

Propuesta TRABAJO PRÁCTICO

**UNIDAD CURRICULAR:
DISEÑO HIDROLÓGICO
CURSO 2024**



INSTITUTO DE MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E INGENIERÍA AMBIENTAL (IMFIA)
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

Índice

Objetivo	3
1. Análisis exploratorio de datos	4
1.1. Precipitación	4
1.2. Caudal	5
2. Necesidades de agua para riego de los cultivos	6
3. Disponibilidad del recurso hídrico superficial	7
3.1. Escurrimientos medios	7
3.2. Caudal ambiental	7
3.3. Balance hídrico al embalse	8
4. Efecto sobre el régimen hídrico	9

Objetivo

El presente trabajo práctico forma parte de la actividad obligatoria requerida para la ganancia del curso correspondiente a la unidad curricular “Diseño Hidrológico”.

Este trabajo es de resolución grupal y tiene como propósito complementar el aprendizaje del manejo de conceptos y herramientas vistos en las clases teóricas, en base a la resolución por parte del estudiante de un caso práctico concreto asociado a una cuenca hidrológica.

En particular, se espera que el estudiante aprenda a analizar la calidad de los datos hidrometeorológicos disponibles, estimar las necesidades de agua para riego de un cultivo y a evaluar la disponibilidad del recurso hídrico en una cuenca, de manera de analizar la garantía de satisfacción de la demanda.

La entrega consiste en un resumen extendido con longitud máxima que se especificará, donde se presente la metodología aplicada en cada una de las partes, los resultados solicitados y la discusión de los mismos.

Una vez entregado el trabajo deberá realizarse la defensa grupal del mismo que consistirá en una presentación oral del trabajo, en dos etapas, a mitad y final del semestre, durante las semanas de primeros y segundos parciales, respectivamente. Dicha defensa es de carácter obligatoria y tendrá una duración aproximada de 30 minutos por grupo.

1. Análisis exploratorio de datos

1.1. Precipitación

En la Tabla 1 se presentan las estaciones pluviométricas a ser consideradas por cada grupo. Los datos deberán ser descargados de las correspondientes páginas web.

Tabla 1: Estaciones pluviométricas a considerar por grupo.

Grupo	Estaciones
A	Treinta y Tres (INIA) y Nico Perez (UTE)
B	La Estanzuela (INIA) y Cardona (UTE)
C	Tacuarembó (INIA) y Paso de Los Cuadrados (UTE)

En la Tabla 2 se presentan las coordenadas geográficas de cada estación.

Tabla 2: Coordenadas geográficas de las estaciones pluviométricas.

Estación	Entidad	Longitud	Latitud
Treinta y Tres	INIA	-54,25	-33,23
Nico Perez	UTE	-55,15	-33,48
La Estanzuela	INIA	-57,69	-34,33
Cardona	UTE	-57,37	-33,87
Tacuarembó	INIA	-55,82	-31,71
Paso de Los Cuadrados	UTE	-55,95	-32,17

Para el par de estaciones pluviométricas correspondientes a cada grupo, se pide:

1. Diario

Graficar la serie temporal de precipitación diaria para cada estación. Identificar datos faltantes y eventuales outliers (fuera de rango).

Calcular el porcentaje del número de días de lluvia ($P > 0$ mm) por estación y realizar una comparación entre estaciones. Si hay diferencias evaluar si las mismas están concentradas en algunos períodos o son uniformes.

Hacer un histograma de montos en los días con lluvia, elegir adecuadamente los rangos.

Analizar la dispersión de los datos entre estaciones mediante la construcción de un diagrama de dispersión (scatterplot) de precipitación diaria para cada par de estaciones considerando: (i) todos los datos, (ii) temporada cálida (Octubre-Marzo) y (iii) temporada fría (Abril-Setiembre).

2. Mensual

Calcular la serie de acumulados mensuales de precipitación para cada estación y graficar la serie temporal resultante. Hacer un histograma de acumulados mensuales.

Analizar la dispersión de los datos entre estaciones mediante la construcción de un scatterplot de precipitación mensual para cada par de estaciones.

Caracterizar la variabilidad interanual en cada mes mediante la construcción de boxplots de precipitación para los 12 meses del año (ciclo anual) para cada estación.

3. Anual

Calcular la serie de acumulados anuales de precipitación para cada estación y graficar la serie temporal resultante.

Evaluar la consistencia de los datos entre las distintas estaciones pluviométricas mediante el método de doble masa.

4. Interpretación de resultados

En función de los análisis realizados anteriormente, y otras exploraciones complementarias que piensen sea útil incorporar, identificar/valorar posibles errores en las series de datos disponibles.

Seleccionar una serie de precipitación diaria para ser utilizada en los próximos pasos del trabajo práctico, más apropiada para la cuenca asignada.

1.2. Caudal

En la Tabla 3 se presentan las coordenadas geográficas del punto de cierre correspondiente a cada grupo. Se deberá identificar la estación hidrométrica más cercana a la zona de estudio y descargar la serie de caudales diarios de la página web de la [DINAGUA](#).

Tabla 3: Punto de cierre de la cuenca a considerar por grupo.

Grupo	Curso de agua	Longitud	Latitud
A	Ao. Del Sauce	-54,58°	-33,38°
B	Ao. Del Laurel	-57,67°	-34,14°
C	Ao. Del Sarandí	-55,95°	-32,12°

Para la estación correspondiente a cada grupo, se pide:

1. Graficar la serie temporal de caudales diarios. Identificar datos faltantes y fuera de rango.
2. Hallar la curva de permanencia de caudal (diario y mensual) e interpretar.
3. Explorar la relación P-Q en base a (i) grafica de barras invertidas de lluvia sobre gráfica de caudal y (ii) diagramas de dispersión con frecuencia diaria y mensual en aquellos períodos comunes en los datos.
4. En el caso de registros mensuales, intentar un ajuste entre ambas variables y cuantificar la dispersión.

Analizar y discutir los resultados obtenidos.

2. Necesidades de agua para riego de los cultivos

Se cuenta con 1100 ha disponibles para cultivos extensivos bajo riego, en principio con la intención de sembrar 500 ha de maíz para grano y 600 ha de soja.

Los cultivos se regarán con pivotes centrales con una eficiencia de aplicación del 85 %. Se adoptará una frecuencia máxima de riego de día por medio para la fase inicial y riegos diarios para las fases restantes en ambos cultivos. Se recuerda que el pivote central es un método de alta frecuencia que se maneja aplicando láminas de pocos milímetros en forma frecuente, manteniendo el suelo próximo a capacidad de campo.

El maíz se sembrará el 1/10 y la duración de las fases del ciclo del cultivo se estiman en 30/50/50/20 días.

La soja se sembrará el 1/11 y la duración de las fases del ciclo del cultivo se estiman en 20/30/55/40 días.

Para los cálculos que se solicitan a continuación se seguirá la metodología presentada en clase y se emplearán los datos de la estación experimental INIA más cercana a la zona de estudio.

Se pide:

1. Calcular las necesidades hídricas totales expresadas en m^3/mes para ambos cultivos.
2. Para realizar un cálculo preliminar a nivel de anteproyecto, se desea calcular el volumen de agua a embalsar (correspondiente a la necesidad de riego bruto), a partir de los datos de precipitación y evapotranspiración promedio para la zona.

Para calcular la precipitación efectiva, se deberá tener en cuenta que el riego se manejará con láminas de 7 mm durante la fase inicial y láminas de 14 mm en las fases restantes del ciclo (en ambos cultivos).

3. Los equipos de riego se agruparán de a dos para compartir la unidad de bombeo y un tramo de la tubería principal. Con la finalidad de seleccionar una de las unidades de bombeo y el diámetro de la tubería, calcular el caudal de riego (correspondiente al mes de máxima demanda hídrica) para dos centros pivotes de 50 ha de maíz y 60 ha de soja respectivamente. La jornada se fijó, por motivo de tarifa eléctrica, en 20 horas por día.

3. Disponibilidad del recurso hídrico superficial

3.1. Escurrimientos medios

Determinar la serie de escurrimientos mensuales mediante el modelo de Temez en el periodo con datos disponibles de precipitación para la cuenca de estudio (ver Tabla 4) y estimar la disponibilidad de agua media anual en la misma (expresada en Hm^3).

Tabla 4: Punto de cierre de la cuenca a considerar por grupo.

Grupo	X (km)	Y (km)	Curso de agua
A	725,445	6304,037	Ao. Del Sauce
B	437,814	6222,223	Ao. Del Laurel
C	599,257	6445,962	Ao. Del Sarandí

(*) Coordenadas en el sistema UTM21S-WGS84.

Para el cálculo, considerar los valores medios de los parámetros del modelo obtenidos en la calibración regional y emplear el ciclo medio anual de evapotranspiración potencial (ETP) a partir del mapa de isolíneas de ETP media anual de Uruguay y los correspondientes coeficientes de distribución del ciclo medio anual.

Analizar el comportamiento del ciclo medio anual de precipitación y de escurrimiento en la cuenca.

3.2. Caudal ambiental

Estimar el caudal ambiental (para cada mes del año) según la determinación provisoria propuesta en el decreto sobre la reglamentación de caudales ambientales en Uruguay (Decreto 368/018) a partir de:

1. Serie de caudales diarios empleada en el punto 1.2.
2. Curvas de frecuencias de caudales específicos diarios estacionales normalizados publicados por la DINAGUA (2019)¹ correspondientes a la cuenca aforada más cercana a la zona de estudio.
3. Serie de caudales diarios simulados con el modelo GR4J². Para el cálculo, considerar los valores medios de los parámetros del modelo obtenidos en la calibración regional (Narbondo et al., 2020).

Comparar y discutir los resultados obtenidos con las distintas metodologías.

¹ En el EVA se encuentra disponible el documento “Regionalización de estadísticas de caudales” publicado por la DINAGUA (2019).

² Se adjunta la planilla del modelo GR4J publicada por el INRAE en su página web: <https://webgr.inrae.fr/webgr-eng/tools/hydrological-models/daily-hydrological-model-gr4j>.

3.3. Balance hídrico al embalse

Dado el proyecto de una presa para riego en el punto de cierre de la cuenca y definida la curva cota-superficie inundada del embalse según la Tabla 5 (se hace notar que dicha curva no corresponde a los respectivos puntos de cierre y se utiliza a los efectos de este ejercicio).

Tabla 5: Relación cota-superficie inundada del embalse.

H (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A (ha)	0	6,24	30,89	53,2	76	102,7	137,99	168,1	194	232,5	271,8

(*) La curva $A = f(H)$ se podrá aproximar mediante un ajuste potencial en base a dichos puntos.

A partir de la serie de escurrimientos mensuales calculada en el punto anterior y mediante un balance hídrico al embalse, se pide analizar la garantía de cumplimiento simultáneo para cada uno de los siguientes usos (ordenados según prioridad decreciente) en función de la cota de vertido de la presa:

1. Caudal ambiental (calculado en el punto 3.2).
2. Riego del área de maíz, considerando que es un cultivo con mayor respuesta al riego (en base a las estimaciones realizadas en el punto 2).
3. Riego del área de soja (en base a las estimaciones realizadas en el punto 2).

Para el cálculo, considerar el ciclo medio anual de evaporación de Tanque A de la estación meteorológica más cercana a la cuenca de estudio y suponer que no existen pérdidas por infiltración en el embalse.

Discutir los criterios para considerar satisfecha la demanda y, en base a los resultados obtenidos, seleccionar una cota de vertido para la presa.

4. Efecto sobre el régimen hídrico

Para la cota de vertido seleccionada anteriormente, evaluar el efecto causado por la obra de regulación, y las demandas asociadas, sobre el régimen hídrico del curso de agua en el tramo inmediatamente aguas abajo de ésta.

Dicha evaluación incluirá la comparación entre las situaciones:

- i) Sin presa (la original)
- ii) Con presa, pero sin demandas
- iii) Con presa y la demanda (a), caudal ambiental
- iv) Con presa y las demandas (a) y (b), caudal ambiental y maíz
- v) Con presa y las demandas (a), (b) y (c), caudal ambiental, maíz y soja

de, al menos:

1. Ciclos medios anuales de escurrimiento.
2. Curvas de permanencia de caudal (mes a mes y global).