

**CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE  
DIVISIÓN MINISTRO HALES  
SISTEMA MITIGACIÓN VEGA SAPUNTA**



**METODOLOGÍA BASE PARA LA OPERACIÓN Y MANEJO DEL SISTEMA DE  
MITIGACIÓN DE VEGA SAPUNTA**

Fecha	Preparado	Aprobado	Revisión	Observación
22-05- 2014	F. Reinoso	J. Stern	0	

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ESTIMACIÓN VOLUMENES, FRECUENCIA Y TIEMPO DE APLICACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>RECARGA ACUÍFERO.....</b>	<b>4</b>
2.1.1	Antecedentes.....	4
2.1.2	Caudal de recarga.....	5
2.1.3	Tiempo y frecuencia de recarga.....	5
<b>2.2</b>	<b>SISTEMA DE APOYO A SURGENCIAS, VERTIENTES Y POZA 1.....</b>	<b>6</b>
2.2.1	Cálculo volúmenes y frecuencia de aplicación.....	6
2.2.2	Tiempo de y frecuencia aplicación.....	7
<b>2.3</b>	<b>RIEGO POR ASPERSIÓN.....</b>	<b>8</b>
2.3.1	Cálculo volúmenes y frecuencia de riego.....	8
2.3.1.1	Precipitación del equipo.....	8
2.3.1.2	Eficiencia de aplicación.....	8
2.3.1.3	Estimación demanda hídrica.....	9
2.3.1.4	Recarga.....	11
2.3.1.5	Infiltración de suelos.....	12
2.3.1.6	Retención y contenido de humedad de suelos.....	12
2.3.1.7	Estimación volúmenes de riego.....	13
2.3.1.8	Estimación frecuencia de riego.....	13
2.3.1.9	Tiempo de riego.....	13
<b>3</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>13</b>

## METODOLOGÍA BASE PARA LA OPERACIÓN Y MANEJO DEL SISTEMA DE MITIGACIÓN DE VEGA SAPUNTA

### 1. INTRODUCCIÓN

La División Ministro Hales de Codelco inició la fase de operación del Proyecto “Aducción de Agua Pampa Puno”. Sobre la base del Modelo Hidrogeológico realizado el año 2001, la División obtuvo mediante la Resolución DGA N° 859/2002 y aprobación ambiental del EIA del Proyecto mediante RCA N° 2603/2005 los derechos de agua de uso consuntivo de ejercicio permanente y continuo, equivalente a un caudal medio anual de 300 L/s y caudal instantáneo de 399 l/s.

Tanto el otorgamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas, como la aprobación del EIA, establecen restricciones ambientales y/o operacionales para la explotación del acuífero de Pampa Puno, las cuales quedaron establecidas en el Plan de Alerta Temprana (PAT) del año 2002 y la RCA del EIA del Proyecto, respectivamente.

En la Adenda 3 del EIA, se definió como medida de mitigación en el caso de producirse la afección a la vega, que se deberá *“Regar la vega para evitar el secado de la vegetación existente, con agua proveniente del mismo acuífero Pampa Puno”* y *“compensar el caudal afectado, que de acuerdo al modelo conceptual y matemático de Pampa Puno, no sería mayor a 10 l/s”*.

En el considerando 7.12.2 de la RCA se estableció que: *“En el evento de que se verifique afección sobre la vega Sapunta (Sapunta 1 y 2), ya sea en cuanto a descenso de los niveles en las pozas por sobre los umbrales establecidos y descenso sostenido por tres meses en los niveles de los piezómetros a instalar, el titular deberá;*

- *Reformular los planes de explotación en el campo de pozos, deteniendo el bombeo desde los pozos más cercanos.*
- *Regar la vega Sapunta en un caudal tal que se recuperen y mantengan los niveles históricos naturales y sus correspondientes fluctuaciones, tanto en los piezómetros como en las aguas superficiales.”*

En el contexto de las restricciones operacionales exigibles por la autoridad, DMH a través de la VP Codelco decidió durante el año 2011 realizar el diseño del Proyecto de Mitigación de Vega Sapunta. El desarrollo y construcción fue realizado considerando los compromisos adquiridos con la autoridad, otros estudios de geofísica realizados en la vega y la información obtenida por TeknoRiego después de años de monitoreo y experiencias realizadas en vegas similares en Chile.

El proyecto de mitigación consideró los siguientes componentes: (i) Implementación de un sistema de recarga sub-superficial del acuífero de la vega y PSAP 1, 2 y 3; (ii) Implementación de un sistema de apoyo a surgencias, vertientes naturales y poza 1 que permita el escurrimiento libre de agua superficial y eventualmente recuperar los niveles de la vega y (iii) La implementación de un sistema de riego por aspersión en el área superior de la vega.

Para la confección y desarrollo de las metodologías de operación y aplicación de volúmenes de agua se ha considerado los últimos estudios realizados en vegas similares en Chile.

A continuación se presentan las directrices y metodologías que deben ser consideradas para el cálculo de los volúmenes de agua, frecuencias y tiempos de aplicación para cada uno de los tres componentes de modo de mantener la condición de línea base de la vega. Asimismo se considera que la operación justa y rigurosa se traducirá en un importante ahorro de agua para la División Ministro Hales.

## **2. ESTIMACIÓN VOLUMENES, FRECUENCIA Y TIEMPOS DE APLICACIÓN**

La metodología que se describe en los siguientes capítulos tiene como objetivo mantener los rangos de los parámetros bio-físicos de la vega en su condición de línea base. Estos parámetros pueden variar principalmente debido a la explotación del campo de pozos y debido a la condición meteorológica actual que afecta la zona.

En consecuencia cualquier metodología que pretenda estimar volúmenes, frecuencia y tiempos de aplicación de agua, debe ser dinámica en el tiempo y estar basada en el monitoreo permanente a través de instrumentación existente y recorridos pedestres por la zona por personal calificado que logre detectar cambios por mínimos que sean.

### **2.1 RECARGA ACUÍFERO**

#### **2.1.1 Antecedentes**

La capacidad de recarga que presenta el sistema, dependerá de la humedad del suelo y de la conductividad hidráulica de este. Esta varía especialmente debido a la interacción del fluido con el medio poroso por las características mineralógicas de las partículas y el agua que percola a través del suelo, el bloqueo de los poros debido al aire atrapado y a la destrucción de los agregados, a los microorganismos por su multiplicación y al consiguiente descomposición de la materia orgánica, las grietas y cavidades resultantes de la actividad de organismos y descomposición de las raíces y la heterogeneidad del medio poroso, donde, variaciones en las características físicas de distintos estratos conduce a diferencias entre la conductividad hidráulica horizontal y vertical.

En un sistema en equilibrio, el valor del potencial hidráulico tiene el mismo valor en todos sus puntos. Cuando el sistema no está en equilibrio, el gradiente de potencial provoca la aparición del movimiento del agua. Este movimiento se realiza de dos formas:

- a) **Flujo en suelo saturado.** Los poros del suelo están llenos de agua, como ocurre en el caso de una capa freática como corresponde al interior de Vega Sapunta.

- b) **Flujo en suelo no saturado.** Es el que ocurre en suelos donde existen procesos de humectación y desecación. En este caso la conductividad hidráulica se evalúa a partir de la velocidad de infiltración, la cual varía según el tipo de suelo y según el contenido en humedad que presente.

De acuerdo a estudios realizados de geofísica, a la revisión bibliográfica y documentación existente, el valor mínimo de permeabilidad corresponde a una mezcla de arena/limo de 1:3 y es de 25,1 m/día. Este es el valor para el manejo inicial que corresponde a 1,045 m/hr. La capacidad de recarga queda dada por la fórmula siguiente:

$$VR = LD * PZ * CH$$

Dónde:

VR = Volumen de recarga (m<sup>3</sup>/hr)  
LD = Longitud del dren (m)  
PZ = Perímetro zanja (m)  
CH = Conductividad hidráulica (m/hr)

Por lo tanto el cálculo final de volumen para cada uno de los puntos a recargar, dependerá de la geometría de cada una de las zanjas de infiltración y la conductividad hidráulica.

En relación a los sistemas de recarga de PSAP 1, 2 y 3, los sistemas instalados tienen la capacidad de entregar una recarga instantánea que varía entre 0,3 a 3 l/s regulable. En lo que respecta al sistema de recarga del acuífero confinado de vega Sapunta, este se encuentra dividido en 2 ramas y cada una es capaz de recargar entre 0,2 y 2 l/s.

### **2.1.2 Caudal de recarga**

El caudal de recarga tal como se indicó es variable y dependerá del monitoreo de nivel de la napa y de la humedad de suelos. Si la humedad en la capa superficial de suelos adyacentes a los sistemas, se acerca a su nivel saturado, se deberá disminuir el caudal de recarga; sin embargo esto estará sujeto al comportamiento de los niveles. La regulación de caudal deberá ser revisada prácticamente en forma diaria. Asimismo para complementar la data obtenida de los sistemas de monitoreo, se deberá realizar toma de muestras con barreno a 0,8 – 1,2 m para complementar la información y establecer la dinámica del movimiento de agua en el suelo.

En una situación de baja de nivel y sequedad extrema se deberá operar con el caudal máximo que permite cada uno de los sistemas PSAP y vega Sapunta.

### **2.1.3 Tiempo y frecuencia de recarga**

Se deberá definir o estimar en terreno la Conductividad Hidráulica de modo de ajustar el tiempo de recarga. Este tiempo también tiene directa relación con la capacidad o caudal que inyecte el equipo, el cual tal como se señaló en capítulo precedente varía entre 0,2 y 3 l/s.

La Conductividad Hidráulica depende principalmente del tipo de suelo y del contenido de agua presente; en consecuencia cabe destacar que es fundamental las observaciones del comportamiento del sistema, de modo de no exceder la capacidad de recarga, lo que se podría ver reflejado en afloramiento de agua indeseable sobre la superficie del suelo.

En resumen el caudal, tiempo y frecuencia de aplicación están íntimamente ligados entre sí. Se requerirá información permanente de niveles de napa, humedad de suelos en superficie y profundidad y observación diaria de personal especializado.

## 2.2 SISTEMA DE APOYO A SURGENCIAS, VERTIENTES NATURALES Y POZA 1

La aplicación por vertientes tiene como objetivo simular los aportes naturales de agua en función de escurrimientos superficiales. Estas vertientes o afloramientos naturales son fundamentales para mantener agua superficial y a su vez la vegetación azonal que depende de esta condición.

Por otro lado el aporte en poza 1 permitirá mantener su nivel en los rangos de línea base. Para estos efectos los cálculos estimativos de caudales y volúmenes se presentan a continuación.

### 2.2.1 Cálculo volúmenes y frecuencia de aplicación

De acuerdo a los registros obtenidos de la estación meteorológica ubicada en Vega Sapunta, entre los años 2012 a 2014 la evapotranspiración promedio mensual es la siguiente:

Evapotranspiración potencial (ETp) Vega Sapunta temporadas 2012 - 2014

Mes	ETp (mm/mes)
Enero	122
Febrero	120
Marzo	90
Abril	102
Mayo	95
Junio	81
Julio	96
Agosto	118
Septiembre	139
Octubre	152
Noviembre	156
Diciembre	139

El cálculo de caudal y volumen de aporte de vertientes debe considerar los datos de ETp para luego rectificar mediante  $k_c$  (coeficiente de transpiración de plantas azonales) a  $ET_c$  (evapotranspiración de las plantas). Para un sistema de riego por inundación como el aplicado a través de vertientes, se estima que la eficiencia de aplicación de agua alcanza aproximadamente entre un 30% a un 50 % debido a las pérdidas por evaporación, escurrimiento superficial fuera de la zona y percolación profunda. Este valor es aceptado por la Comisión Nacional de Riego.

A diferencia de los otros métodos de riego, en el riego por vertientes se aplica el agua de forma permanente en función de la naturalidad del lugar (Vega húmeda) por aportes naturales de agua a un medio saturado, cumpliendo un rol no solo en términos de aplicación de agua o demanda hídrica, sino que también de acuerdo a la condición de saturación y niveles de humedad en el suelo. Los caudales estimados inicialmente se indican en la siguiente tabla; sin embargo estos deberán ser ajustados a la demanda hídrica, ETp monitoreada y Kc durante el período de riego.

**Caudal requerido para el total de vertientes y poza 1**

Mes	Etp (mm/mes)	Etp (mm/día)	Eficiencia (%)	Kc	APLICACIÓN DE AGUA DIARIA (m3/ha)	Caudal requerido l/s/ha
Enero	122	3,94	50%	1,00	78,71	0,91
Febrero	120	4,29			85,71	0,99
Marzo	90	2,90			58,06	0,67
Abril	102	3,40			68,00	0,79
Mayo	95	3,06			61,29	0,71
Junio	81	2,70			54,00	0,63
Julio	96	3,10			61,94	0,72
Agosto	118	3,81			76,13	0,88
Septiembre	139	4,63			92,67	1,07
Octubre	152	4,90			98,06	1,14
Noviembre	156	5,20			104,00	1,20
Diciembre	139	4,48			89,68	1,04

Cabe destacar que cada uno de los 4 puntos de aplicación, además de poza 1, puede aplicar desde un rango de 0 l/s a 0,5 l/s dependiendo la regulación del sistema.

Finalmente el volumen a aplicar (como así también, el tiempo y la frecuencia) debe ser rectificado de acuerdo a la superficie abarcada, verificando el estado de la humedad de suelos con las lecturas de los sensores instalados y la profundidad de la napa somera, de modo de determinar la real necesidad de aplicar el agua sobre la vega. Los umbrales de aplicación quedan definidos en documento de línea base de caracterización de la Vega Sapunta.

## **2.2.2 Tiempo y frecuencia de aplicación**

El tiempo de aplicación para cada vertiente (son independientes) requiere de un monitoreo riguroso de las humedades de suelo y nivel del acuífero somero. Esto indica que si los niveles de humedad sobrepasan los rangos normales registrados en la línea base, se podría incurrir en excesos que eventualmente afectarían la vegetación e incluso la composición florística. Es destacable resaltar que existe un aporte natural, por lo tanto no se debe aplicar un caudal mayor al natural. Por otro lado, si se detectan valores menores de humedad de suelo como de nivel del acuífero somero, se deberá dar inicio a la aplicación hasta que se recupere, en principio, el nivel de humedad de suelo y posteriormente los niveles freáticos someros.

Es decir, la corrección y manejo del caudal en terreno, como así también del tiempo y frecuencia de aplicación para cada vertiente es función del monitoreo de humedades de suelo y profundidad de la napa somera, además de las observaciones del experto y la posible sedimentación o erosión observada.

## **2.3 RIEGO POR ASPERSIÓN**

El riego por aspersión es un sistema cuyo objetivo es reponer la lámina de agua que es evapotranspirada mediante la aplicación de agua en forma de gotas de manera uniforme, emulando una lluvia natural y mantener de este modo la humedad de suelo en capacidad de campo para la sobrevivencia y desarrollo natural de las especies azonales que habitan el lugar.

### **2.3.1 Cálculo volúmenes y frecuencia de riego**

Para el cálculo de los volúmenes y frecuencia, deben ser considerados los siguientes aspectos:

- Precipitación del equipo.
- Eficiencia de aplicación.
- Estimación demanda hídrica (Evapotranspiración potencial).
- Recarga (precipitaciones e inundaciones).
- Infiltración de suelos.
- Retención y contenido de humedad de suelos.

#### **2.3.1.1 Precipitación del equipo**

La precipitación que tiene el equipo de riego se presenta en siguiente tabla.

**Precipitación promedio para distintas configuraciones y tiempos de riego (Presión de operación 84 PSI).**

Emisor de Riego	Disposición cuadrado (m)	Disposición triangular (m)	Ángulo de giro (grados)	Precipitación (mm/hr)
Eagle 950	31 x 31		250º	20
		31 x 31	250º	23

#### **2.3.1.2 Eficiencia de aplicación**

Cuando el agua sale de la boquilla del emisor de riego, el chorro se rompe en pequeñas gotas que tienden a mantenerse intactas por la tensión superficial con una forma esférica aplanada por la resistencia del aire. Es esta resistencia del aire la que produce el fenómeno de evaporación y pérdida de una cantidad de agua. Adicionalmente, las gotas más pequeñas, producto de la desintegración del chorro tienden a “flotar” y parte de estas cae fuera del área de regadío. Parte del agua se pierde también por escurrimiento superficial y por infiltración bajo la zona de raíces activas.



Normalmente, para un sistema de regadío por aspersión se estima que un 25% del agua aplicada se pierde. Este valor es aceptado por la Comisión Nacional de Riego de Chile. No obstante para este proyecto, y producto de la baja humedad relativa del aire en la zona, se estima que un 30% del agua aplicada se perderá principalmente por evaporación. La aplicación de agua bruta promedio para los distintos meses del año, se obtiene de la siguiente ecuación:

$$I = ET_p / E_f$$

Dónde:

$I$  = Aplicación de agua en mm/día

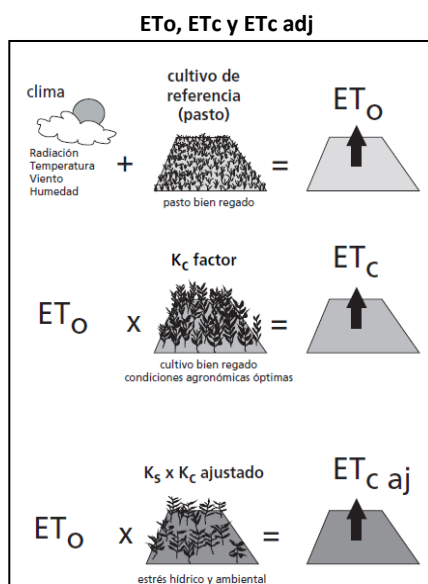
$E_f$  = Eficiencia de aplicación

### 2.3.1.3 Estimación demanda hídrica

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo: evaporación y transpiración del cultivo (FAO 56).

El concepto de evapotranspiración de referencia o potencial ( $ET_p$  o  $ET_o$ ), se introduce para estudiar la demanda de la atmósfera, independiente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo (FAO 56). Los únicos factores que afectan la ET son los parámetros climáticos; por lo tanto la ET puede ser calculada a partir de datos meteorológicos. Se han desarrollado una gran cantidad de modelos para determinar la ET a partir de estos parámetros destacando los métodos empíricos de Blaney – Criddle, Penman – Montith, Radiación, Turk, etc.

Todos estos modelos consideran una cubierta vegetal de pasto en óptimas condiciones de crecimiento. Se destaca que finalmente el concepto de ET incluye tres definiciones: (i) Evapotranspiración de las especies de referencia ( $ET_o$ ); (ii) Evapotranspiración de las especies bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ) y (iii) evapotranspiración bajo condiciones no estándar ( $ET_{c\ adj}$ ).



**a) Evapotranspiración de un tipo de vegetación de referencia o potencial (ETp)**

Corresponde a la tasa de evaporación de una superficie de vegetación de referencia sin restricciones de agua. **La fuerza evaporativa de la atmósfera, puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETp), la cual representa la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar.**

**b) Evapotranspiración de un tipo de vegetación bajo condiciones estándar (ETc)**

Se refiere a la evapotranspiración de cualquier tipo de vegetación cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización, bajo óptimas condiciones de suelo y agua y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

**La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración se define como necesidades de agua del tipo de vegetación.**

A pesar de que los valores de evapotranspiración de un tipo de vegetación o cultivo y de las necesidades de agua son idénticos, sus definiciones conceptuales son diferentes. Las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada como riego o precipitación, mientras que evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración.

La necesidad de riego, básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. El requerimiento de agua de riego también incluye agua adicional para el lavado de sales y para compensar la falta de uniformidad en la aplicación del agua.

La relación ETc/ETp puede ser determinada experimentalmente para diferentes especies y es conocido con coeficiente de cultivo (Kc), y se utiliza para relacionar la ETc a ETp:

$$ETc = ETo \times Kc$$

Dónde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo [mm].

ETp = Evapotranspiración potencial [mm].

Kc = Coeficiente de cultivo (en este caso de las unidades vegetacionales).

**c) Evapotranspiración de especies bajo condiciones no estándar (ETc adj)**

Se refiere a la evapotranspiración de especies que se desarrollan en condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar. Bajo condiciones de campo, la ETc adj puede desviarse de la ETc debido a condiciones no óptimas como lo son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo, y limitación o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas, menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de ETc.

**Para determinar la demanda de agua de regadío** en vega Sapunta se deberán utilizar la serie de datos climáticos obtenidos de la estación meteorológica existente. En los datos obtenidos deberá ser filtrada la ETp para su posterior corrección mediante el uso de los Coeficientes de cultivos, los que permiten llevar las características de cada especie vegetal a una forma de representación de sus demandas de agua.

Para estos efectos se recomienda el uso de la información obtenida en la Dirección General de Aguas (DGA), la cual ha realizado investigaciones sobre los humedales del Norte de Chile en cooperación con la Universidad de Chile para lograr estimaciones de los requerimientos hídricos de los sistemas de humedales en el altiplano chileno, estimando tasas de evapotranspiración y coeficientes de cultivo<sup>1</sup>. En este contexto se estudiaron varias unidades vegetacionales en los bofedales de Isluga y Chungará consideradas representativas para el sistema de Vega Sapunta. Los valores de Kc asignados se señalan en tabla siguiente.

Unidad Vegetacional	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Vegetación tipo cojines	1,00	1,00	1,00	1,00
Transición 1	0,83	0,80	0,78	0,80
Vega bofedal 1	0,76	0,69	0,58	0,69
Transición 2	0,60	0,52	0,35	0,52
Vega bofedal 2	0,40	0,42	0,24	0,42
Promedio	0,72	0,69	0,59	0,69

Finalmente y de acuerdo a los cálculos que deben ser realizados, se puede considerar que la lámina neta a reponer en función de la ETc será:

$$Ln = ETc + RL$$

Dónde:

- Ln = Lámina neta (cm).
- ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm).
- RL = Requerimiento de lavado (mm). Este dependerá de la necesidad de lavar sales.

#### 2.3.1.4 Recarga

La recarga hace referencia a la incorporación de agua al momento de operar el sistema de mitigación. Los factores considerados como recarga natural son las precipitaciones e inundaciones. En el caso de las precipitaciones es posible estimar el volumen aportado por estas, dado que se cuenta con la estación meteorológica la cual entrega la cantidad de milímetros precipitados.

<sup>1</sup> Análisis de requerimientos hídricos de vegas y bofedales en el norte de Chile, Carlos Salazar M. Ing. Jefe Dep. Estudios DGA, Luis Rojas B. Director Regional DGA I Región, Adrian Lillo Ing. Planificación DGA

Para las inundaciones que pudiesen provocarse por efectos antrópicos, el registro de la humedad de suelos y altura de punteras ayudaran a definir la necesidad de riego.

#### **2.3.1.5 Infiltración de suelos**

Para efectos del manejo del sistema de riego, se deberá realizar el monitoreo de campo de la infiltración de los suelos a los cuales se les aplica el agua, de modo de evitar efectos de escurrimiento excesivo y sellamiento de la capa superficial. Para ello deberá ser realizada una prueba de infiltración in situ y observaciones permanentes.

#### **2.3.1.6 Retención y contenido de humedad de suelos**

La capacidad de retención y el contenido de humedad del suelo entregan la información necesaria para determinar la lámina neta o altura de agua que se debe reponer en un suelo dependiendo del umbral o criterio de riego seleccionado (porcentaje del total de capacidad de estanque). El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Hd = HA \times UR$$

Dónde:

Hd = Humedad disponible o a reponer (cm).

HA = Humedad aprovechable (cm).

UR = Umbral de riego o criterio de riego (fracción).

Por otra parte la capacidad de estanque o humedad aprovechable se define como la altura de agua que es capaz de almacenar un suelo a cierta profundidad; así un suelo arcilloso tiene una mayor capacidad de almacenar que un suelo arenoso y se define de la siguiente manera:

$$HA = \frac{(CC - PMP) \times Da \times Ps \times (1 - \%P) \times Psm}{100}$$

Dónde:

HA = Humedad aprovechable (cm)

CC = Contenido gravimétrico de agua en suelo a capacidad de campo (%)

PMP = Contenido gravimétrico de agua en el suelo a punto de marchitez permanente (%)

Da = Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>)

Ps = Profundidad de suelo (cm)

P = Porcentaje de piedras (%)

Psm = porcentaje de suelo mojado (%)

### 2.3.1.7 Estimación volúmenes de riego

La estimación de los volúmenes de riego queda determinada por la evapotranspiración del cultivo y la superficie a regar. Por ejemplo, se tiene una superficie de vega de 30.000 m<sup>2</sup>, y se desea reponer una ETc de 5.2 mm se deberá considerar que 1 mm de lámina de agua en 10.000 m<sup>2</sup> corresponde a 10 m<sup>3</sup>. Por lo tanto 5.2 mm corresponderán a 1.560 m<sup>3</sup> de agua a reponer en 30.000 m<sup>2</sup>.

### 2.3.1.8 Estimación frecuencia de riego

La frecuencia de riego o el número de días transcurridos entre dos eventos de riego se puede estimar de la siguiente ecuación:

$$FR = Hd / ETc$$

Dónde:

FR = Frecuencia de riego (días)  
Hd = Humedad disponible (mm)  
ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

### 2.3.1.9 Tiempo de riego

El tiempo de riego queda definido entre el cociente entre la demanda o ETc a reponer y la precipitación entregada por el equipo:

$$TR = ETc / PE$$

Dónde:

TR = Tiempo de riego (hr/día)  
ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)  
PE = Precipitación equipo de riego (mm/hr)

## 3 CONCLUSIÓN

La operación y manejo del sistema de mitigación está intrínsecamente relacionadas con el monitoreo de los parámetros bio-físicos de la vega, siendo una actividad dinámica y muy fluctuante en el tiempo. En consecuencia se requiere un seguimiento continuo de personal altamente especializado.

El correcto manejo y operación considera mantener la condición biofísica de la vega en estado inalterado de acuerdo a la línea base y niveles históricos en términos de: (a) cobertura y composición vegetal (COT), (b) niveles de napa en PSAP 1, 2 y 3, (c) niveles en pozas Sapunta 1 y 2 y (d) humedad del suelo.

Asimismo un buen manejo puede significar un ahorro importante en recurso hídrico para DMH.