



MINISTERIO DE GANADERÍA
AGRICULTURA Y PESCA
DIRECCIÓN GENERAL DE
DESARROLLO RURAL

MANUAL PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE TAJAMARES DE AGUADA



MANUAL
PARA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN
DE
TAJAMARES DE AGUADA

Mario García Petillo (1)

Pancracio Cánepa (2)

Carlos Ronzoni (3)

- (1)** Dr. Ing. Agr., Profesor Agregado de Hidrología, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía.
- (2)** Ing. Agr., Dirección General de Recursos Naturales Renovables, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.
- (3)** Ingeniero Agrónomo, Coordinador de la Unidad Prevención de Sequía, Proyecto Producción Responsable.

Primera edición: febrero de 2012. Montevideo, Uruguay.

Segunda edición: agosto de 2012. Montevideo, Uruguay.

Proyecto Producción Responsable - MGAP

Dr. Carlos Ma. de Pena 4894

Tels.: (00598) 2306 0747 / 2308 9244/ Fax: 2308 56 18

Diseño y diagramación: Paula Scavarelli

Impreso en: Denad Internacional S.A.

ISBN: 978-9974-594-10-4

“Una tremenda sequía asola nuestro territorio y las autoridades se hacen eco de la justificada alarma de productores y de la población en general, adoptando medidas extraordinarias. Por unanimidad de sus miembros se dicta la siguiente resolución, ante la ansiada expectativa de todos: Implorar de la divina Misericordia, haciendo rogativas, con novenario a los Santos Patronos, para que por su mediación y ruegos consiga este Pueblo la lluvia que necesita”

Resolución del Cabildo de Montevideo
13 de abril de 1793.



Prólogo

Esta segunda edición del “Manual para el diseño y la construcción de tajamares de aguada” surge como una demanda de asesores técnicos y productores rurales, tras haberse agotado en poco tiempo la primera edición. En esa ocasión, sus autores, Ingenieros Agrónomos Pancraccio Cánepa, Mario García y Carlos Ronzoni aportaron conocimientos técnicos para el diseño y la construcción de los embalses, más conocidos como tajamares, que resultaron una valiosa herramienta para la exitosa ejecución de los proyectos de Producción Responsable.

Desde marzo de 2005, el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) del Uruguay en el marco de la Dirección General de Desarrollo Rural ejecuta el Proyecto Producción Responsable, con el apoyo técnico y financiero del Banco Mundial y del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF).

El Proyecto tiene como objetivo central la promoción, asistencia técnica y financiamiento de sistemas de manejo integrado de los recursos naturales y la biodiversidad, sostenibles desde el punto de vista social, económico y ambiental.

Durante los seis años de actuación de Producción Responsable nuestro país ha sufrido fenómenos climáticos extremos. Tres sequías han afectado negativamente a la producción agropecuaria y a la vida rural del Uruguay. La producción ganadera – en especial la que se desarrolla en los departamentos del norte del país - enfrenta periódicamente y cada vez con mayor frecuencia, crisis forrajeras ligadas a la sequía, que interaccionan con la baja capacidad de retención de agua de los suelos. La sequía afecta la disponibilidad de agua de bebida de los animales, disminuye su condición corporal, distorsiona las dinámicas de consumo de agua de los animales, degrada el campo natural por el continuo pasaje de animales, afecta el manejo de un pastoreo que equilibre la producción y la conservación del recurso. Todas estas situaciones afectan negativamente la productividad a nivel predial e impactan perjudicando la economía nacional. Si bien en su idea original el Proyecto no tenía un componente específico orientado a enfrentar estos fenómenos climáticos, la flexibilidad de su diseño permitió, ya en 2006, delinear un programa de construcción de fuentes de agua y de actividades de almacenamiento y distribución de la misma para la producción ganadera en los departamentos del norte del país, como se

dijo, la región más afectada por el fenómeno climático.

Este programa, conocido como el “Fondo de Prevención de los Efectos de la Sequía” (FPES), tuvo como finalidad promover la adopción de sistemas de suministro y almacenamiento de agua para satisfacer las necesidades del ganado en el sistema de producción ganadero de cría.

La ejecución del FPES permitió atender en forma directa más de 1.500 productores, y adicionalmente permitió establecer una metodología de trabajo y el cumplimiento de requisitos técnicos capaces de asegurar un suministro de agua de calidad durante prolongados períodos de sequía. La metodología y los fundamentos técnicos que se aplicaron fueron los presentados en la primera edición de este manual, publicada en el año 2007.

La exitosa ejecución de este programa motivó a las Intendencias Municipales del centro-este del país a proponer a Producción Responsable la realización de un programa similar desde el punto de vista técnico aunque con un diseño financiero diferente. El mismo, denominado “Agua de calidad para la producción familiar” comenzó a ejecutarse en 2008 y culminó en 2010.

A casi cinco años de haber comenzado a trabajar en el tema, Producción Responsable realizó, en el marco de la Dirección General de Desarrollo Rural (DGDR), un nuevo llamado: “Agua para la producción animal”, destinado al suministro, almacenamiento y distribución de agua para productores ganaderos y lecheros de todo el país. Adicionalmente, el llamado incluyó entre las actividades financiadas, el riego estratégico de pasturas y cultivos forrajeros. En este contexto y con la finalidad de aportar instrumentos que fortalezcan las actividades que implicará la ejecución de las obras del llamado “Agua para la producción animal”, Producción Responsable publica una nueva edición del “Manual de Tajamares”. En esta edición se incorpora un capítulo que describe la experiencia y los conocimientos acumulados en los años de trabajo sobre el tema de suministro y distribución de agua en establecimientos ganaderos y lecheros en las diversas regiones del país. Se presentan a modo de ejemplos ilustrativos las características constructivas de 5 tajamares demostrativos realizados en los departamentos de Artigas, Salto, Paysandú, Rivera y Tacuarembó, supervisados por Ing. Agr. Carlos Ronzoni, Coordinador de la Unidad Prevención de Sequía de Producción Responsable.

Ing. Agr. (MSc) Alfredo Bruno
Director Proyecto Producción Responsable

Tabla de contenidos

Introducción	9
Diseño de tajamares	11
Selección de la ubicación	13
Volumen máximo a almacenar en el lago	15
Altura del Tajamar para el “volumen útil”.....	17
Determinación de la altura del Tajamar para el “volumen útil”.....	25
Eliminación de los excesos de agua.....	26
Borde libre o “revancha”.....	44
Altura definitiva de la cortina	45
Ancho de la cortina	47
Dentellón de anclaje	49
Cálculo del volumen de tierra	50
Cálculo de la eficiencia del Tajamar	55
Obras complementarias	56
Construcción	59
Informe técnico	61
Aplicación del manual en la órbita del Proyecto Producción Responsable	63
Tajamar demostrativo: Artigas - Topador	68
Tajamar demostrativo SFR Colonia Antonio Rubio, Salto	73
Tajamar demostrativo Mollés Grande, Paysandú	78
Tajamar demostrativo Rivera	82
Tajamar demostrativo Salsipuedes, Tacuarembó	85
Anexo	88
Bibliografía	91

Introducción

La nutrición del ganado es un tema que se estudia en profundidad en nuestro país, tanto en la Facultad de Agronomía como en la de Veterinaria.

Sin embargo, al agua como nutriente se le ha prestado poca atención, basado en el supuesto que, cuando existe una fuente de agua cercana, los requerimientos de los animales están siendo cubiertos. Debido a esto, raramente son cuantificados los requerimientos de agua de diferentes categorías en pastoreo y difícilmente se tiene la certeza de si la fuente de agua los está cubriendo satisfactoriamente.

Según Beretta y Bruni (1998), desde el punto de vista productivo, una restricción en el consumo de agua respecto a lo que el animal requiere redundará en una merma del producto respecto al potencial esperado. Por lo tanto, enfatizan en la necesidad de revalorizar el rol del agua como nutriente para el animal y el manejo del agua en el sistema de producción como herramienta que garantice un consumo acorde a los requerimientos.

Carámbula y Terra (2000), expresan que de nada vale contar con cantidades ilimitadas de forraje si no se dispone de suficiente agua de bebida en cada pastura del establecimiento. Sólo de esta manera se podrá hacer una utilización eficiente del alimento disponible en el predio.

En épocas críticas como las sequías prolongadas siempre se producen crisis forrajeras. En este caso entre otras estrategias, se puede importar el alimento desde otros establecimientos, desde otras regiones del país o aún desde el exterior. Esta estrategia es prácticamente impracticable en el caso del agua con la que se debe contar en el predio.

La provisión y ubicación del agua de bebida es también un factor de manejo. Valentine (1947) citado por Stuth (1993), sostiene que el área óptima de pastoreo es aproximadamente circular y su radio generalmente no supera los 800 m desde la fuente de agua.

La consecuencia directa de un suficiente y seguro abastecimiento de agua de calidad será una potenciación del impacto productivo de las demás técnicas que se estén aplicando.

Las fuentes de agua pueden ser básicamente:

1. Aguadas naturales

En este caso es necesario que pase por el predio un río, arroyo, cañada, etc., que nunca se corte en los períodos de seca.

2. Pozos

Es necesario que exista un acuífero que de el caudal suficiente, y a una profundidad tal que haga su explotación rentable. En este caso, el sistema debe necesariamente contar con una bomba que eleve el agua (generalmente de pistón, accionada por un molino de viento) y probablemente con un tanque australiano para almacenar el agua.

3. Tajamares

Los tajamares son obras de ingeniería agrícola que interceptan y almacenan el escurrimiento. Cuando no se dispone de aguadas naturales que no se corten a menos de 800 m de distancia ni se dan las condiciones expresadas en el literal anterior, la construcción de un tajamar es generalmente la mejor opción como aguada.

Este trabajo tiene por finalidad explicar cómo se diseña y construye un tajamar que provea una aguada segura tanto en cantidad como en calidad de agua.

Diseño de tajamares

Los tajamares son obras que consisten en unir dos laderas que se aproximan mediante una cortina de tierra bien apisonada, que detiene el escurrimiento de las aguas de lluvia, formando una laguna (Ghiggia, 1976).

De esta definición se desprenden las condiciones necesarias para la construcción de estas obras: i. que haya una topografía adecuada, ondulada; ii. que haya tierra capaz de ser apisonada y formar una pared de muy baja permeabilidad y iii. que se produzcan escurrimientos capaces de ser interceptados y almacenados. En la mayor parte de nuestro territorio se dan simultáneamente estas tres condiciones.

Debido a esto, ya en 1951 la misión del BIRF y FAO en su informe "Recomendaciones para el desarrollo agrícola del Uruguay" citado por Ghiggia (1976) expresaba: "Debe adoptarse un programa de construcción de tajamares y embalses económicos para abrevaderos del ganado en la mayor parte de las praderas onduladas del Uruguay, con el objeto de suplir las necesidades derivadas de la sub-división de los pastos. Se ha demostrado que estos embalses constituyen una solución práctica del problema en praderas semejantes de otros países. Contrariamente a la creencia popular, el agua almacenada en esta forma es perfectamente satisfactoria para el ganado".

La variabilidad es una característica importante de las precipitaciones en Uruguay. Ello comprende tanto a la frecuencia (número de días de lluvia), a sus valores (diarios y mensuales) como a sus intensidades (mm por hora). El país tiene períodos de ocurrencia de precipitaciones que exceden notablemente a las normales y también períodos altamente deficitarios. Ambos fenómenos pueden ocurrir simultáneamente en el territorio uruguayo: una región acumula precipitaciones muy por encima de los valores esperados mientras que otra registra déficit importante dentro del mismo lapso.

Un informe del IMFIA, citado en el Plan de Lucha Contra la Sequía (MGAP-MVOTMA, 2005) establece que la variabilidad entre años es cuatro veces menor que la variabilidad entre meses lo cual expresa que la variabilidad interanual se reduce fuertemente cuando se consideran varios meses acumulados; ésta es la principal justificación de la construcción de embalses para la regulación hídrica interestacional.

La Dirección Nacional de Hidrografía del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (DNH-MTOP), organismo rector en esta temática, clasifica los embalses en función del área de la cuenca de aporte, la altura de la obra y el volumen máximo embalsable de agua en dos categorías: tajamares y represas. A su vez, dentro de cada una de éstas define las subcategorías chico, mediano y grande (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de embalses según la DNH-MTOP de acuerdo al área de la cuenca de aporte a la obra (A, has.); la altura de la obra (H, m) y el volumen máximo embalsable de agua (V, m3).

	AP4	4RAP40	40RAP200	200RAP500	500RAP1000	1000RAP5000	5000RAP15000	AS15000
HP3	VP12.000 = Tajamar Chico							
	12.000RVP120.000 = Tajamar Mediano							
	VS120.000 = Tajamar Grande							
3RHP5	Tajamar Chico	Tajamar Mediano	Tajamar Grande	120.000RVP600.000 = Represa Chica				
				VS600.000 = Represa Mediana				
5RHP15	VP120.000 = Tajamar Grande			Represa Chica	Represa Mediana	Represa Grande I	Represa Grande II	
	VS120.000 = Represa Chica						Represa Grande II	Represa Grandelll
HS15								

Los Ingenieros Agrónomos están autorizados a diseñar tajamares, mientras que para hacer represas es necesaria la firma de un Ingeniero Civil.

Las obras para aguada que se tratarán en este trabajo, entran todas dentro de la categoría Tajamares.

Selección de la ubicación

Se define la eficiencia de un tajamar como el cociente entre el volumen máximo de agua embalsada y el volumen de tierra compactado.

Desde el punto de vista económico, la mejor ubicación de un tajamar es la que genera la máxima eficiencia, es decir, que para almacenar un cierto volumen de agua se debe mover la menor cantidad de tierra. Se debe recordar que el principal costo de un tajamar es justamente el movimiento de tierra.

La eficiencia depende de la topografía del sitio. Un buen sitio es el que resulta de una cortina o terraplén corto, donde las pendientes transversales son altas pero la pendiente de la vía de drenaje es baja.

Esto se ejemplifica en la Figura 1, en la cual la situación ideal sería la representada en (a) y (c).

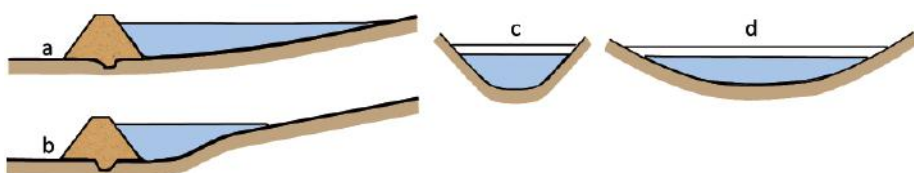


Figura 1. Corte longitudinal con baja (a) y alta pendiente (b).
Corte transversal con alta (c) y baja pendiente (d).

Es recomendable seleccionar los dos o tres sitios más convenientes a priori, para hacer un análisis más detallado de cada uno de ellos, y seleccionar el definitivo con más elementos de juicio.

La metodología para la selección de los sitios dependerá de los materiales de base que se disponga. Si se tiene un plano topográfico del predio, es muy fácil y seguro elegir el mejor lugar. Si sólo se dispone de un par de fotos aéreas, por estereoscopia se pueden seleccionar los sitios más promisorios.

Si no se tiene ninguno de estos materiales, se deberá recorrer el campo siguiendo los bajos, buscando aquellos sitios que quedan más “encajonados” entre dos laderas. El otro factor que influye en la eficiencia es el

tamaño de la obra. En un mismo sitio, cuanto mayor sea el tajamar mayor será su eficiencia, pues cada metro de altura que se agrega resultará en un aumento del volumen de agua más que proporcional. Debido a esto, los tajamares de aguada tienen, en general, eficiencias muy bajas.

Este efecto se visualiza en la Figura 2, que resume la eficiencia de algunas obras analizadas por el Ing. Luis Teixeira en su consultoría sobre el programa PRENADER. Las obras analizadas en este caso fueron represas de riego, de un tamaño muy superior a los tajamares de aguada.

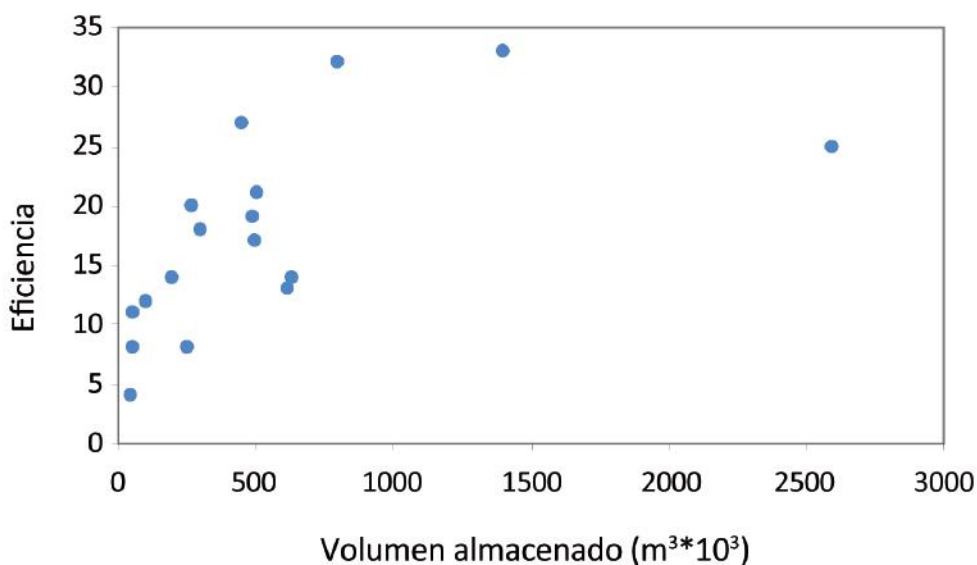


Figura 2. Relación entre el volumen almacenado y la eficiencia, en algunas obras construidas por el programa PRENADER.

Más allá de la eficiencia, existen otras consideraciones que se deben hacer al momento de elegir la ubicación, como por ejemplo, cercanía a los potreros.

Volumen máximo a almacenar en el lago

Una vez elegidos los sitios promisorios, si no se dispone de un plano topográfico, se deberá hacer el levantamiento de la zona en que se va a construir la cortina, la zona que será ocupada por el lago, y sus alrededores. En la Figura 3 se muestra un plano como el señalado, incluyendo la alineación de la futura cortina (a-a').

El siguiente paso es medir el área encerrada entre cada cota y la cortina del tajamar. En el ejemplo, el punto más bajo del tajamar está en la cota 33.90, por lo que se debe medir el área encerrada en las cotas 34, 35, 36 y así sucesivamente.

La medición de áreas se hará con un planímetro, y en el caso muy probable que no se disponga de dicho aparato, se pueden contar los puntos encerrados mediante una cuadrícula de puntos, o los cuadrados encerrados mediante un papel cuadrículado. El número de puntos, corregido por la escala, indicará cada superficie.

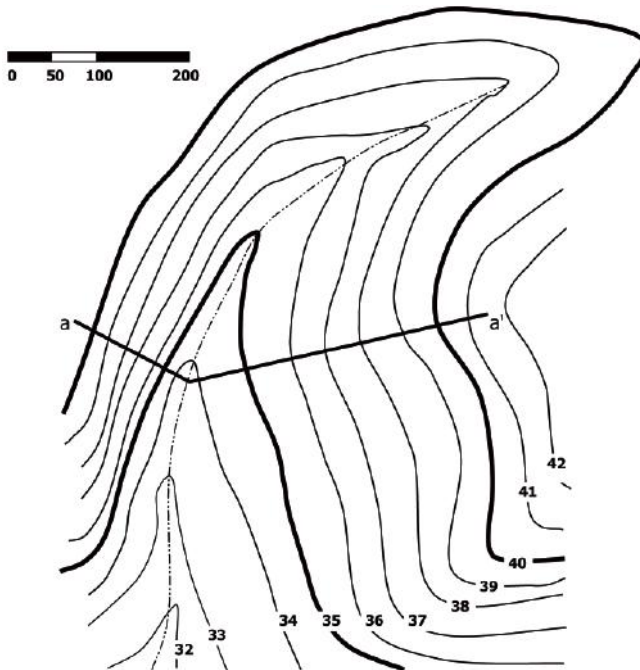


Figura 3. Plano de curvas de nivel y alineación de la cortina del tajamar.



Con los valores de área así hallados, se calculará el volumen de agua del lago (Tabla 2). La semisuma de la superficie de dos cotas consecutivas, multiplicada por el intervalo vertical entre esas cotas, da el volumen encerrado entre ellas. Procediendo así con las distintas cotas y sumando los volúmenes parciales obtenidos, se obtendrá el volumen total para la altura de la cota máxima considerada.

Tabla 2. Cálculo de los volúmenes parciales y acumulados, del tajamar representado en la Figura 3.

Cota	Área encerrada en cada cota (m ²)	Semisuma áreas sucesivas (m ²)	Intervalo vertical (m)	Volumen Parcial (m ³)	Volumen Acumulado (m ³)
33.90	0	0	0	0	0
34	100	50	0.1	5	5
35	5000	2550	1	2550	2555
36	22500	13750	1	13750	16305
37	40000	31250	1	31250	47555
38	66875	53438	1	53438	100993
39	95000	80938	1	80938	181930

Con los valores así obtenidos es útil confeccionar una gráfica que permite obtener, para cualquier altura considerada, el área de lago y el volumen almacenado que le corresponden (Figura 4).

Estas curvas responden a una ecuación potencial, del tipo $y = a \cdot x^b$, que son las que utiliza el programa "Balance de un tajamar de aguada.xls" (García, M. 2007) para estimar la altura del lago para cierto volumen embalsado, y la superficie del lago para cierta altura del mismo.

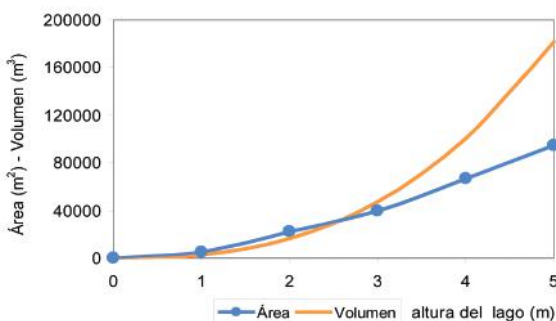


Figura 4. Curvas altura/área y altura/volumen

Altura del tajamar para el “volumen útil”

El tajamar es un depósito que está teniendo en forma casi permanente aportes de agua (escorrentía superficial, precipitación directa sobre el lago) y extracciones (evaporación directa del lago, consumo de los animales). La infiltración por el fondo del lago, o a través de la cortina, se considera despreciable en un tajamar bien construido y asentado.

Por lo tanto es más correcto, para el diseño de estas obras, analizarlo en forma dinámica como un balance entre los aportes y extracciones, que de la forma más “tradicional” que consistía en almacenar un determinado volumen antes del verano, que sólo iba a tener extracciones durante el mismo.

Debido a que hacer un balance diario, considerando cada lluvia individual, sería muy poco práctico, se recomienda hacer este balance en términos mensuales.

Los distintos componentes de este balance se calculan de la siguiente manera:

1. Precipitación directa

Todo lo que llueve un mes determinado sobre el lago es aporte útil. El volumen (en m^3) se calcula como la altura de precipitación (m) multiplicado por la superficie del lago (m^2) en ese mes.

2. Evaporación directa

Se calcula como la evaporación del Tanque “A” (m) más cercano, multiplicado por el factor 0,7. Se pasa a volumen multiplicado ese valor por la superficie del lago (m^2) en ese mes.

3. Escurrimiento

Se propone utilizar el modelo Precipitación-Escurrimiento mensual de Temez. Este modelo ha sido calibrado en Uruguay con datos de 12 cuencas hidrográficas (Genta et al., 2003). Para la aplicación del modelo en una cuenca determinada es necesario disponer de los siguientes datos:

Precipitación en la cuenca (Pi) (mm/mes)

Se debe disponer del dato de precipitación mensual del pluviómetro más cercano a la cuenca. Esta información está disponible en la Dirección Nacional de Meteorología y se recomiendan por lo menos 30 años de los registros más recientes. Con el programa "Balance de un tajarar de aguada. xls" se suministra una base de datos pluviométrica.

Área de la cuenca de aporte (Ac) (ha)

Si la cuenca es relativamente grande, utilizando las cartas del Servicio Geográfico Militar se delimita la misma y se determina su superficie. En cuencas menores se trazan los límites por estereoscopia en fotos aéreas y se mide su área con planímetro o papel cuadrulado o milimetrado. En cuencas muy chicas, se puede delimitar directamente en el campo. En todos los casos, se puede medir directamente en el campo utilizando un GPS, con un nivel de error más que aceptable a estos efectos.

Agua disponible de los suelos (AD) (mm)

Se calcula el valor de agua disponible de los suelos de la cuenca ponderando por la respectiva área ocupada (Tabla 3).

Tabla 3. Agua Disponible de las tierras del Uruguay

Unidad Cartográfica de Suelos (escala 1:1.000.000)		Grupo	Agua Disp. (mm)	Unidad Cartográfica de Suelos		Grupo	Agua Disp. (mm)
Alferez	AF	C	124,7	Lechiguana	Le	D	113,3
Algorta	Al	C/D	123,7	Libertad	Li	C	146,7
Andresito	An	B	63,7	Los Mimbres	LM	C	100,1
Angostura	Ag	A/D	155,1	Manuel Oribe	MO	C	145,8
Aparicio Saravia	AS	C	139,7	Masoller	Ma	C	52,1
Arapey	Ay	D	136,8	Montecoral	Mc	D	84,7
Arroyo Blanco	AB	C	101	Palleros	PII	C/D	116,5
Arroyo Hospital	AH	C	86,1	Paso Cohelo	PC	D	147,4
Bacacúa	Ba	B	97,1	Paso Palmar	PP	B	88,2
Balneario Jaureguiberry	BJ	A	134,5	Pueblo del Barro	PB	D	131,6
Bañado de Farrapos	BF	D	178,7	Puntas de Herrera	PdH	C	85,8
Bañado de Oro	BO	C	89	Queguay Chico	QCh	D	32,7
Baygorria	By	C	110,5	Rincón de la Urbana	RU	C	131,1
Bellaco	Bc	D	146,2	Rincón de Ramirez	RR	D	73,3
Béquelo	Bq	C	138,2	Rincón de Zamora	RZ	B/C	148,3

Blanquillo	BI	C	114,6	Río Branco	RB	D	102
Cañada Nieto	CñN	D	146,4	Río Tacuarembó	RT	D	161
Capilla de Farruco	CF	B/D	35,4	Risso	Ri	D	150,6
Carapé	Ca	B	41,5	Rivera	Rv	B	179,6
Carpintería	Cpt	D	139	Salto	St	D	107,2
Cebollati	Cb	C	167,6	San Carlos	SC	C	78
Cerro Chato	CCh	B	78,6	San Gabriel - Guaycurú	SG-G	B	92,4
Colonia Palma	CP	C	108,9	San Jacinto	SJc	D	83,1
Constitución	Ct	A	73,6	San Jorge	Sjo	D	141,2
Cuaró	Cr	D	93,2	San Luis	SL	D	176,2
Cuchilla Caraguatá	Cca	C	71,2	San Manuel	SM	C	117,3
Cuchilla Corrales	Cco	C	160,6	San Ramón	SR	D	152,7
Cuch. de Haedo - Pº de Los Toros	CH-PT	D	21,5	Santa Clara	SCI	B	63,6
Cuchilla del Corralito	CC	C/D	119,8	Sarandí de Tejera	SdT	B/C	50
Cuchilla Mangueras	CM	C	150,2	Sierra de Aiguá	SAg	D	42,6
Cuchilla Santa Ana	CSA	C	51,8	Sierra de Animas	SA	B	50,1
Curtina	Cu	D	55,2	Sierra de Mahoma	SMh	B	43,9
Chapicuy	CH	B	100,1	Sierra Polanco	SP	B/C	73
Ecilda Paullier - Las Brujas	EP-LB	C	136,7	Tacuarembó	Ta	C	168,4
El Ceibo	EC	D	78,6	Tala - Rodríguez	TI-Rd	C/D	130,9
El Palmito	Epa	C	142,3	Toledo	Tol	C	118,7
Espinillar	Ep	C	141	Tres Bocas	TB	C	110,8
Fraile Muerto	FM	C	133,4	Tres Cerros	TC	B/C	85,1
Fray Bentos	FB	C	115,4	Tres Islas	TI	B	96,6
India Muerta	Imu	D	171,1	Tres Puentes	TP	B/C	103,4
Isla Mala	IM	C	102,1	Trinidad	Tr	C/D	148,4
Islas del Uruguay	IU	D	183	Valle Aiguá	VA	C	102,8
Itapebí - Tres Árboles	I-TA	D	124,2	Valle Fuentes	VF	C	131,4
José Pedro Varela	JPV	C	87,2	Vergara	Ve	D	117,1
Kiyú	Ky	C/D	154,7	Villa Soriano	VS	C	173,3
La Carolina	LC	C/D	156,1	Yí	Yi	B/C	71
La Charqueada	LCh	D	95,2	Young	Yg	C	145
Laguna Merín	Lme	D	169,3	Zapallar	Zp	C	153,2
Las Toscas	LT	B	177,5	Zapicán	Za	C	84,8
Lascano	La	D	126,4				

Segunda Aproximación. Mayo de 2001, J.H. Molfino; A. Califra,
División Suelos y Aguas, Dirección General de Recursos Naturales Renovables,
Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca

Evapotranspiración media mensual (ETPm) (mm/mes)

La evapotranspiración media mensual se determina localizando en el mapa de la Figura 5 el valor correspondiente a la cuenca.

Ciclo anual medio de evapotranspiración potencial (ETPi) (mm/mes)

Se obtiene multiplicando el valor de ETPm por los coeficientes de distribución del ciclo anual medio (Tabla 4).

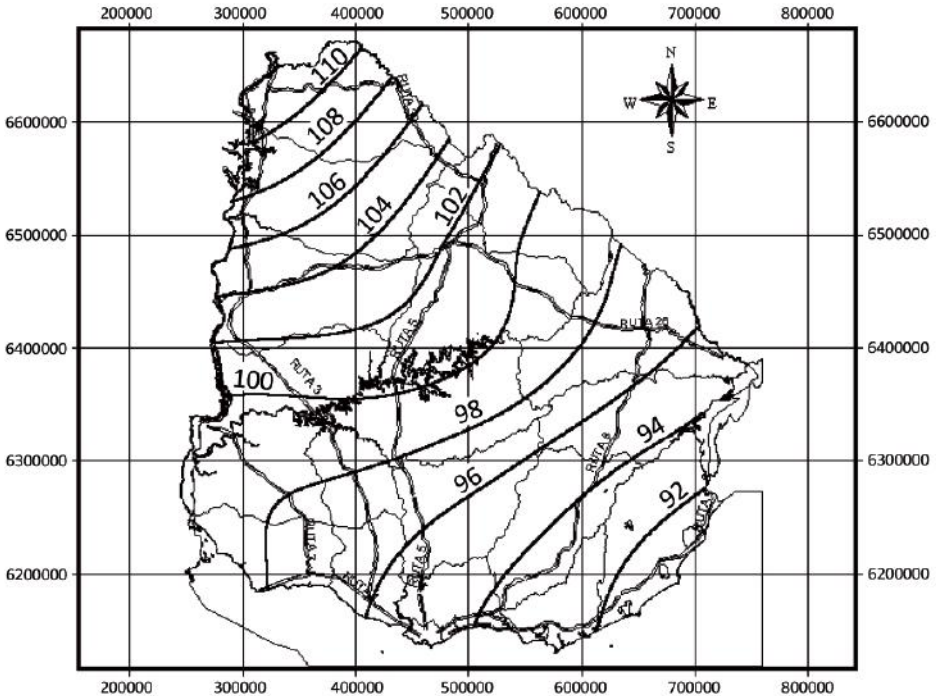


Figura 5. Isolinias de evapotranspiración media anual (ETPm, mm/mes)

Tabla 4. Coeficiente de distribución del ciclo anual

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.88	1.56	1.37	0.88	0.58	0.36	0.37	0.47	0.61	0.94	1.25	1.72

3.1. Estructura del modelo

El modelo de Temez es un modelo de balance hídrico agregado, que estima el escurrimiento mensual de una cuenca a partir de la precipitación, el almacenamiento en el suelo y la evaporación potencial.

La estructura del modelo se observa en la Figura 6. Una parte del agua que precipita (P) forma el excedente (T) y el resto del agua ($P-T$) es almacenada en la primer capa del suelo, en la que se genera la evapotranspiración real (ETR). Del excedente (T) una parte sale como escorrentía superficial (A_{sup}) y el resto ingresa a un almacenamiento subterráneo (V) a través del cual se traspa agua de un mes a otro. La descarga del almacenamiento subterráneo (A_{sub}) y la escorrentía superficial (A_{sup}) conforman la escorrentía total (A_T).

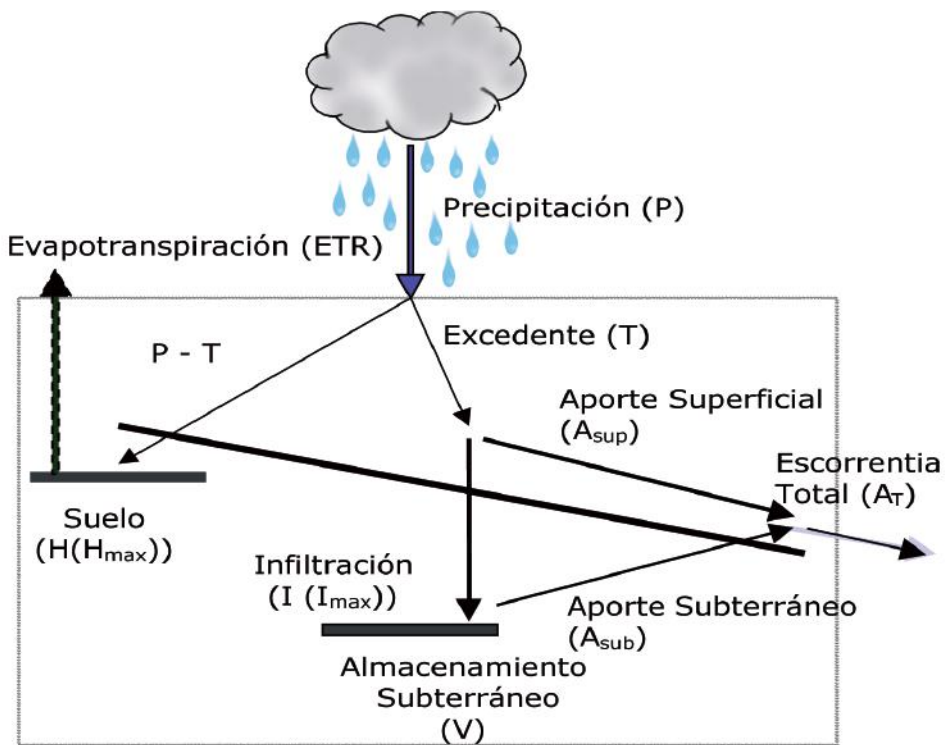


Figura 6. Estructura del modelo de Temez
precipitación – escurrimiento de paso mensual

3.1. Operación del modelo

$$T_i = 0 \quad \text{si } P_i \leq P_{oi}$$

$$T_i = \frac{(P_i - P_{oi})^2}{P_i + \delta_i - 2P_{oi}} \quad \text{si } P_i > P_{oi}$$

Máxima cantidad de agua que puede no participar del escurrimiento

$$\delta_i = H_{\text{Max}} - H_{i-1} + \text{ETP} \quad H_{\text{Max}} = \text{CAD} * \text{AD}$$

Precipitación mínima para que exista escurrimiento

$$P_{oi} = \text{CPo} (H_{\text{Max}} - H_{i-1})$$

Humedad del suelo al final del mes

$$H_i = \text{Max} (0; H_{i-1} + P_i - T_i - \text{ETP}_i)$$

Evapotranspiración real

$$\text{ETR}_i = \text{min} (\text{ETP}_i; H_{i-1} + P_i - T_i)$$

Infiltración al almacenamiento subterráneo

$$I_i = I_{\text{max}} \frac{T_i}{T_i + I_{\text{max}}}$$

Escurrecimiento superficial

$$A_{\text{sup } i} = T_i - I_i$$

Aporte subterráneo

$$A_{\text{sub } i} = V_{i-1} - V_i + I_i$$

Escurrecimiento total

$$A_{Ti} = A_{\text{sup } i} + A_{\text{sub } i}$$

Volúmen del almacenamiento subterráneo

$$V_i = V_{i-1} * e^{-at} + I_i * e^{-\frac{at}{2}}$$

3.3. Calibración del modelo en Uruguay (12 cuencas):

$$CAD = 0.916$$

$$CP_0 = 0.30$$

$$\tilde{N} = 2.325$$

$$I_{max} = 386$$

4. Consumo por los animales

Los requerimientos netos de agua de un animal están dados por la cantidad de agua necesaria para mantener el balance corporal. Las mismas equivalen a la suma de las pérdidas de agua en heces y orina, pérdidas evaporativas para disipar el calor, el agua retenida en el cuerpo en tejidos para crecimiento y preñez, así como la secretada en leche. Estas cantidades no son fijas, sino que varían en función de numerosos factores. La interacción de todos éstos determina que los requerimientos de agua sean muy variables, dependiendo de las diferentes combinaciones de factores que se presenten (Beretta y Bruni, 1998).

Para vacas lecheras, los autores citados presentan la siguiente fórmula:

$$CA = 5.99 + 0.90*PL + 1.58*CMS + 0.05*Na + 1.20*T$$

CA -Consumo de agua (l/animal/día)

PL -Producción de leche (kg/día)

CMS -Consumo de materia seca (kg/día)

Na -Contenido de sodio de la dieta (g/día)

T -Temperatura ambiente (°C)

Dado que a los fines prácticos sería dificultoso estimar diariamente el consumo de materia seca y el contenido de sodio de la dieta, en el programa "Balance de un tajamar de aguada.xls" se simplificó la fórmula, quedando así:

$$CA = 35 + 0.90*PL + 1.20*T$$

Utilizando la ecuación anterior, se constata que para vacas lecheras de alta producción, en los días más cálidos del verano, el consumo podría superar los 100 l/día.

Para bovinos de carne, Beretta y Bruni citan el siguiente cuadro (Tabla 5), adaptado de Winchester y Morris (1956).

Tabla 5. Consumo diario aproximado de agua (l/animal) en ganado de carne

Temp. °C	Vacas lactando	Vacas secas preñadas	Animales en crecimiento		Animales en terminación	
	409 kg	409 kg	182 kg	273 kg	364 kg	454 kg
4.4	43.1	25.4	15.1	20.1	27.6	32.9
10.0	47.7	27.3	16.3	22.0	29.9	35.6
14.4	54.9	31.4	18.9	25.0	34.4	40.9
21.1	64.0	36.7	22.0	29.5	40.5	47.7
26.6	67.8		25.4	33.7	46.6	54.9
32.2	61.3		36.0	48.1	65.9	78.0

Koolhaas (2003) sugiere los siguientes valores de consumo de agua por cabeza:

Ovinos – 8 l/día

Equinos – 45 l/día

Determinación de la altura del tajamar para el “volumen útil”

Se hace correr el programa “Balance de un tajamar de aguada.xls” para una serie de 30 años, para lo cual se calculan mensualmente los aportes de lluvia y escurrimiento y las extracciones por evaporación y consumo.

Se va aumentando el volumen embalsado hasta que en ninguno de los 30 años simulados se tenga déficit de agua. (En cualquier caso, en la hoja Balance Tajamar, se puede consultar en qué mes se produjeron los déficit).

Aunque se cumpla la condición anterior con una altura de agua menor, se debe diseñar siempre con una altura mínima de 2 m.

Esta condición no es sólo para asegurar la cantidad (que puede estar sobredimensionada), sino fundamentalmente la calidad del agua embalsada. En efecto, esa profundidad mínima disminuye la proliferación de algas y mantiene más fresca la temperatura del agua.

Con el mismo objetivo, cuando se corre el programa, en la hoja “Resumen”, se puede poner como altura mínima del lago (celda E24) 1 m, de forma de asegurar siempre esa altura mínima.

El tajamar presentado en la Figura 3, con 2 m de altura de agua (cota 35.90) forma un lago de 1.82 ha y almacena un volumen de 14.300 m³ (Tabla 2, Figura 4).

Si asumimos que la altura de la toma de agua está a 0.50 m, el volumen que queda almacenado por debajo (350 m³) no es aprovechable, por lo cual el volumen útil son $14.300 - 350 = 13.950$ m³, el cual es claramente sobredimensionado en cualquier hipótesis de dotación animal del predio. La superficie del lago y el volumen almacenado se determinan con precisión ingresando en el programa un volumen tal (14.300 m³ en este caso) que la altura correspondiente del lago sea 2 m. Igual procedimiento para el volumen no aprovechable con una altura de 0.50 m.

La altura de agua para la cual se diseña el tajamar se conoce como Máximo Remanso Estático (MRE).

Eliminación de los excesos de agua

El agua no debe pasar nunca por encima de la cortina de tierra. Para evitarlo, es necesario construir las obras necesarias para evacuar las aguas que lleguen al embalse cuando éste está lleno.

Siempre debe existir un canal vertedero en tierra, protegido por césped, que sea capaz de evacuar los excesos producidos por las máximas tormentas. Esta obra se llama vertedero o aliviadero de máximas.

Puede construirse también un aliviadero de mínimas, que elimine pequeños aumentos de nivel en el lago ocasionados por lluvias menores, y cuya función principal es proteger el vertedero de máximas.

En efecto, en ausencia del aliviadero de mínimas, cada lluvia que ocurre con el lago lleno será evacuada por el vertedero de máximas, que estará entonces durante mucho tiempo saturado de agua, debido a ello mal empastado y por lo tanto en una condición muy erosionable ante tormentas de alta intensidad.

Las represas deben tener algún dispositivo que permita evacuar hacia el cauce natural el caudal de servidumbre (llamado caudal ecológico), a efectos de satisfacer las necesidades naturales de los predios situados aguas abajo. Este caudal es de 0.4 l/s/km^2 (0.004 l/s/há), por lo que en cuencas tan pequeñas como las de los tajamares de aguadas no se considera.

Aliviadero de mínimas

El aliviadero de mínimas es un tubo vertical, cuya boca de entrada por donde evacuará los excesos está a la altura del MRE, en nuestro ejemplo 2 m. Para estas obras se usan tubos de 200 a 250 mm de diámetro. La entrada debe protegerse con una malla que trabaje como filtro para evitar la entrada de basura que pueda obturarlo.

Este tubo vertical conecta en la parte inferior, por medio de una "T" con una

tubería del mismo diámetro que atraviesa el muro en la parte más profunda y evacua el exceso de agua del otro lado del terraplén (Figura 7a y 7b).

Debido a las dificultades constructivas de instalar un tubo vertical en la parte más alta del terraplén, en el caso de tajamares chicos se puede sustituir por un tubo horizontal que aguas debajo de la pared se eleva hasta tener la boca a la altura del MRE (Figura 7c).

Todos los tubos que atraviesen la pared deben estar provisto de collarines antifiltrantes dispuestos cada 2 m, que eviten la tubificación producida por la circulación del agua entre la tierra y la pared exterior del tubo. En el caso de tajamares grandes, estos collarines deberán ser de mampostería, mientras que en el caso de obras pequeñas podrán ser de nylon (bolsas, p.ej.) o de goma (cámaras viejas de tractor), unidos al tubo atándolos con tiras de goma.

La decisión de construir o no el aliviadero de mínima dependerá de un balance entre el aumento de las dificultades constructivas en caso de hacerlo, y el riesgo de aumentar la erodabilidad del vertedero de máximas en caso de no hacerlo.

A un nivel superior a la boca de entrada del tubo vertical (si se construyera el mismo) se ubica el fondo del vertedero de máximas para dar salida a los grandes excesos.

Una variante constructiva del aliviadero de mínimas es hacerlo como un pequeño canal en tierra, dentro del vertedero de máximas. En este caso, el fondo (plantilla) del vertedero de mínimas estará "d" cm más bajo que el fondo del vertedero de máximas. El vertedero de mínimas se deberá construir contra el borde del vertedero de máximas más alejado de la cortina (Figura 7d).

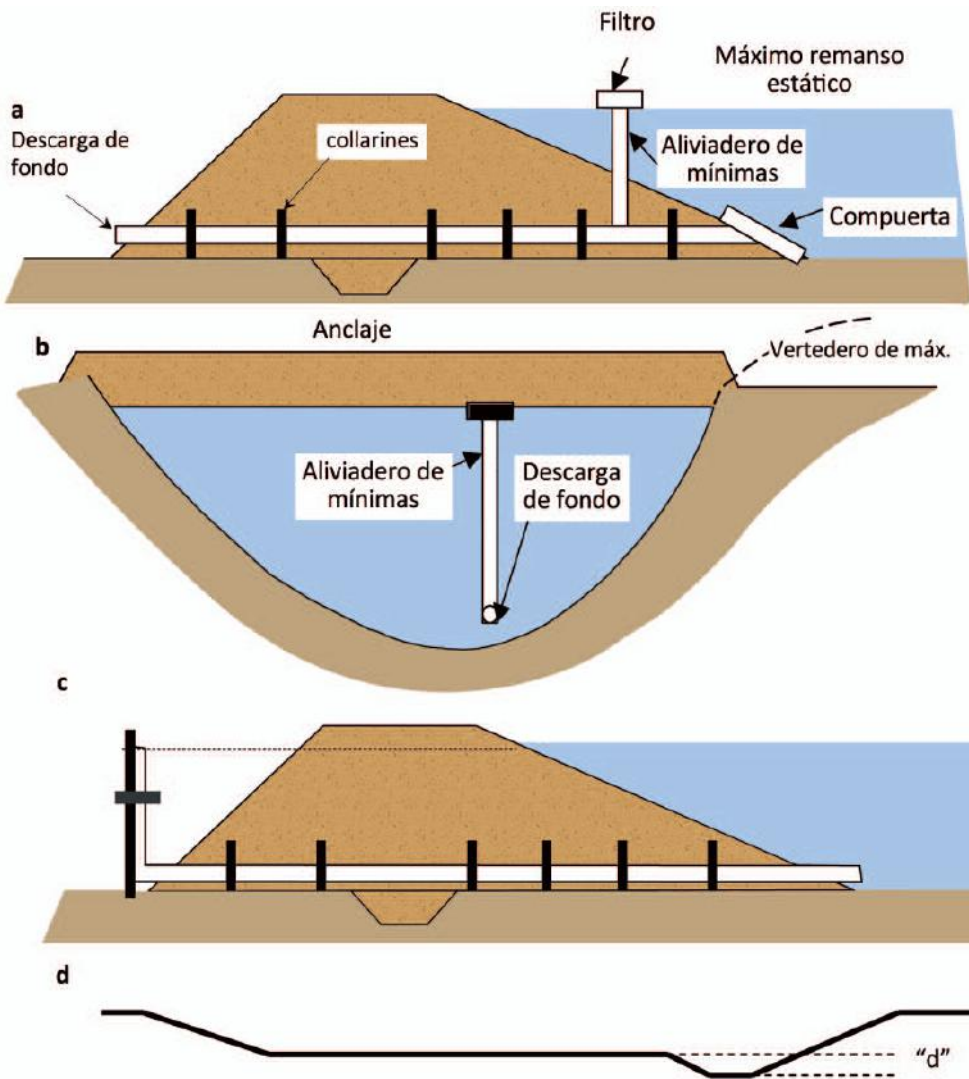


Figura 7. Diferentes diseños de aliviaderos de mínima

Cálculo de la distancia "d"

La distancia vertical entre la boca del aliviadero de mínimas y el fondo del vertedero de máximas determina el volumen que puede quedar almacenado en el lago, sin salir por el vertedero de máximas, y que se irá evacuando lentamente por el aliviadero de mínimas.

Por lo tanto, cuando mayor sea esa altura (llamada distancia "d"), menos veces en el año va a ser utilizado el vertedero de máximas, por lo tanto se disminuirá su riesgo de erosión, pero aumentará la altura total de la cortina, por lo tanto el volumen de tierra a mover y el costo de la misma.

Proponemos que esa altura sea la suficiente para almacenar un volumen de escurrimiento correspondiente a 10 mm.

Para seguir con el ejemplo, supondremos una cuenca de 8 há.

Una altura de 1 mm equivale a un volumen de 10 m³ por hectárea. O sea que los 10 mm en las 8 há producen un volumen de escurrimiento de 800 m³.

Si a los 14.300 m³ que almacena el lago en los 2 m le sumamos estos 800, nos da un total de 15.100 m³, que de acuerdo a la relación altura/volumen (Figura 4) corresponde a una altura de 2.04 m (distancia $d = 0.04$ m). Esta altura se puede determinar con más precisión utilizando el programa "Balance de un tajamar de aguada.xls" ingresando el volumen 15.100 m³.

A esta altura se ubica el fondo del vertedero de máximas (FVM).

Diseño del vertedero de máximas

El vertedero de máximas es un canal en tierra, de perfil trapezoidal, con una relación de taludes (z) de 4 a 1 (Figura 8). Este canal se debe mantener empastado. El motivo para que los taludes sean tan horizontales, es darle más resistencia a la erosión. Adicionalmente, esta forma permite el tránsito de vehículos sobre la cortina.



Figura 8. Perfil transversal del vertedero de máximas

Si las laderas tienen pendiente diferentes, como en el caso de nuestro ejemplo, el vertedero se construirá en la ladera de menor pendiente. Sin embargo, si éstas son similares, se podrán hacer dos vertederos, uno en cada ladera, y cada uno de ellos de un ancho de la mitad del calculado.

Después de pasar la cortina, el agua vertida debe ser conducida hasta su cauce natural. Para evitar que el agua erosione el talud de aguas abajo del tajamar, el canal vertedero deberá tener un lomo o camellón a lo largo de su lado inferior, llamado bigote (Figura 15.a). Este bigote tendrá la misma pendiente que la que se calcula para el vertedero de máximas.

En algunas circunstancias especiales, especialmente en la zona de basalto el mejor emplazamiento de la cortina hace que en las zonas próximas a la misma donde se ubica el o los vertederos ocurran suelos muy superficiales con roca consolidada a pocos centímetros de profundidad. La presencia de roca no permite la excavación y el uso de explosivos para lograr una plantilla horizontal del canal vertedero es muy caro.

En estos casos se puede adoptar una solución de compromiso, sin tocar el terreno y manteniendo el empastado natural y diseñando el vertedero con sección triangular. El emplazamiento del vertedero siempre se hará sobre la ladera más suave. El bigote funciona en estos casos como un tramo de canal de ladera y hay que definir una pendiente que no genere una velocidad erosiva. En este caso se deberán hacer cálculos hidráulicos particulares utilizando la ecuación de Manning, que superan el alcance de este manual, por lo que se deberán hacer consultas con técnicos especializados.

1. Cálculo del caudal pico de escurrimiento

Para diseñar este canal vertedero, se debe conocer primero cuál es el caudal que se deberá evacuar. Este será el caudal máximo o pico que puede producir la cuenca. El mismo se calcula utilizando el Método Racional:

$$Q = C * I * A / 3600$$

Q - Caudal pico de escurrimiento (m³/s)

C - Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I - Intensidad máxima de lluvia para una duración igual al Tiempo de Concentración de la cuenca y un determinado Período de Retorno (m/h).

A - Área de la cuenca (m²).

Los supuestos que asume este método son que a) llueve en toda la cuenca con la misma intensidad, y b) que llueve a la misma intensidad durante todo el Tiempo de Concentración.

Estos supuestos son válidos para cuencas chicas (<400 hás), por lo que éste será el método de cálculo seguido.

1.1. Selección del coeficiente de escorrentía “C”

Para obtener el coeficiente de escorrentía “C” de tabla, es necesario previamente estimar la pendiente de la cuenca y fijar el período de retorno a utilizar.

$$s = \frac{\sum \text{LCN} * \text{IV}}{\text{Ac}}$$

s – Pendiente de la cuenca (%)

LCN – Longitud de todas las curvas de nivel (m)

IV – Intervalo vertical entre las curvas de nivel (m)

Ac – Área de la cuenca (m²)

En nuestro ejemplo consideramos que la pendiente es del 3,5%.

El período de retorno (T) a utilizar está relacionado con la vida útil (vu) de la obra, y con el riesgo (r) que se esté dispuesto a asumir (de que ocurra una lluvia superior a la tormenta de diseño) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$T = \frac{1}{1 - (1-r)^{1/vu}}$$

Para tajamares de aguada se recomienda utilizar un período de retorno de 25 años.

Con estos valores, y considerando que la cuenca está ocupada con pasturas, se obtiene el coeficiente de escurrimiento “C” de la Tabla 6, que es 0,42.

Tabla 6. Coeficientes de escorrentía “C” para ser usados en el Método Racional.

Características de la superficie	Período de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Chow, V.T., 1994. Hidrología aplicada.

1.2. Cálculo del Tiempo de Concentración de la cuenca (TC)

La máxima intensidad de lluvia se calcula para una duración igual del Tiempo de Concentración (TC) de la cuenca, por lo tanto, primero se debe estimar éste.

El TC es el tiempo que demora una gota de lluvia que cayó en el punto más lejano de la cuenca en llegar a la salida. En ese momento, toda el área de la cuenca está aportando escorrentía.

Éste parámetro es uno de los que está más sujeto a errores en su estimación, por lo que se presentarán dos métodos diferentes de cálculo del mismo. Se recomienda calcular el TC por ambos métodos, y elegir, como medida de seguridad, aquel que haya dado un valor menor (por lo tanto se diseñará para una mayor I).

1.2.1. Método de distancia/velocidad

El método consiste en medir la distancia máxima que tiene que recorrer el agua hasta la salida de la cuenca, y dividirla entre la velocidad que toma el agua.

$$TC(s) = d(m) / V(m/s)$$

La distancia de recorrido del flujo se mide en la carta topográfica, en la foto aérea o en el campo.

La velocidad del agua se determina mediante la Tabla 7.

Tabla 7. Velocidad del agua en función de la cobertura y la pendiente

Condiciones de la superficie	Pendiente (%)			
	0 - 3	4 - 7	8-Nov	12 - +
<i>Flujo no concentrado</i>				
Bosques	0-0.46	0.46-0.76	0.76-0.99	0.99-+
Pasturas	0-0.76	0.76-1.07	1.07-1.30	1.30-+
Cultivos	0-0.91	0.91-1.37	1.37-1.67	1.67-+
Pavimentos	0-2.59	2.59-4.11	4.11-5.18	5.18-+
<i>Flujo concentrado</i>				
Canales naturales mal definidos	0-0.61	0.61-1.22	1.22-2.13	2.13-+
Canales naturales bien definidos	Calcular por fórmulas			

Fuente: Chow, V.T., 1994. Hidrología aplicada.

1.2.2. Método del NRCS

El Tiempo de Concentración se calcula utilizando la fórmula

$$TC = 0.91 * \sum (L K (S^{-0.5}))$$

Dónde:

TC - tiempo de concentración (horas)

L - longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo) (Km)

S - pendiente (%)

K - coeficiente de cobertura del suelo (Tabla 8)

Tabla 8. Coeficiente K del método del NRCS

Cobertura del suelo	K
Bosques con espeso mantillo sobre el suelo	3.95
Barbecho de hojarasca o cultivos de mínimo laboreo	2.02
Pasturas	1.41
Cultivos en línea recta	1.11
Suelo prácticamente desnudo y sin arar	1.00
Vías de agua empastadas	0.67
Área impermeable	0.50

Continuando con el ejemplo que se venía desarrollando, con una cuenca de 8 has, vegetación de pasturas y pendiente promedio del 3.5%. Supondremos una longitud máxima del flujo de 350 m.

Utilizando el método de distancia/velocidad, seleccionamos de la Tabla 7.

$V = 0.76 \text{ m/s}$, por lo que $TC = 350 / 0.76 = 460 \text{ s} = 7.67 \text{ min} = 0.13 \text{ hs}$.

Utilizando el método el NCRS seleccionamos de la Tabla 8. $K = 1.41$ por lo que

$$TC = 0.91 * 0.35 * 1.41 * 3.5 - 0.5 = 0.24 \text{ hs}$$

Se elige el valor menor, $TC = 0.13 \text{ hs}$

1.3. Cálculo de la intensidad máxima de precipitación (I)

Se debe calcular la intensidad de precipitación para una tormenta con una duración (d) de 0.13 hs y un Período de Retorno (T) de 25 años.

De acuerdo a la ubicación geográfica de la cuenca, se selecciona la precipitación de duración $d = 3$ horas y $T = 10$ años, utilizando el mapa de isoyetas de la Figura 9.

Para continuar con el ejemplo, supondremos que la cuenca se ubica en Salto, por lo que la precipitación con $d = 3$ horas y $T = 10$ años son 94 mm ($P(3, 10) = 94$ mm).

Ese valor hallado se debe corregir por un coeficiente de corrección por período de retorno (CT) y por un coeficiente de corrección por duración (CD), tal que:

$$P_{(d,T)} = P_{(3,10)} * CT_{(T)} * CD_{(d)}$$

En nuestro caso:

$$P_{(0.13,25)} = P_{(3,10)} * CT_{(25)} * CD_{(0.13)}$$

Ambos coeficientes de corrección se pueden seleccionar de las Figuras 10. y 11., o se pueden calcular con más precisión mediante las siguientes ecuaciones:

$$CT(Tr) = 0.5786 - 0.4312 \log \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right]$$

$$CD_{(d)} = \frac{0.6208d}{(d + 0.0137)^{0.5639}}$$

Figura 9. Precipitación de 3 horas de duración (d) y 10 años de Periodo de Retorno (T)

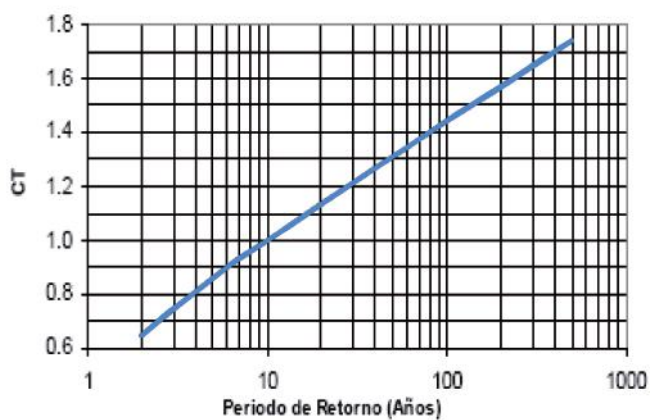
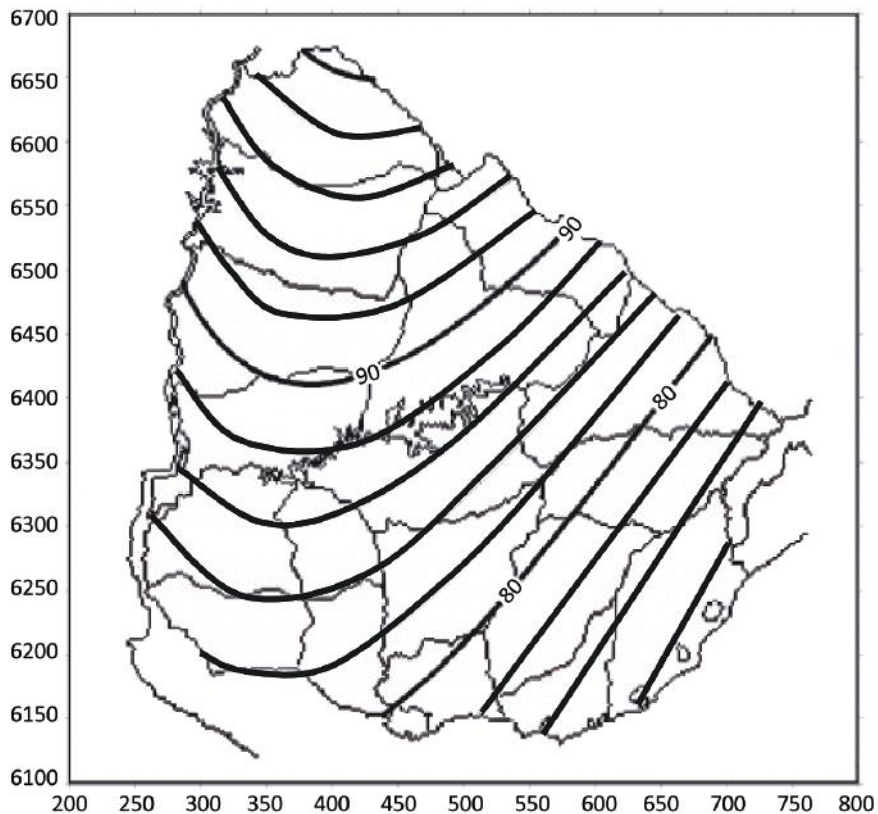


Figura 10. Coeficiente de corrección según el Periodo de Retorno (T)

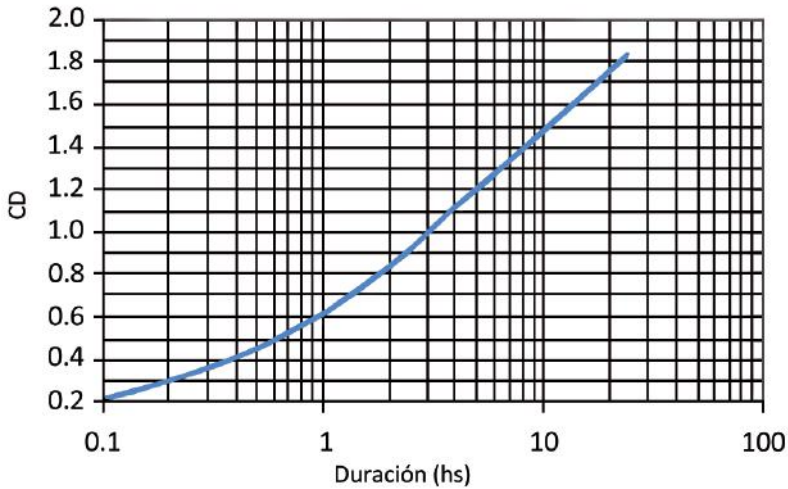


Figura 11. Coeficiente de corrección según la duración (d)

En nuestro ejemplo, $CT(25) = 1.18$ y $CD(0.13) = 0.24$ por lo que

$$P(0.13, 25) = 94 * 1.18 * 0.24 = 27 \text{ mm}$$

O sea que en las 0.13 horas llueven 27 mm, por lo que la Intensidad será:

$$27 \text{ mm} / 0.13 \text{ h} = 208 \text{ mm/h}$$

Ahora estamos en condiciones de calcular el caudal pico de escurrimiento:

$$Q = C * I * A / 3600$$

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = 0.42 * 0.208(\text{m}/\text{h}) * 80000(\text{m}^2) / 3600 = 1.94 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Cálculo del volumen total escurrido

Mediante el Método Racional se puede calcular también el volumen total de escorrentía, utilizando la siguiente ecuación:

$$V_{esc} = 4810 * Q_{m\acute{a}x} * TC$$

Donde:

V_{esc} - Volúmen de escorrentía total (m³)

Q_{máx} - Caudal pico de escurrimiento (m³/s)

TC - Tiempo de Concentración (h)

En nuestro ejemplo

$$Vesc = 4810 * 1.94 * 0.13 = 1213 \text{ m}^3$$

3. Cálculo del caudal máximo vertido

El caudal pico o máximo antes calculado (1.94 m³/s) es el que llega al lago. Sin embargo, no todo el mismo pasa por el vertedero. En efecto, a medida que llega el escurrimiento al lago una parte desagua por el vertedero, mientras que el resto produce un crecimiento del volumen embalsado, con una altura mayor que el fondo del vertedero. Este volumen está almacenado en forma transitoria, e irá desaguando al terminar la tormenta. Este fenómeno se llama laminado.

En cuencas muy grandes con lagos muy pequeños, este efecto del laminado es muy limitado y el caudal vertido máximo es muy similar al caudal pico. Por el contrario, en cuencas pequeñas con lagos relativamente muy grandes, el laminado puede ser muy importante, por lo que finalmente se tendrá un caudal máximo vertido muy inferior al caudal pico.

El volumen laminado será entonces el que puede almacenar el lago entre la cota del fondo del vertedero (HV) y la cota máxima que alcanza el lago en la tormenta de diseño (HV+E). Se desprende entonces que "E" es la altura máxima de vertido. Estas medidas se esquematizan en la Figura 12.

A los fines de diseñar el vertedero de máximas, se deberá entonces calcular el caudal vertido máximo.

$$QV_{\text{máx}} = \left(1 - \frac{VL}{Vesc} \right) * Q_{\text{máx}}$$

Donde:

QV_{máx} - Caudal máximo vertido (m³/s)

Q_{máx} - Caudal máximo de escurrimiento (m³/s)

VL - Volumen laminado (m³)

Vesc - Volumen total escurrido (m³)

Tabla 9. Valores del coeficiente de rugosidad “n” de Manning

Superficie	Condición de las paredes		
	Buena	Regular	Mala
En tierra, rectos y uniformes	0.020	0.0225	0.025 *
En roca, lisos y uniformes	0.030	0.033 *	0.035
En roca, con salientes, sinuosos	0.040	0.045	
Sinuosos de escurrimiento lento	0.025 *	0.0275	0.030
Dragados en tierra	0.0275 *	0.030	0.033
Lecho pedreg, bordes tierra y maleza	0.030	0.035 *	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.030 *	0.033 *	0.035

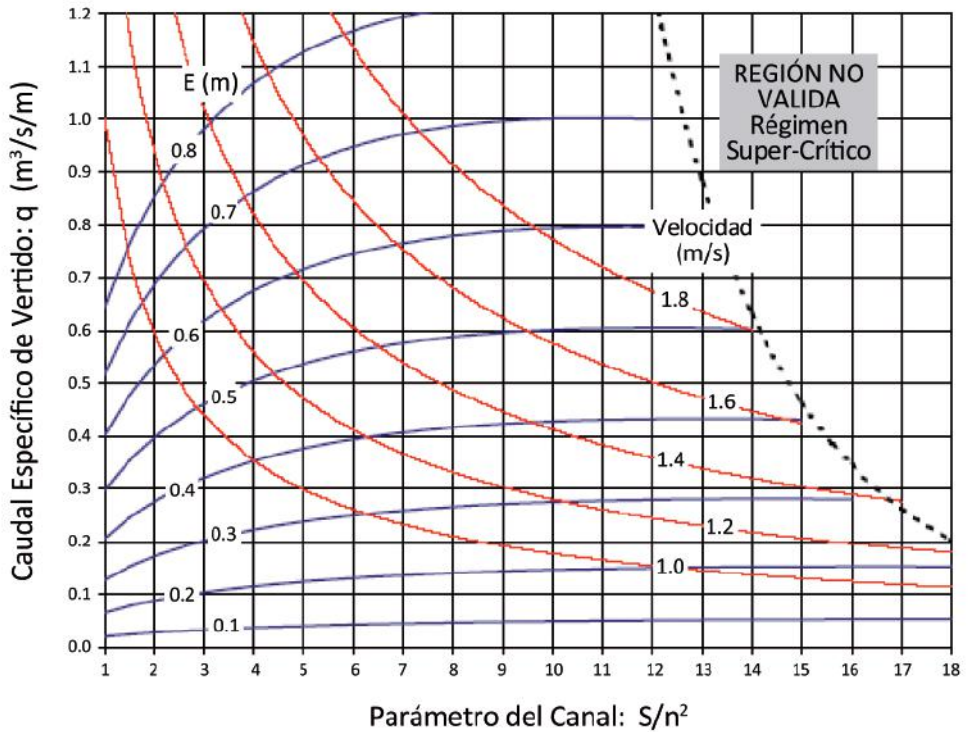
* Valores corrientemente usados en la práctica

El vertedero debe ser diseñado de forma tal que el caudal máximo vertido circule por él a una velocidad que no lo erosione. Como límite se tomarán las velocidades presentadas en la Tabla 10.

Tabla 10. Velocidades máximas en vertederos empastados, con relación de taludes $z = 4$

Cubierta vegetal	Velocidad m/s
Escasa	< 1,0
Por siembra	1,0 – 1,2
Variable	1,2 – 1,5
Bien establecida	1,5 – 1,8

Genta desarrolló la solución gráfica de la ecuación de Manning (Figura 13), que permite trabajar simultáneamente con la pendiente (s), el coeficiente de rugosidad (n), la velocidad del agua (V) y la lámina o altura de vertido sobre el fondo del vertedero (E).



Para continuar con el ejemplo del diseño del tajar, supongamos que se traza el vertedero por la ladera izquierda (tomada según el sentido en que corre el agua), y le damos una pendiente del 1% (0.01 m/m) y que de acuerdo a la Tabla 9. asumimos un valor de "n" de 0.033.

Con esos datos se calcula el parámetro del canal $s/n^2 = 0.01/0.0332 = 9.2$.

Con ese valor 9.2 se entra al gráfico de la Figura 13. y se elige una velocidad (V) o una altura de vertido (E), ya que al elegir una de ambas, la otra queda automáticamente definida.

A modo de ejemplo, y entrando con el valor 9,2, se puede elegir una velocidad de 1.0 m/s y queda determinado $E = 0.24$ m, para una velocidad de 1.2 m/s y queda $E = 0.32$, para $V = 1.4$ queda $E = 0.40$.

De la misma forma, se puede fijar una altura de agua y queda fijada la velocidad: si $E = 0.2$ entonces $V < 1.0$; si $E = 0.3$, $V = 1.08$; si $E = 0.4$, $V = 1.4$.

Se debe considerar que cuanto mayor sea E , mayor será V , por lo que para un determinado caudal será menor el ancho del vertedero (menos volumen de

tierra a excavar) pero mayor su altura, y por lo tanto la altura final de la pared (más volumen de tierra a apisonar). También se debe considerar que la tierra excavada del vertedero se utilizará para la construcción de la cortina, por lo que puede no ser un costo adicional.

Continuando con el ejemplo, supongamos que asumimos, basados en la Tabla 10., una velocidad máxima de 1.2 m/s, lo que nos determina que $E = 0.32$ m.

Debemos calcular ahora el caudal vertido máximo. Para ello debemos calcular el volumen laminado. Éste, como se recordará, es el que queda transitoriamente almacenado entre la cota del fondo del vertedero de máximas (2.04 m) y la máxima altura que llega el lago ($2.04 + 0.32 = 2.36$ m). Ese volumen se determina gráficamente con las curvas de la Figura 4. Se puede estimar más precisión con la ecuación potencial altura/volumen del tipo $y = a * x^b$, utilizando el programa "Balance de un tajamar de aguada.xls" y aumentando el volumen almacenado hasta que la altura sea 2.36 m.

Haciendo esto, con $H = 2.04$ m (fondo del vertedero), el volumen es 15.200 m³; con $H = 2.36$ m, Vol = 22.500 m³. Por lo tanto el volumen laminado es 22.500

$$QV_{\text{máx}} = \left(1 - \frac{V_l}{V_{\text{esc}}} \right) * Q_{\text{máx}}$$

$$QV_{\text{máx}} = \left(1 - \frac{7300}{1213} \right) * 1,94 = \text{Valor negativo}$$

El cálculo del caudal vertido da un valor negativo, lo que no es racional. ¿Por qué dio este resultado?. Porque el volumen que puede laminar el lago en los 0.32 m superiores (7300 m³) es mayor que todo el volumen de agua que escurre en la tormenta de diseño (1213 m³). Esto ocurre, como ya fue comentado en el apartado correspondiente, cuando la superficie del lago (1.9 há) es relativamente muy grande respecto a la superficie total de la cuenca (8 há).

Esta relación nos permite entonces, elegir un tirante menor, y abaratar la obra.

Para continuar con el ejemplo, ahora tomamos la altura de agua en el vertedero más baja; $E = 0.10$ m, entonces $V \ll 1.0$ (Figura 13.), y el volumen almacenado

con $H = 2.04 + 0.10 = 2.14$ m son 17.200 m³. Por lo tanto el volumen laminado es $17.200 - 15.200 = 2.000$ m³, que sigue siendo mayor que todo el volumen escurrido.

Tenemos pues una situación tan desproporcionada entre área del lago/área de la cuenca, en que el lago es capaz de actuar como un “pulmón” que almacena transitoriamente todo el escurrimiento generado por la cuenca en una tormenta máxima, aún con una altura tan pequeña como 0.10 m.

En este caso extremo, se hará entonces un vertedero de 10 m de ancho y 0.10 m de altura.

A los efectos simplemente de ver el procedimiento de diseño para casos más “normales”, supongamos que la cuenca es mayor a la de nuestro ejemplo, y que nos produce un caudal pico y un volumen total de escurrimiento 10 veces mayor a los calculados ($Q_{\text{máx}} = 19.40$ m³/s, $V_{\text{esc}} = 12130$ m³). Mantengamos entonces nuestra elección inicial de $E = 0.32$ m y $V = 1.2$ m/s, lo que determinaba un volumen laminado de 7.300 m³.

$$QV_{\text{máx}} = \left(1 - \frac{7300}{1213}\right) * 19,4 = 7.72 \text{ m}^3/\text{s}$$

El ancho del vertedero (B) se calcula como

$$B = QV_{\text{máx}} / q$$

Siendo “q” el caudal específico por metro de ancho del vertedero.

En el gráfico de la Figura 13. vemos que para un parámetro del canal de 9.2 y una velocidad de 1.2 m/s (o un $E = 0.32$ m), el caudal específico vertido son 0.3 m³/s/m.

$$\text{Entonces } 7.72 \text{ m}^3/\text{s} / 0.3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} = 25.7 \text{ m.}$$

En este caso es vertedero debería tener 25.7 m de ancho y 0.32 m de altura.

Borde libre o "revancha"

El borde libre es la distancia vertical entre el máximo nivel del agua en el lago y la creta de la cortina. Debe ser suficiente para prevenir la altura de las olas y su efecto al reventar contra la cortina. La altura de la ola puede ser determinada por la fórmula de Hawksley:

$$hola = 0.0138 * f^{1/2}$$

hola – altura de la ola en condiciones de viento máximo (m)

f – fetch, máxima longitud entre la cola de la laguna y la cortina, medida en línea recta (m). (Figura 14.).

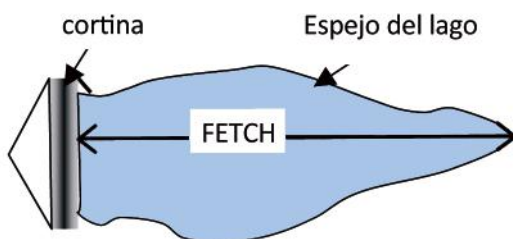


Figura 14. Fetch para el cálculo de la altura de la ola.

En tajamares para aguada asumimos un borde libre igual a la altura de la hola (BL = hola).

En nuestro ejemplo, cuando el lago llega a su mayor altura (2.14 m) en la máxima tormenta, el fetch es de 300 m (Figura 3.), por lo que el borde libre será:

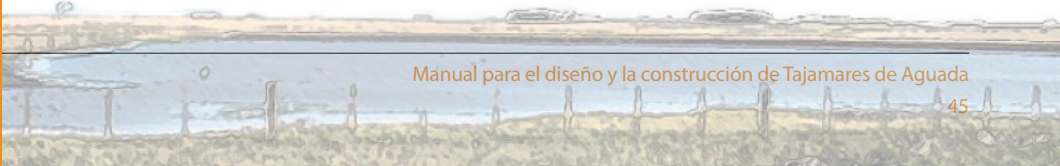
$$BL = 0.0138 * 300^{1/2} = 0.24 \text{ m}$$

Altura definitiva de la cortina

La altura total de la cortina estará dada por la suma de los distintos factores que hemos considerado:

- a) Altura para almacenar el "Volumen Útil" (incluye 0.50 m de volumen no aprovechable). Máximo remanso estático -en el ejemplo, 2.00 m.
- b) Altura "d" entre la boca del aliviadero de mínimas y el fondo del vertedero de máximas - 0.04 m.
- c) Altura "E" en el vertedero que corresponde a la máxima descarga. A esta altura corresponde el máximo nivel que alcanzará el agua en el lago - 0.10 m.
- d) Borde libre - 0.24 m.

Por lo tanto la altura total de la cortina (H) será $2.00 + 0.04 + 0.10 + 0.24 = 2.38$ m (Figura 15).



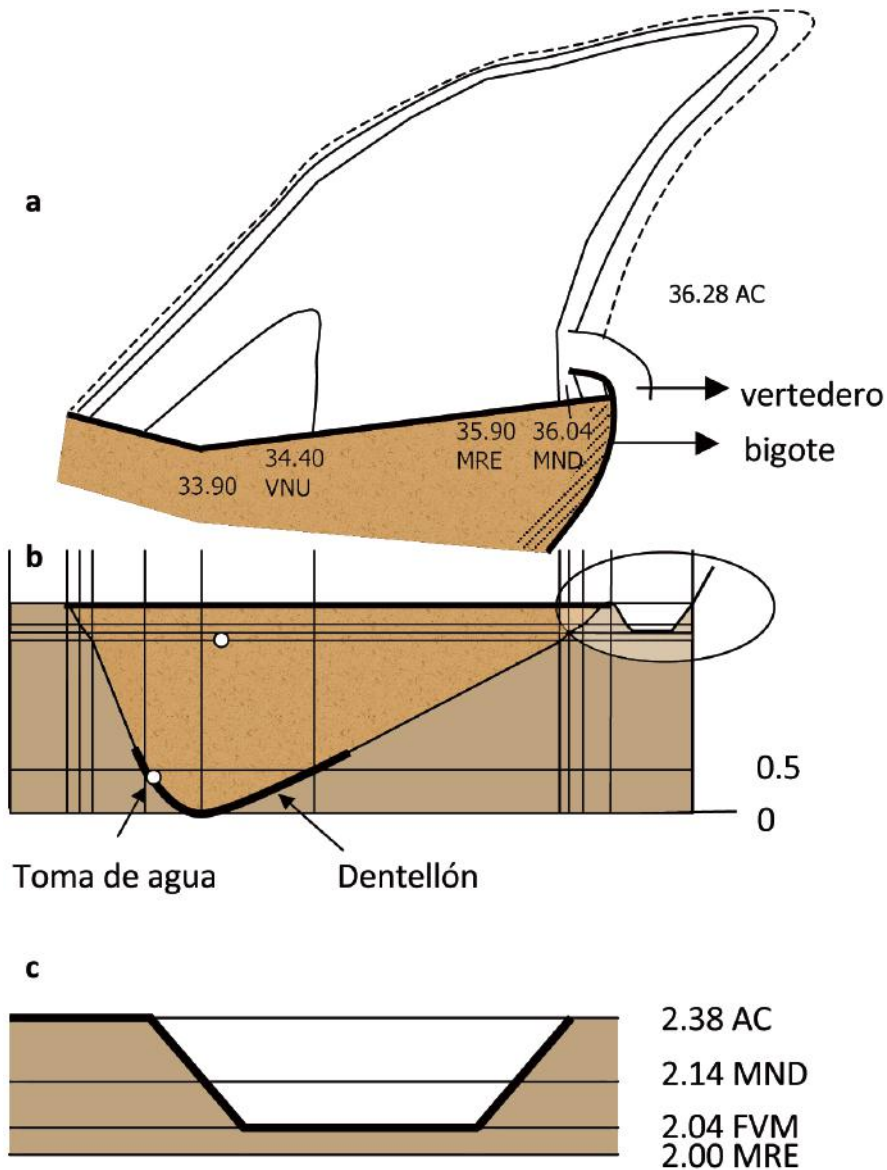


Figura 15. a. Vista en planta del lago y el eje de la cortina, b. perfil longitudinal de la cortina y c. detalle del vertedero.

Se esquematizan las diferentes alturas desarrolladas en el texto.

VNU – volumen no utilizable,

MRE – máximo remanso estático,

FVM – fondo del vertedero de máximas,

MND – máximo nivel dinámico,

AC – altura de coronamiento.

Ancho de la cortina

1. Ancho de coronamiento (C)

El "C" es el ancho que tiene la cortina en su parte superior, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = 1.1 * \sqrt{H} + 0.91$$

Siendo H la altura de la cortina en metros.

Como la altura de la cortina decrece desde el centro a los extremos, el ancho de coronamiento seguirá también esa tendencia. No obstante, es práctico hacer el ancho uniforme con la dimensión que corresponde a la máxima altura.

El ancho de coronamiento así calculado es un mínimo necesario para la estabilidad de la obra. En caso que se vaya a utilizar para transitar con rodados sobre la cortina, se podrá incrementar el mismo en la medida necesaria.

En nuestro ejemplo:

$$C = 1.1 * \sqrt{2.38} + 0.91 = 2.60 \text{ m}$$

2. Ancho de la base

En las cortinas de tierra se fija una inclinación de taludes de 2 a 1 para el talud de aguas abajo y de 3 a 1 para el de aguas arriba, o sea hacia el lago (Figura 16).

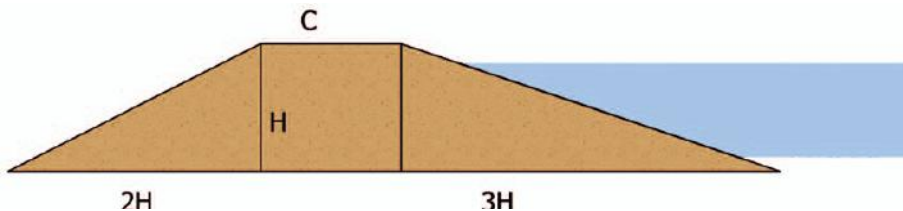


Figura 16. Perfil transversal de la cortina

Aplicando esas relaciones, las dimensiones totales y el peso de la cortina exceden en mucho a la resistencia que deben ofrecer para asegurar la estabilidad de la obra, pero son necesarios para la estabilidad de los taludes.

El ancho de la base (B) en una sección determinada, será entonces igual a:

$$B = 2H + C + 3H = 5H + C$$

Para el ejemplo desarrollado, el ancho de la cortina en el punto de la máxima altura será:

$$B = 5 \cdot 2.38 + 2.60 = 14.50 \text{ m}$$

Dentellón de anclaje

Es una zanja que corre a lo largo del eje de la cortina. Tiene por finalidad prevenir el desplazamiento de la pared y minimizar las pérdidas por filtración.

De acuerdo a las diferentes fórmulas de cálculo, para tajamares de agua nunca sería necesaria su construcción. A pesar de ello, y dada la seguridad que brinda, se recomienda su construcción aún en estos casos.

Se construye no a lo largo de todo el eje, sino sólo en la parte de la cortina que va a tener al menos 1.50 m de agua (Figura 15 .b).

En nuestro ejemplo, la altura máxima de agua en el lago son 2.14 m, por lo que van a tener al menos 1.50 m los 0.64 m inferiores ($2.14 - 1.50 = 0.64$).

Dado que el fondo del tajamar está en la cota 33.90, el dentellón deberá llegar sólo hasta la cota 34.54 ($33.90 + 0.64 = 34.54$).

Basados en la práctica, se recomienda un dentellón con el siguiente perfil (Figura 17.)

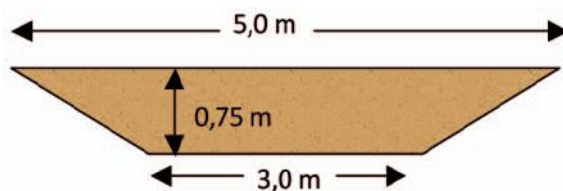


Figura 17. Perfil transversal del dentellón de anclaje.

Cálculo del volumen de tierra

1. Volumen de tierra de la cortina

En corte transversal, una cortina tiene un perfil trapezoidal con una base mayor B, una base menor C y una altura H. B y H son variables a lo largo de la cortina, decreciendo desde el centro a los bordes, mientras que C es fijo.

Para calcular el volumen de tierra de la cortina, primero se calcula la superficie de cada trapecio en cada punto de altura conocida (en cada cota), y se mide en el plano la distancia entre ellos (Figura 18.).

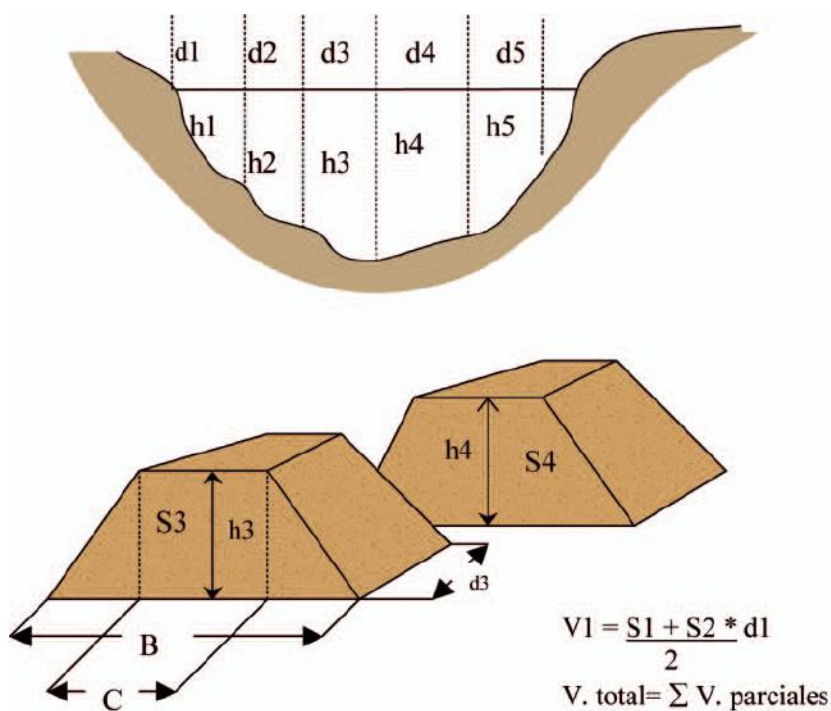


Figura 18. Cálculo del volumen de tierra de la cortina de un tajamar

El volumen encerrado entre dos de estos trapezoides es la semisuma de sus áreas, multiplicada por la distancia entre ellos. El volumen total será la sumatoria de todos los volúmenes parciales. El procedimiento para el cálculo del volumen de tierra de la cortina del tajamar del ejemplo se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11. Planilla de cálculo del volumen de tierra de la cortina del tajamar del ejemplo.

Cota	(1) Altura (m)	(2) Base mayor (B) (m)	(3) Sección (m ²)	(4) Semisuma secciones (m ²)	(5) Distancia (m)	(6) Volumen parcial (m ³)	(7) Volumen acumulado (m ³)
36.28	0.00	2.60	0.00	0.00	0	0	0
36.00	0.28	4.00	0.92	0.46	5	2	2
35.00	1.28	9.00	7.42	4.17	15	63	65
34.00	2.28	14.00	18.92	13.17	15	198	263
33.90	2.38	14.50	20.35	19.64	10	196	459
34.00	2.28	14.00	18.92	19.64	10	196	655
35.00	1.28	9.00	7.42	13.17	50	659	1314
36.00	0.28	4.00	0.92	4.17	55	230	1544
36.28	0.00	2.60	0.00	0.46	10	5	1548

- (1) $Altura_{(i)} = \text{Cota de coronamiento (36.28)} - \text{Cota del punto}_{(i)}$
- (2) $B_{(i)} = C + 5 * H_{(i)} \quad B_{(i)} = 2.60 + 5 * H_{(i)}$
- (3) $Sección_{(i)} = ((B_{(i)} + C) / 2) * H \quad Sección = ((B_{(i)} + 2.60) / 2) * H$
- (4) $Semisuma\ secciones_{(i, i-1)} = (Secc_{(i)} + Secc_{(i-1)}) / 2$
- (5) $Distancia_{(i, i-1)} - \text{Se mide en el plano}$
- (6) $Volumen\ parcial_{(i, i-1)} = Semisuma\ secciones_{(i, i-1)} * Distancia_{(i, i-1)}$
- (7) $Volumen\ acumulado = \sum_{i=1}^{I=n} Volúmenes\ parciales_{(i)}$

Es decir que queda una cortina de 170 m de longitud, y un volumen de 1548 m³.

2. Volumen de tierra del dentellón

Como ya fue dicho en el apartado correspondiente, el dentellón llega sólo hasta la cota 34.54, por lo que tiene una longitud (medida en el plano) de 55 m. Su sección es la de un trapecio con las medidas dadas en la Figura 18., por lo

que su sección es de $((5 + 3) / 2) * 0.75 = 3 \text{ m}^2$ y su volumen es $55 * 3 = 165 \text{ m}^3$.

3. Volumen de tierra del vertedero

En el lugar donde se construirá el vertedero, la pendiente promedio de la ladera es aproximadamente 3%.

Como el vertedero del ejemplo tiene 10 m de ancho, la diferencia de nivel de un borde al otro del mismo son 0.30 m. Como el fondo del vertedero debe ser horizontal en el sentido transversal, se deberá excavar la sección esquematizada en la Figura 19.

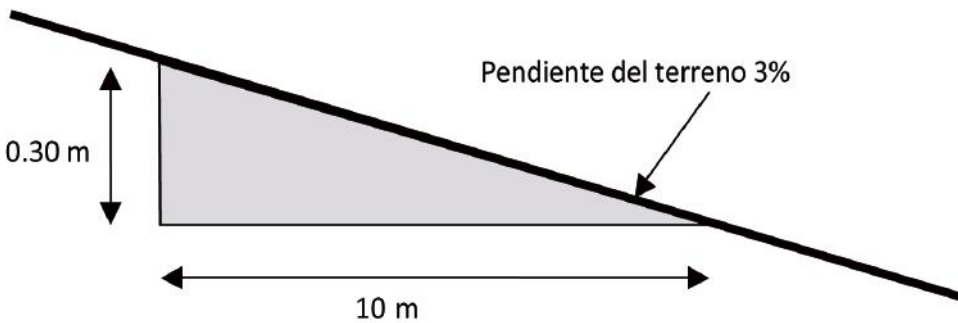


Figura 19. Perfil transversal de la excavación para el vertedero de máximas

El área de esta sección triangular es $10 * 0.30 / 2 = 1.50 \text{ m}^2$.

El volumen total de excavación será el producto de esta sección por la longitud que se le vaya a dar.

Como ya fue dicho anteriormente, la tierra que se excava del vertedero se puede utilizar para la cortina, por lo que en este caso no la consideraremos un costo adicional.

4. Volumen de tierra del desmonte

Antes de comenzar a construir la cortina se debe remover toda la capa de suelo vegetal (horizonte A) pues es muy porosa, no impide la infiltración, y no hace una buena unión con la tierra que será apisonada.

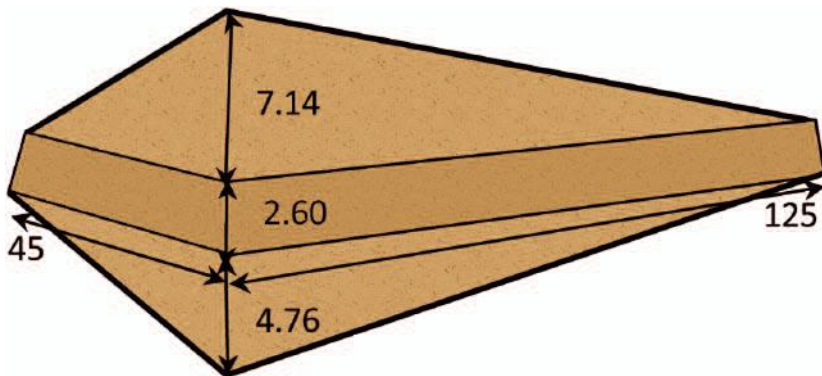


Figura 20. Planta de la cortina, dimensiones en m.

Si asumimos que se removerán los 0.30 m superiores del suelo, que el largo total de la cortina son 170 m, y que el ancho máximo de la misma son 14.50 m, el volumen aproximado será:

$$(170 * 14.50) / 2 * 0.30 = 370 \text{ m}^3.$$

5. Volumen de tierra por la compactación

Por mejor que se apisone la cortina al momento de su construcción, al pasar el tiempo se va compactando más. Esta compactación será mayor cuanto mayor sea la altura de tierra. Es así que si se termina la obra con el coronamiento horizontal, luego de un tiempo en el centro de la cortina ésta estará más baja, corriéndose el riesgo que en una tormenta el agua pase por esta depresión, que está justamente en su parte más delicada.

Para evitar este problema, se termina la cortina con un 10% más de altura en el coronamiento, como se muestra en la Figura 21.

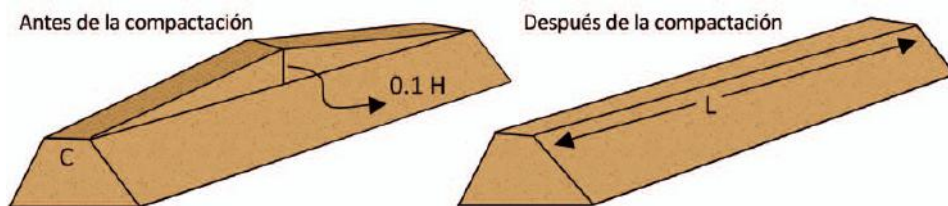


Figura 21. Volumen de tierra extra para compensar la compactación

Este volumen extra se calcula como $(C * L * 0.1H) / 2$.

Con los datos de nuestro ejemplo: $(2.60 * 170 * 0.1 * 2.38) / 2 = 53 \text{ m}^3$.

6. Volumen total de tierra

Es la suma de todos los componentes reseñados.

Volumen total de tierra = Volumen de la cortina + Volumen del dentellón + Volumen del vertedero + Volumen del desmonte + Volumen extra por compactación.

Siguiendo con nuestro ejemplo:

Volumen total = $1.548 + 165 + 0 + 370 + 53 = 2.136 \text{ m}^3$.

Cálculo de la eficiencia del tajamar

Como ya fue discutido en el apartado correspondiente, se define la eficiencia como:

Volumen de agua almacenada (m³) / Volumen de tierra movido y apisonado (m³).

Entonces, recordando que el volumen almacenado de agua en el MRE son 14.300 m³,

Eficiencia = $14.300 / 2.136 = 6.7$ Si se compara con los valores de la Figura 2., se ve que 6.7 es una eficiencia buena para un tajamar de este tamaño.

Obras complementarias

1. Tubería de descarga de fondo

Ocasionalmente es necesario vaciar el tajamar por dos motivos:

Remover el material que colmata el lago. El agua de escurrimiento trae materiales en suspensión. Al llegar al lago pierde velocidad y los materiales decantan. Esta acumulación irá haciendo perder paulatinamente capacidad de embalse al lago. La mayor o menor velocidad con que ocurra este fenómeno dependerá de las características de la cuenca (tamaño relativo al lago, tipo de suelo, pendiente, pero principalmente si son pasturas o se realizan laboreos). El gasto sólido se puede estimar, en promedio, en 1 tm ha-1 año-1.

Reparar la cortina. El efecto del oleaje en el talud de la cortina va erosionándolo paulatinamente. Después de cierto tiempo, se forma un escalón en el talud del lago. Para repararlo, primero hay que excavar el mismo hasta llegar a la tierra fresca, y luego sobre ésta comenzar a apisonar nueva tierra, igual que se hizo en el momento de la construcción. Otras soluciones técnicas, como el enrocado o el uso de geotextiles sobre el talud del lago, son mucho más caras que estas reparaciones periódicas.

Para vaciar el tajamar se precisa entonces la descarga de fondo. Ésta es una tubería de 200 a 250 mm que atraviesa la cortina en su punto más bajo.

La existencia de una tubería tiende a provocar filtraciones a lo largo de la misma. El agua circula preferencialmente por la unión de la tubería con el suelo, arrastrando los materiales más livianos. Esto a su vez facilita aún más el flujo de agua, aumentando su velocidad y arrastrando por lo tanto materiales cada vez más pesados. Finalmente la tubería queda separada de la tierra, formando un verdadero túnel, por lo que la obra se comienza a erosionar desde abajo, colapsando finalmente. Este proceso se conoce como tubificación.

Para evitarlo, se construyen collarines antifiltrantes, tal cual se discutió en el apartado del aliviadero de mínimas.

En el caso de tajamares de aguada, no es imprescindible la construcción de la descarga de fondo.

2.Toma de agua

Es totalmente inconveniente el acceso directo de los animales al lago. En la época de calor los animales tienden a permanecer en el mismo, infectando el agua con sus deyecciones. El permanente pisoteo contribuye a formar zonas barrosas, que deterioran más aún la calidad del agua, y en la cual los animales se entierran. Más peligroso aún es el pisoteo de los animales en el vertedero de máximas, que lo deja en una condición muy erosionable ante futuras tormentas.

Es necesario entonces suministrar el agua en bebederos. Aquellos que estén en potreros ubicados aguas abajo del tajamar se alimentarán directamente por gravedad. Para los que estén a una cota superior, se deberá elevar el agua a un depósito (p.ej. un tanque australiano o un tanque elevado), y desde éste se distribuirá por gravedad a los bebederos.

La tubería de toma atravesará la cortina y tendrá su extremo dentro del lago a una cota 0.50 m por encima del fondo, para mejorar la calidad del agua tomada. Será de PVC, de pared gruesa (PN 10) para tener mayor resistencia al aplastamiento. El diámetro dependerá del número de bebederos que tenga que servir, pudiendo ser de 40, 50, 63 o 75 mm de diámetro nominal. Igual que en el caso de las tuberías antes mencionadas, deberá llevar collarines antifiltrantes.

Para facilitar la entrada de agua limpia la toma puede efectuarse introduciendo la punta de la tubería dentro de un tanque o tarrina de 200 l. Este tanque se llena de grava de 10 a 20 mm y se perfora en su mitad superior con agujeros o ranuras de 5 a 10 cm para facilitar la entrada de agua.

El mismo efecto se puede conseguir atando la punta de la tubería a un poste clavado en el fondo del lago, a 50 cm de altura. En este caso la punta del tubo debe estar cubierta por algún accesorio que actúe como filtro.

Aguas abajo de la cortina, el extremo de salida de la tubería se tapaná con un tapón de rosca a efectos de poder proceder al lavado de la misma. Un tubo vertical derivará a los bebederos, en los cuales se colocará una válvula de flotador para permitir el flujo de agua. Antes de la derivación a los bebederos

se colocará una llave de paso que permita cortar el flujo para reparaciones u otras emergencias (Figura 22.).

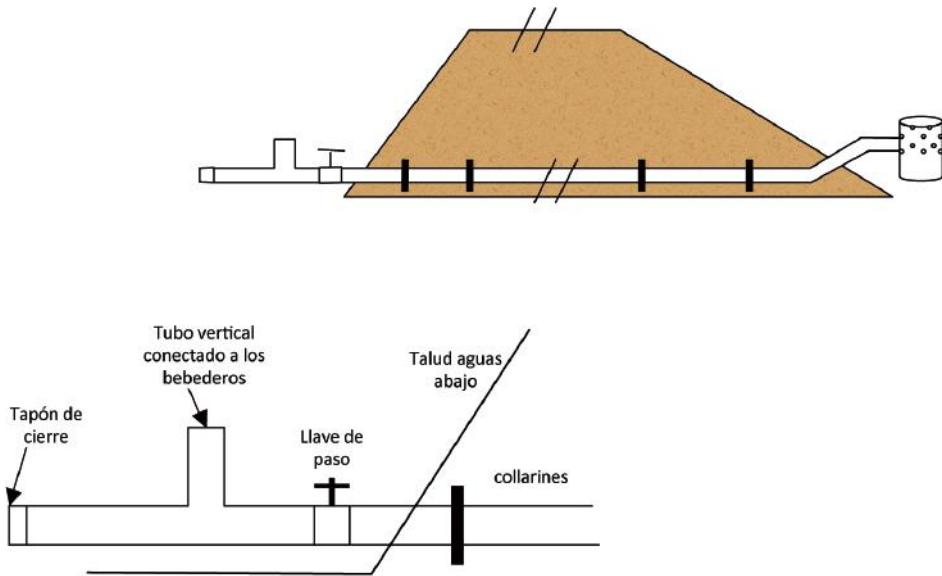


Figura 22. Vista general de las obras de toma de agua, mostrando detalles constructivos de la entrada y salida.

3. Alambrados

Para evitar la entrada de animales y para defensa de la obra, hay que cercar la misma, inclusive el vertedero de máximas.

Construcción

Fijar un mojón como cota de referencia fuera de la obra. Este mojón es conveniente fijarlo cuando se hace el levantamiento topográfico del área del vaso. Será la referencia permanente para controlar el desarrollo de la obra.

Marcar el eje de la cortina

Hacer cateos a lo largo del eje y en el vaso del lago. Éstos se harán con taladro holandés perforando a la máxima profundidad posible, incluso es conveniente usar un taladro con extensión. Es imprescindible determinar si por debajo del suelo el material es impermeable o no (p.ej. arenas, toscas, etc.). En este último caso, no se debe remover el horizonte B ni en el eje de la cortina ni en el fondo del lago.

Marcar la planta de la cortina. En cada punto ($C/2+3H$) hacia aguas arriba y ($C/2+2H$) hacia aguas abajo.

Desmontar dicha planta, hasta toda la profundidad del horizonte A. (15–30 cm)

Volcar el material al pie aguas debajo de la cortina (actuará como filtro) o después de construida la cortina se cubre con el mismo para facilitar el arraigamiento de pastos que la protejan.

Excavar el dentellón de anclaje y volcar el material arcilloso a lo largo del eje de la cortina.

Determinar las zonas de préstamo. Deben estar cerca de la cortina, preferentemente dentro del vaso del lago (si el cateo muestra que así se puede hacer), pero contra las orillas y no en las zonas más profundas del mismo.

Se levanta la cortina aplicando capas finas (20-30 cm), esparciéndolas y compactándolas. Se rellena el dentellón con material pesado, los materiales más porosos se vuelcan al pie de cortina. Se tratará de utilizar el material más arcilloso para el núcleo en el eje de la cortina. Si la tierra está excesivamente seca, se deberá regar para lograr una buena compactación.

Cuando se llega a una altura algo superior a la que van las tuberías (descarga de fondo, tuberías de toma) se hace una zanja atravesando la cortina, se coloca la tubería con los collarines, se rellena nuevamente la zanja y se compacta en forma manual.

Una vez tapadas las zanjas se continúa levantando la cortina.

El material de excavación para el(los) vertedero(s) de máxima, se utilizará para la cortina y el bigote.

Se termina con el coronamiento 10% más alto en el centro que en los extremos.

Informe técnico

El informe técnico de este tipo de obra, debería contener:

- Dotación de animales y estimación del consumo de agua.
- Plano con delimitación de la cuenca de captación extraído de cartas del Servicio Geográfico Militar, fotos aéreas u otro material base.
- Plano taquimétrico del embalse, con cotas referidas a un mojón de referencia.
- Cálculo hidrológico de los aportes de la cuenca (Método de Temez, programa Balance de un tajamar de aguada.xls)
- Cálculo del vertedero
- Planos técnicos con: a) perfil transversal de la obra en la sección de máxima altura; b) características del vertedero (cota, ancho, pendiente); c) trazado del mismo en el plano; d) características de las obras de toma (cotas, diámetros de tuberías, zanjeado, etc.).



Aplicación del manual en la órbita del Proyecto Producción Responsable

La producción agropecuaria y especialmente la ganadería y lechería enfrentan periódicamente y cada vez con mayor frecuencia, crisis ligadas a la sequía, que interactúan con la baja capacidad de retención de agua de los suelos. Esto provoca grandes pérdidas a los productores y un impacto negativo en la economía nacional.

El agua para bebida de los animales es el primer factor limitante desde el punto de vista nutricional y es necesaria para mantener con vida a los animales en el corto plazo, en tanto la alimentación tiene efectos más dilatados en el tiempo.

En años secos, las autoridades y los productores deben recurrir a medidas de emergencia para salvar a los animales que, aún siendo relativamente exitosas, no logran evitar la pérdida de productividad.

El Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, a través del Proyecto Producción Responsable ha implementado una serie de medidas estructurales para hacer frente a esta problemática. Producción Responsable (PPR) integra la Dirección General de Desarrollo Rural y tiene como finalidad promover la adopción de sistemas de manejo integrado y sostenible de los recursos naturales y la biodiversidad en predios de productores familiares y en los diferentes sistemas de producción.

Para solucionar las limitantes existentes en el recurso agua, se han realizado más de 1800 obras de aguada a partir del año 2006 entre pozos y tajamares, bajo diferentes modalidades de financiamiento que posibilitaron experiencias exitosas:

- Fondo de Prevención de los Efectos de la Sequía (2007-2008) en los departamentos del Norte de país: Artigas, Salto, Paysandú, Rivera y Tacuarembó.
- Programa Agua de Calidad para la Producción Familiar en el 2009 en los departamentos de Durazno, Maldonado, Treinta y Tres, Flores y Rocha.
- "Componente A" del PPR. Proyectos de Manejo de Recursos Naturales en



todo el país. Años 2005 a 2010.

- Llamado “Agua para la producción animal” en el año 2011.

Un importante número de productores ha podido construir sistemas de suministro y distribución de agua que les permitieron superar las sequías ocurridas en los últimos años, sin falta de agua para los animales y estar mejor preparados para futuros episodios climáticos adversos. Adicionalmente, otro resultado importante fue el desarrollo y validación de metodologías exitosas para captación y distribución de agua para abrevadero y la capacitación de una importante masa crítica de técnicos de campo que adquirieron conocimientos y destrezas para diseñar y construir tajamares, y distribuir el agua.

Se dimensionaron las obras para que puedan abastecer de agua al ganado existente en el predio por un período de 180 días sin lluvias. Las condiciones de construcción permiten el abastecimiento de agua de calidad aún en los períodos más críticos.

En el presente capítulo, se exponen las características constructivas de los primeros cinco tajamares construidos en los departamentos del norte del país, para que sirvan como ejemplo a técnicos y productores. Estas obras fueron construidas siguiendo las recomendaciones técnicas incluidas en el presente manual y fueron dimensionadas disponer de agua suficiente para toda la dotación ganadera del predio.

La distribución del agua se realiza por gravedad a través de bebederos que están conectados a tuberías soterradas desde el embalse. La calidad del agua se asegura mediante la adecuada profundidad del lago, nunca inferior a dos metros y evitando el ingreso de animales al mismo, mediante alambrado perimetral. Las taipas están protegidas ante las avenidas máximas de agua, por desagües de máxima mediante uno o dos vertederos, dimensionados de acuerdo al tamaño y tipo de cuenca, tomando como información estadística las lluvias máximas en un período de retorno de aproximadamente 30 años.

El proceso de construcción en todos los casos se realiza decapando la zona orgánica en el área de embalse por medio de traillas. Las mismas son movidas por tractores lastrados con agua en sus neumáticos y provistos de contrapesos delanteros y traseros. Este método de carga y descarga apisona la taipa, disminuye la porosidad interna y contribuye a reducir la infiltración y la erosión mecánica causada por el agua.

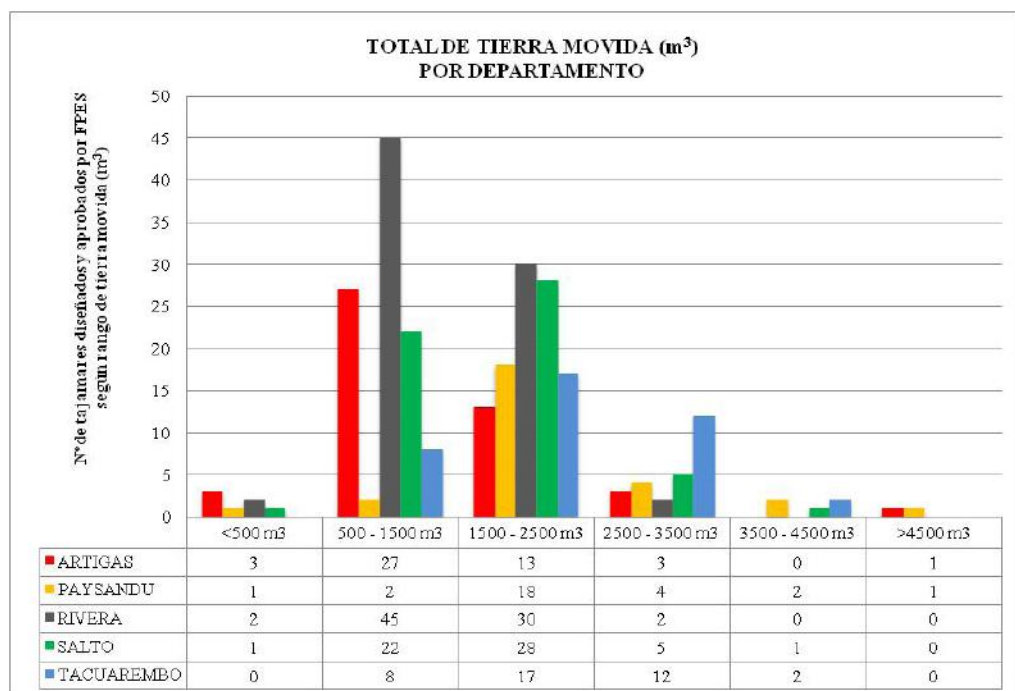
Datos estadísticos

A efectos de cuantificar diferentes parámetros involucrados en la construcción de tajamares, presentaremos los datos recabados de las obras realizadas en los departamentos del norte del país durante los años 2007 y 2008 y que representan aproximadamente un 20 % de las obras construidas en el país con apoyo de Producción Responsable.

Total de tierra movida (m^3)

El estudio estadístico de los proyectos con solicitudes de tajar, diferenciados por departamento, muestra que el rango más frecuente de tierra total movida estimada por obra es el de 1500 a 2500 (m^3).

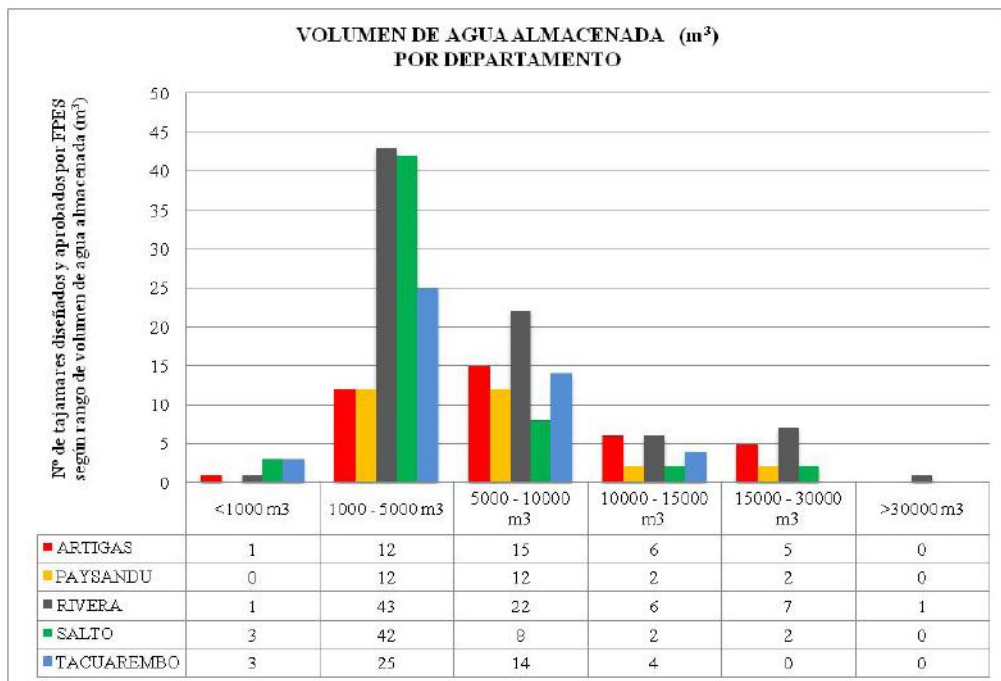
El promedio de tierra total movida por tajar y considerando los cinco departamentos es de 1.905 m^3 , encontrándose un máximo de 5.013 m^3 y un mínimo de 250 m^3 . En la Gráfica N° 1, se detallan los rangos de tierra movida por departamento.



Gráfica N° 1. Rangos de Total de Tierra Movida (m^3) por departamento.

Volumen de Agua Almacenada (m³)

Se ha observado que los departamentos de la frontera Artigas y Rivera son los que solicitan los embalses de mayor capacidad y profundidad mientras que los embalses de Tacuarembó los de menor volumen. Esta relación es directamente proporcional al tamaño de los productores y a su capacidad de manejo del ganado en el predio. El promedio de agua acumulada por tajamar es de 7.530 m³, encontrándose un máximo de 31.500 m³ y un mínimo de 600 m³. En la Gráfica N° 2 se muestran los rangos de volumen de agua almacenada en m³ por departamento.



Gráfica 2. Rangos de Volumen de Agua Almacenada estimada (m³) por departamento.

Tajamares Demostrativos

El PPR realizó 5 tajamares demostrativos en los departamentos del Norte de Uruguay durante el año 2007. El objetivo de éstos, fue que sirvieran como modelo de diseño y ejecución de obra, además de tener especial interés para la capacitación de técnicos y productores. Un resumen de las características de los mismos se presenta en la Tabla N° 4.

Tabla N°4. Resumen de características de los Tajamares Demostrativos en el Norte de Uruguay

DEPARTAMENTO	ARTIGAS	SALTO	PAYSANDU	RIVERA	TACUAREMBO
LOCALIDAD	Topador	Colonia Rubio	Molles Grande	Amarillo	Salsipuedes
PRODUCTOR	Rodolfo Odriazola	Sociedad de Fomento	CALTIECO	Mailen Bertiz	Ricardo Favaro
TIPO DE PRODUCTOR	Ganadero	Ganadero	Ganadero	Ganadero	Ganadero
	Criador - Pequeño	Criador - Pequeño	Criador - Pequeño	Criador - Pequeño	Criador - Pequeño
INDIVIDUAL/GRUPO	Individual	Grupo-colonización	Colectivo-Gremiales lecheras	Individual	Individual
TIPO DE OBRA	Tajamar	Tajamar	Tajamar	Tajamar	Tajamar
INAUGURACIÓN DE OBRA	2/15/2007	2/28/2007	11/12/2007	2/14/2007	Mar-07
VOLUMEN DE AGUA (m3)	10850	14000	9605	5781	10850
VOLUMEN DE TIERRA (m3)	3148	3300	5013	1774	2021
COSTO TOTAL (U\$S)	7020	9700	8730	4156	6292
% EJECUTADO DE LA OBRA	100%	100%	100%	100%	100%

A continuación se exponen, planos, fotos y diseños constructivos de los tajamares demostrativos, así como también la planilla de final de obra al cierre de cada tajamar.

**TAJAMAR DEMOSTRATIVO: ARTIGAS - TOPADOR
 PREDIO DEL SR. RODOLFO ODRIOZOLA**

Ing. Agrim. Ricardo Xavier

1. Identificación del Tajamar			
Propietario:	RODOLFO ODRIOZOLA		
Departamento:	ARTIGAS		
Hoja Topográfica:	L-4	Foto área:	
Coordenadas :	x: 406500	y:6652300	z: 130
Diseño de tajamar (nombre del técnico):	RICARDO XAVIER		
Empresa constructora:	ENFIL S.A.		
2. Características Técnicas			
Tajamar - Duración de la obra:	inicio: 25/01/2007	finalización: 13/02/2007	
Volumen de agua (m ³):	10850		
Volumen total tierra movida (m ³):	3148		
Profundidad final en el vaso (m):	3,25		
Altura de la cortina (m):	0,6		
Largo de la cortina (m):	22		
Area del espejo de agua (m ²):	10836		
Tamaño de la cuenca de aporte (Há):	87		
Alambrado (m):	590		
N° de bebederos:	1		
N° Vertederos:	2		
superficie de potreros beneficiados:	260		
cantidad de animales beneficiados:	100 UG		
Firma del técnico:			
Nombre del técnico:	Ing. Agrim. Ricardo Xavier		

PLAN DE EMERGENCIA PARA LA SEQUÍA PROYECTO DE TAJAMAR CROQUIS DEL PREDIO

PADRONES N° 2047 - 3119 - 5548 - SECCIÓN CATASTRAL 4^a
 PARAJE: TOPADOR - DEPARTAMENTO: ARTIGAS
 GESTIÓN DE: **RODOLFO ODRIOZOLA RENART**

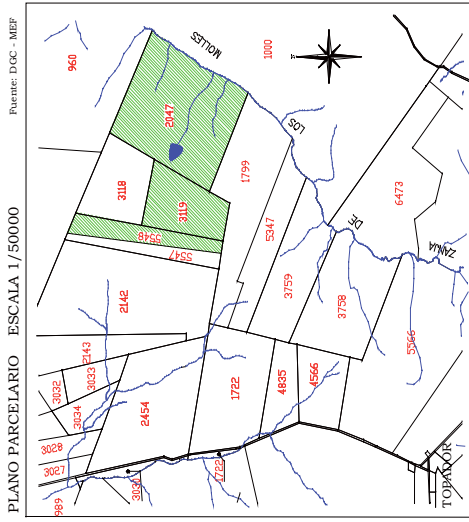
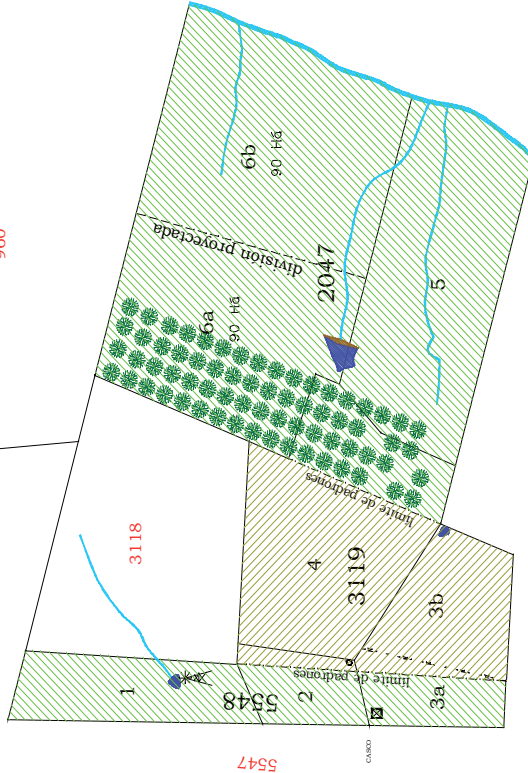
CUADRO DE AREAS

PADRON	AREA
2047	261Há 3981ca
3119	87Há 5192ca
5548	53Há 0000ca



1744

960



PLANO PARCELARIO ESCALA 1/50000 Fuente: DGC - MEF

Fecha: Enero de 2007.-

ESCALA 1/15000

Ing. Agr. Fécilo Montero

Composición Gráfica: Estudio 3 Ing. Agrimensores - Garzón 424 - Artigas

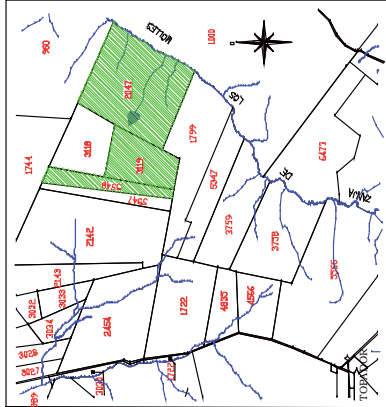
CUENCA HIDROGRÁFICA

ESCALA 1 / 20000

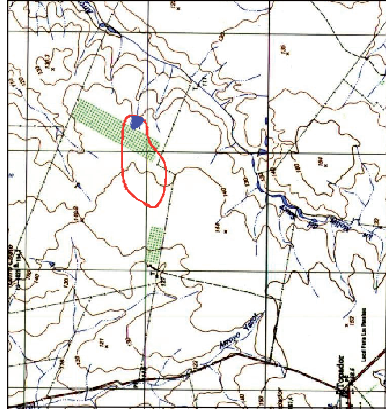


PLANO PARCELARIO ESCALA 1 / 50000

Fuente: DGC - MDP



PLAN DE EMERGENCIA PARA LA SEQUÍA
PROYECTO DE TAJAMAR
 PADRÓN N° 2047 - SECCIÓN CATASTRAL 4ª
 PARAJE: TOPADOR - DEPARTAMENTO: ARTIGAS
 GESTIÓN DE: **RODOLFO ODRICIZOLA RENART**

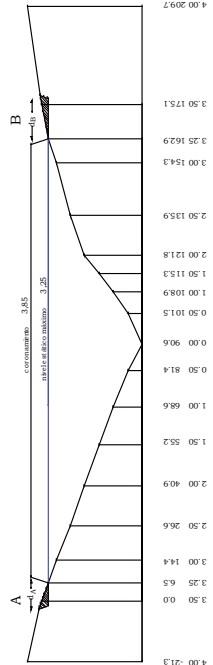


Fecha: Enero de 2007
ESTUDIO 3
REQUERIDOS ADICIONALES
 Ing. Agr. Bruno Larín
 C. 0000-9270
 Gestor: **RODOLFO ODRICIZOLA RENART**

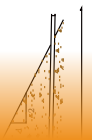
VOLUMEN TERRAZÓN: 2921 m³
ÁREA SEMENTO DEL TERRAZÓN: 1997 m²
DECAJE ESTIMADO: 200 m
DESMONTE DE VEGETACIÓN: 127 m³



PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA 1:1000 1+1/100



Condición Long. Transversal:
 $d_h = d_v = 22m$





Inauguración del tajamar demostrativo del paraje Topador, departamento de Artigas.



Vista del tajamar de Topador en su máximo remanso estático.

TAJAMAR DEMOSTRATIVO: SALTO - ANTONIO RUBIO
PREDIO DE LA SOCIEDAD DE FOMENTO RURAL DE LA COLONIA
ANTONIO RUBIO

La Sociedad de Fomento Rural de la Colonia Antonio Rubio, cuenta con 24 productores colonos asociados, el predio tiene una extensión de 1761 hectárea, con 979 cabezas de ganado bovino y 1100 cabezas de ganado ovino.

El tajamar de la Colonia Antonio Rubio fue inaugurado el 28 de enero de 2007, con la presencia del Ministro de Ganadería, Agricultura y Pesca, Sr. José Mujica y varias autoridades del momento. Visitado por consultores del Banco Mundial, técnicos regionales y de la región y productores de la zona, éste tajamar ha cumplido ampliamente con el objetivo de demostrativo.

1. Identificación del Tajamar			
Propietario:	SFR Colonia Antonio Rubio		
Departamento:	SALTO		
Hoja Topográfica:	N-9	Foto área:	119-151
Coordenadas :	x = 33°33'07''	y = 55°16'04''	z:
Diseño de tajamar (nombre del técnico):	JUAN PABLO PEREIRA		
Empresa constructora:	GRUPO PICHÓN		
2. Características Técnicas			
Tajamar - Duración de la obra:	inicio: 25/01/2007	finalización: 03/02/2007	
Volumen de agua (m ³):	14000		
Volumen total tierra movida (m ³):	3554		
Profundidad final en el vaso (m):	2,9		
Altura de la cortina (m):	4		
Largo de la cortina (m):	206		
Area del espejo de agua (m ²):	15631		
Tamaño de la cuenca de aporte (Há):	40,4		
Alambrado (m):	720		
N° de bebederos:	2		
N° Vertederos:	1		
superficie de potreros beneficiados:	900		
cantidad de animales beneficiados:	650 UG		
Firma del técnico:			
Nombre del técnico:	Ing. Agr. Juan Pablo Pereira		

ETAPAS EN LA CONSTRUCCION DEL TAJAMAR DE LA COLONIA ANTONIO RUBIO



A. Marcar la cortina en el área estudiada.



B. Proceder al decapado de la franja de la cortina.



C. El uso del Tandem de dos traillas ahorra gasoil.



D. El suelo se trabaja seco para aumentar la acción.



E. El tubo de abastecimiento de los bebederos debe estar provisto de un filtro.



F. Aprovechamiento de cárcava para la colocación de la tubería.



G. Cortina construida.

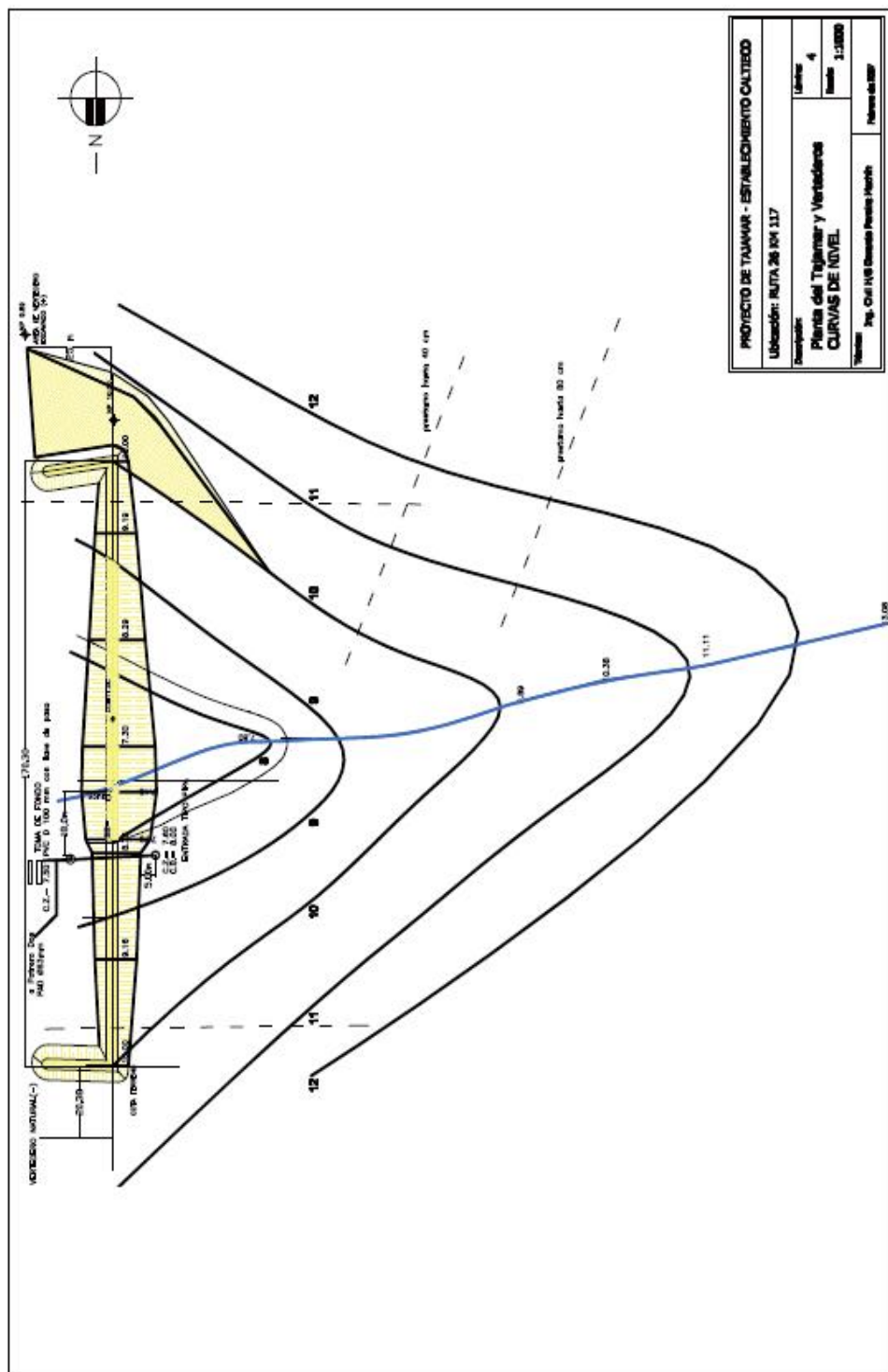


H. Tajamar terminado con su perímetro alambrado.

TAJAMAR DEMOSTRATIVO: PAYSANDÚ – MOLLES GRANDE PREDIO DE CALTIECO

CALTIECO es un campo de recría cooperativo, formado por las 3 gremiales lecheras: Asociación Productores de leche de Paysandú, Asociación de Productores de Leche de Parada Esperanza y COLEQUE. Son beneficiarios de este sistema los socios perecientes a estas asociaciones, existiendo actualmente en el campo animales pertenecientes a 40 productores, en su mayoría medianos. Se realiza la recría de vaquillonas Holando con unas 1642 cabezas y la cría de 636 cabezas de ganado ovino.

1. Identificación del Tajamar			
Propietario:	CALTIECO		
Departamento:	PAYSANDÚ		
Hoja Topográfica:	M-12	Foto área:	119-151
Coordenadas :	x: S31°52'630'	y: W057°04.949'	z:
Diseño de tajamar (nombre del técnico):	GERARDO PEREIRA MACHÍN		
Empresa constructora:	MARIA DEL ROSARIO ALCAIRE		
2. Características Técnicas			
Tajamar - Duración de la obra:	inicio: 10/06/2007	finalización: 12/11/2007	
Volumen de agua (m3):	9605		
Volumen total tierra movida (m3):	5013		
Profundidad final en el vaso (m):	2,85		
Altura de la cortina (m):	1		
Largo de la cortina (m):	170		
Area del espejo de agua (m2):	18464		
Tamaño de la cuenca de aporte (Há):	25		
Alambrado (m):	600		
N° de bebederos:	6		
N° Vertederos:	2		
superficie de potreros beneficiados:	488		
cantidad de animales beneficiados:	340 UG		
Firma del técnico:			
Nombre del técnico:	Ing. Agrim. Gerardo Pereira Machín		





Tajamar demostrativo del campo de cría de CALTIECO, departamento de Paysandú, durante su construcción.



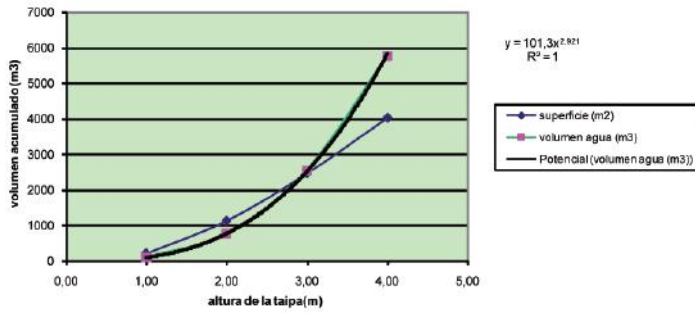
Seis meses después de su inauguración se completó su llenado.

TAJAMAR DEMOSTRATIVO: RIVERA PREDIO DE LA SRA. MAYLEN BERTIZ

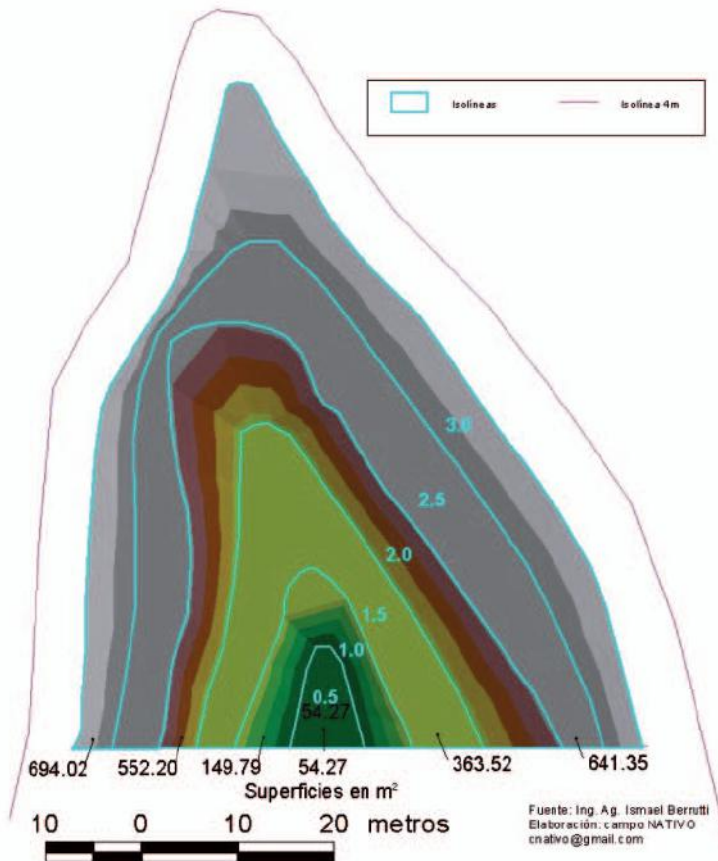
El tajamar de la Sra. Bertiz, fue inaugurado el el 14 de febrero 2007, y se contó con la presencia del Ministro de Ganadería, Agricultura y Pesca, Sr. José Mujica y varias autoridades del momento. Visitado por consultores del Banco Mundial, técnicos regionales y de la región y productores de la zona, éste tajamar ha cumplido al igual que los demás tajamares con el objetivo propuesto.

1. Identificación del Tajamar			
Propietario:	MAYLEN BERTIZ		
Departamento:	RIVERA		
Hoja Topográfica:	F11	Foto área:	
Coordenadas :	x:	y:	z:
Diseño de tajamar (nombre del técnico):	ISMAEL BERRUTTI		
Empresa constructora:	Luis María Amaral		
2. Características Técnicas			
Tajamar - Duración de la obra:	inicio: 02/02/2007	finalización: 15/02/2007	
Volumen de agua (m ³):	2994 m ³		
Volumen total tierra movida (m ³):	1775 m ³		
Profundidad final en el vaso (m):	3,15 m		
Altura de la cortina (m):	3,76 m		
Largo de la cortina (m):	76 m		
Área del espejo de agua (m ²):	2453 m ²		
Tamaño de la cuenca de aporte (Há):	8 has		
Alambrado (m):	400 m		
N° de bebederos:	2		
N° Vertederos:	1		
superficie de potreros beneficiados:	2		
cantidad de animales beneficiados:	70 UG		
Firma del técnico:			
Nombre del técnico:	Ing. Agr. Ismael Berrutti		

Altura de la taipa y volumen de agua



Curvas de Inundación y superficies





Imágenes del tajamar demostrativo del paraje Amarillo,
departamento de Rivera.



**TAJAMAR DEMOSTRATIVO: TACUAREMBÓ - SALSIPUEDES
PREDIO DEL SR. RICARDO FAVARO**

1. Identificación del Tajamar			
Propietario:	RICARDO FAVARO		
Departamento:	TACUAREMBO		
Hoja Topográfica:	K-16	Foto área:	29-207
Coordenadas :	x:	y:	z:
Diseño de tajamar (nombre del técnico):	JOSE CARLOS RODRIGUEZ		
Empresa constructora:	EDUARDO M. GAUNA		
2. Características Técnicas			
Tajamar - Duración de la obra:	inicio: 04/02/2007	finalización: 30/03/2007	
Volumen de agua (m ³):	10850		
Volumen total tierra movida (m ³):	2245		
Profundidad final en el vaso (m):	2,75		
Altura de la cortina (m):	3,4		
Largo de la cortina (m):	144		
Area del espejo de agua (m ²):	13000		
Tamaño de la cuenca de aporte (Há):	42		
Alambrado (m):	600		
N° de bebederos:	1		
N° Vertederos:	2		
superficie de potreros beneficiados:	230		
cantidad de animales beneficiados:	140 UG		
Firma del técnico:			
Nombre del técnico:	Ing. Agr. José Carlos Rodriguez		



Vistas del tajamar demostrativo del paraje Salsipuedes,
departamento de Tacuarembó.



Anexo

Instrucciones para el manejo de la planilla **BALANCE DE UN TAJAMAR-Aguada.XLS**

El archivo se puede descargar desde la página web del Proyecto Producción Responsable o ingresando al siguiente link: <http://www.cebra.com.uy/presponsable/2008/03/11/planilla-de-balance-de-un-tajamar/>

1. En la hoja **ALTURA/VOLUMEN**

- Ingresar cotas y superficies encerradas en cada una (ROJO) Las gráficas no deben incluir los valores de 0 (en las columnas de altura, superficie encerrada o volumen acumulado), por razones de ajuste de la ecuación potencial.
- Los gráficos dan las ecuaciones potenciales ($y = a * x^b$) de las curvas de altura/área del lago, volumen/altura y altura/volumen. Los coeficientes a y b de dichas ecuaciones se ingresan en las celdas I2, K2; I3, K3; I4, K4, respectivamente. (AZUL)

2. En la hoja **RESUMEN**

- Ingresar la Unidad de Suelo (carta de suelos 1:1.000.000); el agua disponible en el perfil (M.G.A.P. – D.S.A.); la Evapotranspiración media (mapa); el número de animales por categoría; la producción de leche (sólo en el caso de vacas lecheras), el área de la cuenca; la altura sobre el fondo del lago a la que está ubicada la toma de agua y un valor cualquiera inicial del volumen máximo en el tajamar. (ROJO)

3. En la hoja **DEMANDA DE AGUA**

- Ingresar la temperatura media mensual (°C) promedio para cada mes, de la zona donde va a trabajar (ROJO).
La información está en la hoja "TEMPERATURA"

4. En la hoja **ESCURRIMIENTO**

- Ingresar los valores históricos de Precipitación (PP) y Evaporación de Tanque "A" (EV"A") para cada mes y año en la zona donde va a trabajar. (ROJO).
Para obtener esta información, primero se localiza en la hoja "UBICACIÓN DE PLUVIÓMETROS", en qué zona se va a trabajar, qué pluviómetro le corresponde y en que hoja está su información. Se va a la hoja correspondiente ("LLUVIA 1961-

1990" o LLUVIA 1970-1999"). Ambas hojas tienen información de diferentes pluviómetros y en diferentes períodos. La información de evaporación se obtiene de la hoja "TANQUE A", eligiendo el más cercano a la zona de trabajo. Generalmente las series disponibles de evaporación de Tanque "A" son más cortas que las de lluvia. Dado que en evaporación la variabilidad entre años es relativamente menor, se repetirá la serie de evaporación tantas veces como sea necesario para tener el mismo número de años que en la serie de lluvias.

5. En la hoja RESUMEN

- Se comienzan a cambiar los datos en ROJO (número de animales por categoría, producción de leche, tamaño de cuenca, volumen máximo, altura de la toma de agua), y se obtienen los déficit anuales.
- Para ver en que mes se dan esos déficit, se puede ir a la hoja BALANCE TAJAMAR
- Precaución – Se puede cometer el error de iniciar el balance con un volumen máximo muy grande, de forma tal que no de déficit en toda la serie de años, pero que la cuenca no sea capaz de reponer los consumos anuales. En este caso, año a año iría disminuyendo el volumen almacenado. En una situación real, esto es imposible, pues ese volumen tan grande no se podría haber almacenado en un año. La forma más práctica de asegurarse de no cometer este error, es verificando que todos o casi todos los años de la serie, exista un cierto volumen de excedente (Columna B, Filas 30 y siguientes), lo que indica que el escurrimiento de la cuenca fue suficiente para llenar nuevamente la obra.

Nota:

- Los valores en ROJO son datos a ingresar.
- Los valores en AZUL son coeficientes a ingresar que surgen de las ecuaciones de los gráficos.
- Los valores en VERDE OSCURO son datos que la propia planilla trae de otra hoja, por lo que no se deben modificar allí.
- Los valores en NEGRO no se deben modificar.
- Los valores en FUCSIA son rótulos, son explicativos y no afectan los cálculos.
- Los valores en VERDE CLARO son parámetros calibrados que no se deben modificar.

De esta forma se puede diseñar un tajamar (altura, volumen) tal que para la cuenca y dotación animal dados garantice un suministro seguro de agua para

las condiciones climáticas de una serie histórica de 30 años. Se debe recordar que la altura debe ser ≥ 2 m.

Otras posibilidades serían, dado un tajamar ya construido, definir la máxima dotación animal que el mismo soportaría con garantía de suministro de agua.

Otra posibilidad es estudiar, dado un determinado tajamar, cuánto se debería aumentar la cuenca mediante canales robadores, para cumplir con la demanda de una determinada dotación.

BIBLIOGRAFÍA

BERETTA, V. Y BRUNI, M.A. Manejo del agua de bebida en sistemas lecheros y ganaderos. <http://www.planagro.com.uy/publicaciones/uedy/Publica/Cart12/Cart12.htm>

BIRF y FAO (1951) "Recomendaciones para el desarrollo agrícola del Uruguay", Informe de la Misión Técnica, Montevideo.

BUREAU OF RECLAMATION (1966) Diseño de presas pequeñas. Compañía Editorial Continental S.A. México

CARÁMBULA, R.M. y TERRA, J.A. (2000) Las sequías antes, durante y después. INIA. Boletín de Divulgación 74.

CHOW, V.T. (1964) Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D. y MAYS, L. (1994) Hidrología aplicada. McGraw- Hill Interamericana S.A.

GARCÍA, M. Balance de un tajamar 2. <http://www.fagro.edu.uy/dptos/suelos/hidrología>

GENTA, J. L. (Coordinador) Directivas de diseño hidrológico – hidráulico de pequeñas represas (borrador). MTOP-IMFIA.

GENTA, J.L.; CARBONNIER, F.; FAILACHE, N. y ALONSO, J. (2003). Modelo precipitación-escurrimiento de paso mensual, I.M.F.I.A., Facultad de Ingeniería.

GHIGGIA, R.A. (1976). Tajamares. Facultad de Agronomía.

KOOLHAAS, M. (2003). Embalses agrícolas. Diseño y construcción. Ed. Hemisferio Sur.

MGAP-MVOTMA (2005). Plan de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía. 151 pp.

MOLFINO, J.H. Y CALIFRA, A. (2001) Agua disponible de las tierras del Uruguay, Segunda aproximación. División Suelos y Aguas, Dirección General de Recursos

Naturales Renovables, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.

RODRIGUEZ FONTAL, A. (1984) Fórmulas lluvia-duración-retorno-riesgo en las ocho subregiones del Uruguay. (Aplicación a la agricultura). Agua en la agricultura N° 2.

SCHWAB, G.O., FREVERT, R.K., EDMINSTER, T.W. y BARNES, K.K. (1990) Ingeniería de conservación de suelos y aguas. Editorial Limusa S.A.

STUTH, J. (1993) Grazing Management: an ecological perspective. In: Grazing Management (ed. by Rodney K.Heitschmidt and Jerry W.Stuth). Chapter 3. Timber Press, Portland, Oregon.

TEIXEIRA, L. Consultoría "Evaluación del componente de desarrollo del riego de PRENADER". FAO – Facultad de Agronomía – Facultad de Ingeniería.

En el año 2007 se realizó la primera edición del “Manual para el diseño y la construcción de tajamares de aguada” que tuvo una amplia utilización por parte de los técnicos que dirigieron obras en el marco del Proyecto Producción Responsable. Dicha edición se agotó rápidamente y fue demandada esta segunda versión que agrega diseños de obras demostrativas financiadas por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca en los departamentos del norte del país.

Los autores, Ingenieros Agrónomos Pancracio Cánepa y Mario García que elaboraron la base técnica de este manual, y Carlos Ronzoni que supervisó la construcción de los tajamares demostrativos comparten desinteresadamente esta obra que se ha convertido en una herramienta básica para retener parte del agua de escurrimiento y enfrentar en mejores condiciones las consecuencias del cambio climático.