



BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico se establece para un lugar y un período dados, por comparación entre los aportes y las pérdidas de agua en ese lugar y para ese período. En esta definición surgen como datos que se deberán analizar, las entradas y las salidas de agua.

Los **ingresos de agua** a la cuenca hidrográfica se dan en nuestro análisis de las siguientes formas:

- **Precipitaciones:** lluvia; nieve; granizo; condensaciones;
- Aporte de **aguas subterráneas** desde cuencas hidrográficas colindantes, en efecto, los límites de los acuíferos subterráneos no siempre coinciden con los límites de los partidores de aguas que separan las cuencas hidrográficas;
- **Otros aportes:** pluvial Ovoide a través de la descarga de la Laguna I, descarga de Servicoop Puerto Madryn provenientes de lavado de filtros, descarga desde la Base Alte.Zaar efluentes.

Los **egresos de agua** se dan en nuestro análisis de las siguientes formas:

- **Evaporación** desde superficies líquidas, como lagos, estanques, pantanos, etc.;
- **Infiltraciones** profundas que van a alimentar acuíferos;
- **Salida de la cuenca**, hacia un receptor o eventualmente hacia el mar.

El establecimiento del balance hídrico completo de una cuenca hidrográfica es un problema muy complejo, que involucra muchas mediciones de campo. Con frecuencia, para fines prácticos, se suelen separar el balance de las aguas superficiales y el de las aguas subterráneas. En nuestro estudio solamente se considerará el balance de las aguas superficiales.

En una primera etapa se recopilamos los datos necesarios para la elaboración del Balance Hídrico. A continuación se analizarán cada una de las variables que se involucran en el presente balance:

INGRESOS

Precipitación: respecto a las lluvias tomadas para el cálculo del Balance Hídrico, se obtuvieron de INTA los datos medios mensuales en los últimos diez años.

Como aporte de precipitación será el que ingrese a la cuenca de aporte directo.

Existen otros aportes tales como:



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
Obra: PLUVIAL TRELEW – DESVINCULACIÓN DE LOS CUENCOS RECEPTORES DE
LÍQUIDOS PLUVIALES DE LA CIUDAD DE TRELEW
Ubicación: Ejidos de Trelew y Rawson

- Aportes del Sistema Pluvial Owen y Musters: se ha considerado el aporte que se realiza desde los cuencos pluviales, considerando el Protocolo de Bombeo, en donde se bombeará semanalmente tres horas (en una primera estimación), en situaciones sin lluvia y en lluvias leves. Esta agua proviene principalmente de la napa freática y de pluvial. Como consideración se deberá bombear inicialmente el agua existente en el Cuenco hasta llegar a cota 1 m respecto al fondo del sistema Owen (4m IGM), sumando el agua en los canales y conductos de este sistema y del proveniente del sistema de Musters.
- Efluentes cloacales, inyectados en la Laguna III: para el cálculo se consideró el volumen de líquido bombeado en función de la capacidad máxima de bombeo instalada por la cuatro bombas existentes en Estación de Bombeo Carrasco durante 24 hs. Este valor es: $166 \text{ litro/seg} \times 4 \text{ unidades} = \mathbf{664 \text{ l/seg}}$
- Pluviales que aportan a la Laguna II: Sistema Ovoide y excedentes de la Laguna I
- Aportes pluviales de la cuenca donde se encuentran inmersas las lagunas
- Descargas cloacales de la Base Almirante Zar
- Efluentes líquidos del lavado de filtros de la Planta Potabilizadora de Puerto Madryn

Se adjunta planilla con “Volúmenes máximos mensuales” de los ingresos a las lagunas de los aportes diarios de las Descarga de Líquidos cloacales del Sistema Cloacal de Trelew, como también del Sistema Cloacal de la Base Almirante Zar y de los lavados de filtros de Servicoop. No fueron tenidos en cuenta los aportes pluviales formados por los Pluviales del Sistema Ovoide, excedentes de Laguna I y los propio aportes de las cuencas y subcuencas, ya que la comparación de efluentes ingresados en esta planilla no se producen en simultáneo con aportes de los bombeos de los Sistemas Owen y Musters, ya que los generados en dichos sistemas, en circunstancias de lluvias fuertes son volcados al río, y la incidencia del bombeo en la primera etapa a las lagunas es insignificantes.

Se consideraron los datos más relevantes de la información disponible, elaborando las planillas de “Valores mensuales Promedio de Evapotranspiración Potencial” con valores diarios desde 02/07/80 a 31/01/14 y “Precipitación Promedio Mensual” dato: INTA - Trelew (EMC) - Trelew EEA INTA Latitud: -43.23 Longitud: -65.3 Altura: 10Mts Ubicación: Ex Ruta 25 Km1480, Tipo: Convencional Instrumento. Completo Inicio de datos: 01/04/1989 2014. Se adjuntas dichas planillas.

En el análisis realizado, se consideraron los aportes de los Sistemas Owen y Musters que mediante la presente obra se volcarán al Sistema Lagunar, a fin de ver cómo impacta en los niveles de las mismas.

EGRESOS

Evaporación

Es un proceso físico por el cual determinadas moléculas de agua aumentan su nivel de agitación por aumento de temperatura, y si están próximas a la superficie libre, escapan a la atmósfera. Inversamente otras moléculas de agua existentes en la atmósfera, al perder energía y estar próximas a la superficie libre pueden penetrar en la masa de agua. Se denomina evaporación el saldo de este doble proceso que implica el movimiento de agua hacia la atmósfera. La evaporación depende de la insolación, del viento, de la temperatura y del grado de humedad de la atmósfera.

Factores que determinan la evaporación

a) Radiación solar: Es el factor determinante de la evaporación ya que es la fuente de energía de dicho proceso.

b) Temperatura del aire. El aumento de temperatura en el aire facilita la evaporación ya que: en primer lugar crea una convección térmica ascendente, que facilita la aireación de la superficie del líquido; y por otra parte la presión de vapor de saturación es más alta.

c) Humedad atmosférica. Es un factor determinante en la evaporación ya que para ésta se produzca, es necesario que el aire próximo a la superficie de evaporación no esté saturado (situación que es facilitada con humedad atmosférica baja).

d) El viento. Después de la radiación es el más importante, ya que renueva el aire próximo a la superficie de evaporación que está saturado. La combinación de humedad atmosférica baja y viento resulta ser la que produce mayor evaporación.

El viento también produce un efecto secundario que es el enfriamiento de la superficie del líquido y la consiguiente disminución de la evaporación.

e) Tamaño de la masa de agua. El volumen de la masa de agua y su profundidad son factores que afectan a la evaporación por el efecto de calentamiento de la masa.

Volúmenes pequeños con poca profundidad sufren un calentamiento mayor que facilita la evaporación.

f) Salinidad. Disminuye la evaporación, fenómeno que sólo es apreciable en el mar.



Evaporación potencial: estos datos son obtenidos de la base de Datos Históricos disponible en INTA, con valores diarios desde el año 1980 hasta 2014, existiendo algunos faltantes. Con los valores adquiridos se obtuvo un valor promedio a efecto de usarlo en la fórmula. Se adjuntan las tablas de valores diarios y de valores promedios mensuales.

Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

Se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo. Factores que afectan la capacidad de infiltración: Influyen en el proceso de infiltración: entrada superficial, transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, características del medio permeable, y características del fluido. Entrada superficial: La superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan, o retrasen la entrada de agua al suelo. Transmisión a través del suelo: El agua no puede continuar entrando en el suelo con mayor rapidez que la de su transmisión hacia abajo, dependiendo de los distintos estratos. Acumulación en la capacidad de almacenamiento: El almacenamiento disponible depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente. Características del medio permeable: La capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo –arenoso, arcilloso-, la vegetación, la estructura y capas de suelos. Características del fluido: La contaminación del agua infiltrada por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido, y la cantidad de sales que lleva.

Dado que se estima que la infiltración, debido a las características del suelo de ser poco permeable, como también la cantidad de finos y coloides que posee el agua que ingresa al Sistema Lagunar, generando la colmatación del fondo de las mismas, en el presente estudio no se ha considerado el efecto de dicha variable, que si bien es mínima, colaboraría con el balance entre lo que ingresa y lo que egresa en las mismas. La no consideración de esta variable la hora de obtener un resultado nos da un margen de seguridad dado que no se consideran los egresos por esta vía.



VOLÚMENES DEL SISTEMA

- **CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL SISTEMA LAGUNAR**

En el sistema lagunar se encuentran las siguientes lagunas, que intervienen en nuestro análisis:

Laguna II o de la Base: la misma posee un volumen de 162.500 m³, para la cota IGM 5.50 metros del pelo de agua o cota superficial, con una superficie para dicha cota, de 32,5 Has.

Laguna III o del Caño: la misma posee un volumen de 355.000 m³, para la cota IGM 5.50 metros del pelo de agua o cota superficial, con una superficie para dicha cota, de 76 Has.

Laguna IV o de Ornólogo: la misma posee un volumen de 2.080.000 m³, para la cota IGM 5.50 metros del pelo de agua o cota superficial, con una superficie para dicha cota, de 445 Has.

Laguna V o del Basural: la misma posee un volumen de 627.500 m³, para la cota IGM 5.50 metros del pelo de agua o cota superficial, con una superficie para dicha cota, de 131 Has.

Laguna VI o del Salitral: la misma posee un volumen de 10.040.000 m³, para la cota IGM 5.00 metros del pelo de agua o cota superficial, con una superficie para dicha cota, de 2259 Has.

Se adjunta planilla de volúmenes para las cotas de pelo de agua según IGM, obtenidos los datos de los estudios realizados por la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco “Plan de Manejo y Gestión Integral del Sistema de Tratamiento de Efluentes de la Ciudad de Trelew – Tomo II”. Diferencia entre Plano de Comparación IGM y MOP= 0,56 mts.

- **SISTEMA OWEN**

El cuenco Owen está posee la particularidad de tener el fondo en tres niveles distintos. Para poder analizar el volumen que posee el mismo se lo consideró formado por subcuencos como se adjuntan a continuación:

Subcuenco 1

Ancho base: 50 m

Largo: 205 m

Pendiente talud: 1:4

Cota fondo 1: 0,00 (IGM: 3,00 m)



Subcuenco 2

Ancho base: 70 m

Largo: 232 m

Pendiente talud: 1:2

Cota fondo 2: 1,60 m (IGM: 4,60 m)

Subcuenco 3

Ancho base: 206 m

Largo: 234,5 m

Pendiente talud: 1:2

Cota fondo 3: 2,40 m (IGM: 5,40 m)

Canal: el volumen se obtiene como las semisumas de las áreas de la sección transversal x la longitud entre ambas.

Ancho fondo: 3,50 m

Talud: 1:1

Altura: hasta 1,60 m revestido. De 1,60 hasta 3,20 de suelo natural.

Longitud:

Conductos: en el primer tramo hasta 400 metros

Base: 3,60 m

Altura: 1,20 m

Segundo tramo: hasta Progresiva 800 metros

Base: 3,00 m

Altura: 1,20 m

Tercer tramo: hasta Progresiva 1200 metros

Base: 2,80 m



Altura: 1,20 m

Cuarto tramo: hasta Progresiva 1300 metros

Base: 2,00 m

Altura: 1,10 m

Además, en el análisis se deben considerar el volumen de líquidos que se encuentran en el canal y en los conductos que llegan al mismo, para la cota de estudio,.

Los volúmenes que se considerarán en el Sistema Owen es la suma del volumen de Cuenco, más el volumen del Canal a cielo abierto en calle Price que llega al cuenco más el volumen del conducto que desemboca en el canal, dado la baja pendiente (0,06%) que posee el sistema pluvial Owen y que el canal llega al Cuenco con cota de fondo similar que la cota de fondo del Subcuenco más profundo. Esta situación genera que el canal se encuentre siempre lleno, si el cuenco se encuentra lleno. En el análisis se consideraron los volúmenes para las distintas alturas dentro del cuenco, denominando “cota cero” a la cota del fondo del cuenco, obteniendo luego los volúmenes aumentando las cotas de pelo de agua o tirantes el cuenco cada 0,25 metros. Considerando la pendiente tan baja que posee el canal de llegada, y que desemboca en la cota de fondo más profunda, generando que el canal se encuentre siempre lleno, si el cuenco se encuentra lleno.

El volumen que se deberá erogar en una primera etapa, a fin de adecuar los sistemas al nivel ideal de operación, considerando este nivel en cota 1,00 de pelo de agua, será de 60919 m³, que siendo erogados con la bomba dispuesta para la obra en estudio, se realizará en un tiempo estimado de 84 horas.

- **SISTEMA MUSTERS**

El volumen del Cuenco Musters surge de considerar las dimensiones del mismo (área x altura del tirante de agua):

Cuenco

Ancho base: 45 m

Largo: 240 m

Pendiente talud: 1:2



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
**Obra: PLUVIAL TRELEW – DESVINCULACIÓN DE LOS CUENCOS RECEPTORES DE
LÍQUIDOS PLUVIALES DE LA CIUDAD DE TRELEW**
Ubicación: Ejidos de Trelew y Rawson

Cota fondo 1: 0,00 (IGM: 2,50 m)

Además, en el análisis también se consideró un tramo del conducto que llega al Cuenco, para la cota de estudio, dado la baja pendiente (0,13%) que posee el sistema pluvial Musters y que el conducto llega al Cuenco con cota 0,75 mts por encima de la cota de fondo de dicho cuenco.

Conductos: en el primer tramo hasta 120 metros

Base: 4,50 m

Altura: 1,50 m

Segundo tramo: hasta Progresiva 1520 metros

Base: 4,00 m

Altura: 1,50 m

Tercer tramo: hasta Progresiva 2220 metros

Base: 3,80 m

Altura: 1,40 m

Cuarto tramo: hasta Progresiva 2920 metros

Base: 3,00 m

Altura: 1,20 m

Los volúmenes que se considerarán en el Sistema Musters es la suma del volumen de Cuenco más el volumen del Conducto que llega al cuenco. En el análisis se consideraron los volúmenes para las distintas alturas dentro del cuenco, considerando la cota cero la cota del fondo del cuenco, correspondiente a la cota 2,50 IGM, obteniendo luego los volúmenes aumentando las cotas de pelo de agua en el cuenco cada 0,25 metros. La pendiente en el conducto es de 0,13%.

El volumen que se deberá erogar en una primera etapa, a fin de adecuar los sistemas al nivel ideal de operación, considerando este nivel en cota 1,75 de pelo de agua, será de 21921 m³, que bombeando con la bomba dispuesta para la obra en estudio, se realizará en un tiempo estimado de 40 horas.

Se adjunta las planillas de **Volumen en función de la Altura**, considera para cada tirante dentro del cuenco, determinará el Volumen de agua acumulada en el cuenco, canal y conducto de los Sistemas Pluviales. Como consideración, las operaciones iniciales a la puesta normal en



funcionamiento del sistema, serán el vaciado de los sistemas a efectos de lograr los niveles normales de funcionamiento diseñados. En este sentido, la planilla nos determina el volumen de agua a impulsar hacia las lagunas en cada sistema, disponiendo inicialmente lograr el tirante de 1,00 metros en el sistema Owen (4,00 m IGM) y de 1,75 metros en el sistema Musters (4,25 m IGM).

Se adjunta planillas de Superficie de las Lagunas en función de la cota IGM y Volúmenes en función de la cota IGM. Estos valores fueron extraídos del estudio realizado por la UNPSJB para el “Plan de Manejo y Gestión Integral del Sistema de Tratamiento de Efluentes de la Ciudad de Trelew – Tomo II”,

FÓRMULAS UTILIZADAS

Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual estimada, podemos estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año. El conocimiento del balance de humedad (balance hídrico) es necesario para definir la falta y excesos de agua, definir la hidrología de la zona y para la planificación hidráulica. En este caso abordaremos el método de estimación del balance hídrico directo.

En el método directo el agua del suelo se va perdiendo mes a mes hasta agotar la reserva para poder cubrir las necesidades de agua (evapotranspiración).

METODO DIRECTO

El balance hídrico se definió mes a mes los siguientes parámetros (en mm):

P : precipitación media o mediana mensual

ET : evapotranspiración (potencial o de referencia)

P-ET : diferencia entre la P y la ET

R : reserva

VR : variación de la reserva

ETR : evapotranspiración real

Deficit : falta

Ex : exceso



D : drenaje

A continuación analizaremos los diferentes parámetros.

- P-ET

Es el balance mensual de entradas y salidas potenciales de agua del suelo. La diferencia nos clasifica los meses en secos ($P-ET < 0$) en nuestro caso durante todo el año y en meses húmedos ($P-ET > 0$) según las entradas superen o no a las salidas potenciales.

- R, reserva

Cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas, ($P > ET$) el agua sobrante pasará a engrosar la reserva de las lagunas; por el contrario, cuando las salidas son mayores que las entradas se reducirá la reserva en el sistema lagunar.

Como referencia climática se toma una reserva máxima de 100 mm. El valor se toma como referencia climática para comparaciones entre distintas zonas (independientemente del suelo y vegetación).

No se considera la vegetación en este caso, ya que el sector es árido y, por tanto, la reserva máxima será la capacidad del suelo para retener agua, hasta la profundidad de infiltración, que para nuestro caso no se tuvo en cuenta.

En el balance hídrico, la reserva del mes se calcula agregando los incrementos ($P-ET$) cuando estos son positivos. Así la reserva en el mes "i" (en función de la del mes anterior "i-1") será:

$$R_i = \begin{cases} R_{i-1} + (P_i - ET_i) & \text{si } 0 < R_{i-1} + (P_i - ET_i) < R_{\text{máx}} \\ R_{\text{máx}} & \text{si } R_{i-1} + (P_i - ET_i) > R_{\text{máx}} \\ 0 & \text{si } 0 > R_{i-1} + (P_i - ET_i) \end{cases}$$

Los valores de la reserva se irán acumulando mes a mes en el período húmedo, según los incrementos $PET > 0$, y disminuirán al llegar el período seco, decreciendo mes a mes según los valores mensuales $P-ET < 0$. En nuestro caso disminuyen todos los meses.

A efectos de cálculo, se suele suponer que después del período seco la reserva del suelo es nula. Por el contrario, si todos los meses son secos, como en el presente caso, la reserva es nula en todos los meses.

- VR: variación de la reserva

Es la diferencia entre la reserva del mes en el que estamos realizando el cálculo y la reserva del mes anterior:

$$VRi = Ri - Ri-1$$

En este caso la variación de la reserva es nula, dado que las reservas son todas nulas, a efectos de visualizar una variación de reserva, se supuso que la reserva varía con los ingresos puntuales existentes y planteados en esta obra, expresados en mm.

- ETR: evapotranspiración real

Aunque según el clima habrá una capacidad potencial de evapotranspirar la evapotranspiración potencial sólo se podrá evapotranspirar tal cantidad si hay agua disponible. La evapotranspiración real es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar.

En el período húmedo, al cubrir la precipitación la demanda potencial la ET real es igual a la potencial; es decir,

$$ETRi = ETi.$$

En el período seco, el agua que se evapora será el agua de precipitación más la que extraemos del suelo ó variación de la reserva (la reserva que nos queda menos la que teníamos el mes anterior, como tendrá signo negativo se toma el valor absoluto); es decir:

$$ETRi = Pi + |VRi|$$

A efectos de considerar los ingresos al Sistema Lagunar de los pluviales en estudio es que se lo define la variación de reserva con los valores indicados en la tabla y que representan estos ítems.

- Déficit: falta de agua

Es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar).

$$\text{Por tanto, la falta de agua es: Deficit} = ETi - ETRi.$$

- Exceso: exceso de agua

Es el agua que excede de la reserva máxima y que se habrá perdido por escorrentía superficial o profunda, en nuestro caso es nulo.

Por tanto:



$$Exi = [Pi - ETi - VRi] \text{ si } (Pi - ETi) > 0$$

$$Exi = 0 \text{ si } (Pi - ETi) \leq 0$$

Como es lógico sólo puede haber exceso si la precipitación ha compensado previamente la ET, es decir, en los meses húmedos.

- D: desagüe

Así tenemos:

$$Di = 0,5 \cdot [Di-1 + Exi]$$

Tampoco en este caso existe desagüe.

Asimismo se adjunta Planilla del Balance Hídrico, de acuerdo a la metodología planteada anteriormente y cuyas conclusiones se exponen a continuación.

CONCLUSIONES

- **BALANCE HIDRICO**

El balance hídrico analiza el movimiento de la masa hídrica del sistema en estudio. El objeto del mismo es determinar el efecto de inyectar los efluentes provenientes de los pluviales Muster y Owen al sistema lagunar, trasvasando desde el primero hacia el segundo los excedentes producto de las infiltraciones por napa y/o lluvias débiles. El impacto sobre el sistema lagunar es casi nulo frente a los demás ingresos existentes, en orden de magnitud siendo el caudal máximo instalado del treinta por ciento respecto a los efluentes cloacales.

Del análisis del balance se deduce que existe un dominio de la evaporación sobre los otros parámetros considerados.

Este análisis evidencia las modificaciones de las variables, producto de la nueva situación del sistema al concluir la obra planteada. En el análisis llevado adelante se ha planteado la hipótesis de suponer una variación de la reserva. A efectos de considerar los actuales ingresos, se estimó el volumen máximo de agua impulsada o erogada en los puntos detallados como las descargas puntuales: desde la planta potabilizadora de Puerto Madryn (lavado de filtros), Base Aérea, pluvial Owen más Muster y Cooperativa de Trelew. Dichos valores fueron asumidos como máximos ya que corresponden a la máxima capacidad instalada en cada caso.



Como resultado del análisis se concluye que la evaporación es la reinante en el balance hídrico de las lagunas, frente a la nueva inyección evaluada, existiendo una disponibilidad de evaporación del sesenta por ciento sobre el volumen ingresado actualmente.

- **SISTEMAS PLUVIALES**

La posibilidad de derivar el excedente de agua de la napa freática recolectada en cada cuenco y el agua pluvial proveniente de lluvias débiles, garantiza la operatividad de los sistemas dando capacidad de reservas y flexibilidad en los mismos.

Este nuevo estado garantizará que el agua contenida en los cuencos no se infiltre en la napa reduciendo el riesgo de contaminación de la misma, así como también permitir que por los conductos el agua disponga de velocidad de autolimpieza, arrastrando los posibles desechos y sedimentos que pudieran depositarse en los mismos.

El continuo control de los niveles tenderá a la clarificación de los líquidos contenidos en los cuencos, observando en el agua únicamente lo parámetros de la napa freática.

En la puesta en servicio de la obra en ejecución se deberá prever la tarea de evacuación de casi la totalidad del agua contenida en ambos cuencos, a efectos de lograr un nivel óptimo de operación, que luego deberá mantenerse.

El disponer de la posibilidad de controlar los niveles de los cuencos, amplía la posibilidad del manejo de los mismos frente a las posibles lluvias débiles y mejorando las posibilidades ante lluvias más fuertes, tarea que corresponderá evaluar a los operadores de los sistemas.