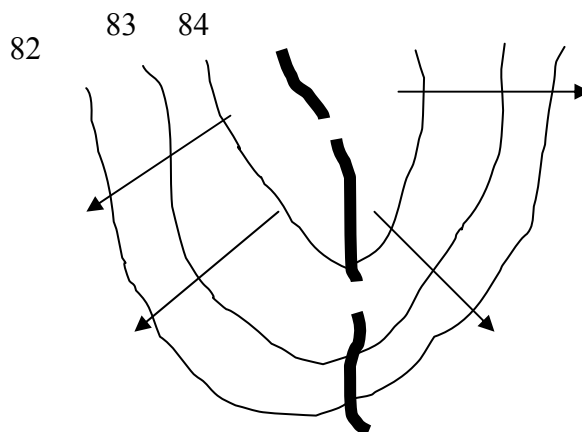
b) Curvas de nivel, referidas en este caso a IGM, en las que se observan las principales características topográficas, como son las lomas o zonas altas, y los bajos o zonas de acumulación de agua. El escurrimiento debe cortar en forma perpendicular a las curvas de nivel, siguiendo el principio de menor energía y menor recorrido.

La confluencia de las flechas hacia determinadas zonas determinan las zonas bajas; y en aquellos lugares donde las flechas indicativas del escurrimiento divergen, definen las zonas altas.

Ejemplo:



Zona baja  
Confluencia de escurrimiento



Zona alta  
Divisoria de escurrimiento

c) Mosaico de fotos aéreas ó imagen satelital, por ejemplo en escala 1:75.000, que ayudan a visualizar las zonas más significativas: montes, caminos, centros urbanos, cultivos, esteros, zonas anegables, etc.

d) Mapa base o catastral, con vegetación, donde se observan las divisorias catastrales, rutas y caminos vecinales, centros urbanos y viviendas rurales y otros. Sirve como plano base en el que se marca el área de influencia, que saldrá de la superposición de las definidas provisoriamente en los planos de dinámica de escurrimiento y de curvas de nivel.

Se debe contar además con un plano de uso actual de la tierra que defina las zonas con cultivo, bosque y anegables. Debe analizarse a través de una recorrida de campo, los intereses de los productores de la zona, de tal manera de sumarlos en la toma de decisión a su problema de inundación.

## 2. Determinación de parámetros y variables para la evaluación hidrológica

### 1) Precipitación

Teniendo en cuenta el clima de la región, en donde se alternan años húmedos, secos e intermedios; la variable precipitación es la de mayor importancia en el análisis hidrológico. Como primer paso se seleccionan las estaciones pluviométricas que se encuentran dentro del área de influencia, o bien aquellas que ubicadas fuera de la misma, tienen representación en las lluvias del área. Una vez seleccionadas, asegurada la confiabilidad de los registros se obtiene la precipitación media mensual del área de influencia, a través de los métodos de media aritmética ó polígonos de Thiessen, para el período en la cuál se tenga registro.

A tal fin se presentan como datos las planillas correspondientes a las estaciones pluviométricas involucradas, con los valores de precipitación mensual y anual, como así también los valores promedios, máximos y mínimos.

Como conclusión de este punto se debe presentar una planilla con los valores medios mensuales de precipitación que representen a las lluvias caídas en el área en estudio, para todo el período de registro existente.

### 2) Evapotranspiración

En la variable evapotranspiración se incluyen las pérdidas producidas en el sistema por el retorno a la atmósfera del agua precipitada, a través de la evaporación de las superficies libres o la transpiración de la vegetación. Como valor de entrada al modelo de evaluación a paso mensual, se toman los datos que se cuenten, según las siguientes alternativas de cálculo:

a) Utilizar el dato mensual de evaporación de tanque de la estación meteorológica más cercana, afectándolo de un coeficiente de tanque, el cual se debe ajustar.

b) Utilizar el valor de evapotranspiración potencial calculada por el método de Thornthwaite a partir de la temperatura media mensual del área obtenida en estación meteorológica representativa.

c) Utilizar una evapotranspiración promedio regional que combine las anteriores, tomando datos de varias estaciones meteorológicas vecinas.

La adopción de la serie de valores debe ser ajustada con los demás parámetros y variables del sistema hidrológico, siempre y cuando el área en estudio posea una sección de control del escurrimiento. Si no se cuenta con esos datos deben adoptarse los valores de evapotranspiración de las áreas vecinas que tienen mayor homogeneidad hidrometeorológica con la analizada.

Para éste punto, deben entregarse los datos de evapotranspiración mensual, que serán utilizados en la evaluación hidrológica, correspondientes al año hidrológico que cada grupo analizará de acuerdo a los datos. Debe entregarse además los valores del año anterior al evaluado, con el fin de definir la capacidad de almacenamiento de agua del suelo al iniciarse el año hidrológico con inundación.

### 3. Almacenamiento de agua en el perfil del suelo

#### a) Capacidad de almacenamiento máximo

Se considera aquí el almacenamiento de humedad que se produce en el perfil del suelo, tomando como tal al espesor que involucra la zona de desarrollo radicular o zona de evapotranspiración.

El trabajo se basa en la premisa de que en períodos de precipitaciones superiores a la media, concordantes con las épocas de inundación, el movimiento del agua se hace predominantemente vertical, alcanzándose la saturación una vez colmado el almacenamiento máximo del perfil, implicando en algunos casos que el nivel freático ingrese en la zona radicular.

El valor correspondiente al almacenamiento máximo para el área de influencia se calcula como un promedio ponderado de los valores puntuales que poseen cada una de las unidades de suelos que integran la zona de estudio. Los valores puntuales son calculados a partir de los datos proporcionados por la ficha edafológica de la unidad de suelo, considerando el porcentaje de agua de saturación y el espesor de cada horizonte.

Para cada unidad de suelo la capacidad de almacenamiento máximo se calcula como:

$$S_{\text{máximo}} = \Delta s (\sum_i \% \text{ agua de saturación}_i * \text{espesor}_i) \text{ [mm]}$$

$i = 1$  a  $n$ : Número de estratos o capas del suelo hasta la profundidad radicular  $D$ .

Una vez calculados estos valores, se obtiene el valor promedio ponderado para el área en estudio, afectando a cada valor por el porcentaje con que cada unidad de suelo participa en el total de área de influencia.

$$S_{\text{máximo ponderado}} = \sum_i (\% \text{ Suelo}_i \times S_{\text{máx}_i}) \text{ [mm]}$$

$i = 1$  a  $n$ : Número de unidades de suelo.

Este es el valor que se considera como capacidad de almacenamiento máximo en la evaluación hidrológica.

### b) Almacenamiento inicial:

Cuando el modelo de evaluación comienza a trabajar, en el año hidrológico de inundación en estudio; requiere el valor de almacenamiento de agua inicial, o sea en qué estado de humedad se encuentra el suelo antes del evento crítico de precipitación que genera la inundación. Se recuerda que el año hidrológico para esta región va desde septiembre hasta agosto, por lo cual el valor de almacenamiento corresponde a fines de agosto ó comienzo de septiembre.

Una forma aconsejada para conocer dicho valor es sumarle o restarle al valor de humedad de capacidad de campo (CC), el valor que resulte de la suma algebraica de precipitaciones y evapotranspiraciones mensuales del año hidrológico anterior al del evento crítico de inundación en estudio.

$$\text{Almacenamiento inicial (mm)} = \text{CC} \pm \Delta h$$

$$\Delta h = \sum_i (P_i - \text{EVT}_i) \text{ (mm)}$$

i = Meses del año hidrológico anterior al de inundación.

El valor de CC se obtiene utilizando la ficha edafológica de cada suelo, ponderado al igual que S máx.

$$\text{CC} = \sum_i (\% \text{ Equivalente de humedad } i * \text{espesor } i) * \Delta s$$

$$\text{MP} = \text{CC}/1.84$$

i = n° de estratos hasta la profundidad D.

$\Delta s$  = Densidad aparente de los suelos.

## 4. **Parámetro de ajuste del modelo**

1- Exceso superficial mínimo: Cuando la relación P-EVT registra un valor positivo y supera el S máx., comienza a manifestarse el exceso de agua en superficie. Los mismos comienzan a saturar los sectores del área de influencia analizado, como cubetas, lagunas, paleocauces, esteros, cañadas y otros; sin llegar a producir, por la baja energía del relieve, valores significativos de escurrimiento.

Este parámetro guarda estrecha relación con la cobertura porcentual de las áreas deprimidas, con el tirante medio que tales áreas pueden soportar sin desbordar. A través de la cartografía de niveles de inundación se puede estimar aproximadamente éste valor. Este volumen de agua mínimo almacenado en superficie sin que se produzca escurrimiento es el exceso superficial mínimo. Dicho volumen es traducido en una altura en milímetros considerando la superficie del área de influencia.

2) Exceso superficial máximo: En el extremo opuesto del análisis de los excesos superficiales, surge la condición impuesta por las inundaciones extraordinarias que determinan un límite físico al volumen de agua que cada zona puede llegar a retener con paso de tiempo mensual. Ese límite tiende a representar la situación de máxima saturación en superficie, de modo tal que

todo volumen de agua recibido por encima de ella, es transportado fuera del área, independientemente de la capacidad natural de evacuación del sistema. Este parámetro es el denominado exceso superficial máximo, que debe ser traducido en volumen unitario (mm) según la superficie de aporte en estudio.

### 3) Coeficiente de escurrimiento superficial (Ces)

Cuando se supera el almacenamiento superficial mínimo comienza el drenaje hacia las áreas más bajas. Este proceso de transferencia de agua superficial se da en el sentido dominante del escurrimiento y opera mediante un parámetro de ajuste llamado Coeficiente de escurrimiento superficial (Ces).

Tiene una analogía funcional con el coeficiente de escorrentía que se utiliza en Hidrología, con la diferencia de que el Ces actúa como factor de exceso superficial. También debe ser ajustado según los datos de contraste que se posean de campo, dentro del funcionamiento del modelo de evaluación hidrológica.

---

**DATOS DE EJEMPLO**

Determinar el área de influencia ó aporte, que permita diseñar un canal de saneamiento agrícola, en una zona con cíclicos problemas de inundación. Dicha zona es aledaña al sistema hídrico de la cuenca del Polvorín Palometa.

Para definir el área de influencia se debe tener en cuenta que la descarga del canal se debe concretar en el canal principal existente en la cartografía adjunta, en el punto A, tal como se observa en al plano catastral. Independientemente de los valores de superficie que se obtengan en este punto, para la evaluación se deberá adoptar un área de entre 15.000 a 20.000 hectáreas.

Se adjunta como material de trabajo lo que se lista a continuación:

1. Guía de resolución del trabajo práctico
2. Planos: a) Base o catastral y Topográfico (E = 1: 100.000)  
b) Hidrodinámica.
3. Suelos: a) Plano unidades de suelos. (E = 1: 50.000).  
b) Plano uso potencial de suelos. (E = 1: 50.000).  
a) y b) se obtiene de la carta de suelo de los Departamentos San Lorenzo y Quitilipi.

Para el caso a tratar en este práctico los suelos son los que se detallan a continuación en la proporción indicada: series Matanza; Defensa y Obraje.

**Serie Matanza:** porcentaje de participación en la cuenca 40 % -  $\Delta$ s: 1,34

Profundidad [cm]	0 – 20	20 – 35	35 – 46	46 – 70	70 – 105	105 – 140
Equivalente de humedad [%]	21.8	22.0	20.8	22.9	22.3	22.7
% de agua de saturación	47	39	39	43	44	44

**Serie Defensa:** porcentaje de participación en la cuenca 25 %;  $\Delta$ s: 1,42

Profundidad [cm]	0 – 12	12 – 26	26 – 53	53 – 100	100 – 145
Equivalente de humedad [%]	15.5	16.8	18.1	19.2	14.6
% de agua de saturación	37	38	40	38	38

**Serie Obraje:** porcentaje de participación en la cuenca 35 %;  $\Delta s$ : 1,25

Profundidad [cm]	0 – 13	13 – 37	37 – 60	60 – 120	120 – 160
Equivalente de humedad [%]	21.0	22.0	20.8	18.8	18.90
% de agua de saturación	45	40	39	37	34

4. Los datos de precipitación y evapotranspiración mensual del área, para el año de análisis son:

MES	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago
Precipitación [mm]	41	99	242	171	239	333	199	79	98	22	19	55
Evapotranspiración [mm]	155	181	133	101	164	144	139	71	56	39	34	30

5. Se adoptará una profundidad radicular para todos los suelos de  $D = 1,10$  metros.
6. Datos de ajuste:
  - a) Exceso superficial mínimo: entre 175 y 240 m<sup>3</sup>/ ha.
  - b) Exceso superficial máximo: entre 1750 y 2050 m<sup>3</sup>/ ha.
  - c) Coeficiente de escurrimiento superficial: entre 0,10 y 0,18.
  - d) Para control de ajuste de los parámetros, el mes de mayo tiene un valor de Q medio de 1,00 m<sup>3</sup>/s.

Informe cual es la capacidad necesaria de la obra de saneamiento, para que el área inundada del modulo no supere el 20 %.