

Análisis de alternativas técnicas en la construcción del reservorio de agua para el riego por aspersión en el Centro Experimental de Cota Cota-UMSA.

Analysis of technical alternatives in the construction of the water reservoir for sprinkler irrigation at the Cota Cota Experimental Center-UMSA.

Genaro Serrano Coronel, Estanislao Poma Loza, Diego Menacho Aguilar, Rodrigo Vargas Luna y Mónica Conde Sarzuri.

RESUMEN

El análisis de alternativas técnicas para la construcción del reservorio de agua, fue planteado como parte del proyecto "Implementación de riego presurizado en el CECC". En principio comprende la ubicación del reservorio de agua en relación a la cota en que se encuentran los hidrantes de las parcelas de riego, habiéndose elegido el sitio ubicado a 3448 m.s.n.m. como el apropiado para suministrarla carga hidráulica necesaria (35 m), acorde a la presión de servicio que demandan los aspersores de mediana presión, que oscilan entre 20 a 50 m de variación de altura. Respecto a la forma fue elegido el de pirámide truncada alargada (3ra alternativa) respecto al de cono truncado (1ra alternativa) y pirámide cuadrada (2da alternativa). Luego de haber analizado las superficies de evaporación e infiltración en las tres alternativas, se elige la tercera alternativa a pesar de incrementar la superficie evaporante en 5,5 m² respecto a la 2da. alternativa. La elección de la 3ra alternativa fue principalmente por la facilidad de excavación y longitud de ancho de geomembrana (7 m), disponible en el mercado, evitándose el pegado (unido) por termo-fusión.

PALABRAS CLAVE

Riego tecnificado, Riego por aspersión, Reservorio, Pirámide truncada, Cota Cota, Microriego.

ABSTRACT

The analysis of technical alternatives for the construction of the water reservoir was raised as part of the project "Implementation of pressurized irrigation at the CotaCota Experimental Center(CECC)". In principle, it includes the location of the water reservoir in relation to the height at which the hydrants of the irrigation plots are located, having chosen the site located at 3448 m.s.n.m. As appropriate to supply the required hydraulic load (35 m), according to the service pressure required by medium pressure sprinklers, ranging from 20 to 50 m height variation. Regarding the shape was chosen the elongated truncated pyramid (3rd alternative) with respect to the truncated cone (1st alternative) and square pyramid (2nd alternative). After analyzing the surfaces of evaporation and infiltration in the three alternatives, the third alternative is chosen despite increasing the evaporating surface by 5.5 m² with respect to the 2nd alternative. The choice of the third alternative was mainly due to the ease of excavation and length of geomembrane width (7 m) available in the market, avoiding the bonding (joined) by thermofusion.

KEYWORDS:

Technological irrigation, Sprinkler irrigation, Reservoir, Truncated pyramid, CotaCota, micro irrigation

AUTORES:

Genaro Serrano Coronel. Docente investigador, Área de riegos y drenajes, Facultad de Agronomía – UMSA.

Estanislao Poma Loza. Director Centro Experimental Cota Cota, gestión 2016. Facultad de Agronomía – UMSA.

Diego Menacho Aguilar , Rodrigo Vargas Luna 4, Mónica Conde Sarzuri. Investigadores EEIR, Facultad de Agronomía. UMSA.

Recibido: 30/08/16. Aprobado: 12/12/16.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el estado boliviano asumió las demandas de sectores pobres que se encuentran afectados en la seguridad alimentaria, principalmente en regiones áridas y semiáridas. Es así que mediante el Ministerio de Medio Ambiente y Aguas (MMAyA), actualmente se financian y viabilizan aquellos proyectos de riego familiar (atajados y microriego familiares) de acuerdo con los criterios de validación de la demanda colectiva en proyectos de riego familiares (MMAyA,2016).

En los proyectos de riego o microriego, la construcción de estanques de H°C° o H°A° representan cerca del 35 % al 50 % del costo total respectivamente (Serrano, 2015), no obstante que en pequeños sistemas de microriego o en proyectos de riego familiar el componente de almacenamiento puede ser sustituido por reservorios de tierra (atajados o qotañas) revestidos con arcilla o geomembrana para no incidir en el costo final, sin embargo, en muchos de estos reservorios el agua se pierde por evaporación e infiltración.

El Centro experimental de Cota Cota (CECC)emprende la construcción de un reservorio de agua como parte del proyecto “Implementación de riego presurizado en el CECC”, para lo cual se planteó diferentes alternativas como la: ubicación, forma, capacidad y revestimiento. En este sentido, el presente trabajo plantea el análisis de alternativas técnicas para la construcción de un reservorio de agua como parte de la implementación de un sistema de riego tecnificado, cuyo fin es el de satisfacer la demanda hídrica de los cultivos en las parcelas de investigación de diseños experimentales y fruticultura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El reservorio está ubicado en el sector norte del CECC, entre las coordenadas de 68° 03' 52,77" longitud Oeste y 16° 32' 4,46" de latitud Sur, a una altitud de 3448 m.s.n.m. que nos permite brindar una adecuada carga hidráulica (30m de columna de agua) para implementar el riego presurizado (método por

aspersión y goteo). El cárcamo de bombeo junto al lecho de aguas filtradas está a una elevación de 3410 m.s.n.m. tal como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Ubicación del reservorio de almacenamiento en el CECC.

Las curvas de nivel de la figura 1, nos muestran que en la cabecera de las parcelas se generan entre 19 a 25 m de diferencia de altura, en tanto que la parte baja está a una elevación de 3.413 m.s.n.m., lo que representa una diferencia de altura de 35 m. La ubicación elegida para la construcción del reservorio, proporciona una adecuada elevación que permitirá atender con la apropiada presión a los hidrantes que se encuentran distribuidos en las parcelas de fruticultura como en las parcelas de diseños experimentales.

Para la forma y capacidad del reservorio, se ha optado por la forma de pirámide truncada alargada e invertida, estableciendo la capacidad del reservorio mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{h}{3} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}) \quad [1]$$

Donde:

h = Altura o tirante de agua (m)

A_1 = Área de la base del reservorio (m^2)

A_2 = Área del espejo de agua (m^2)

V = Capacidad del reservorio (m^3)

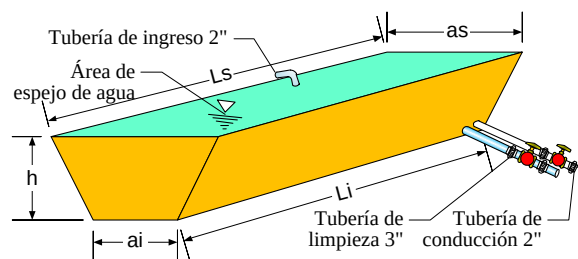


Figura 2. Detalle isométrico del reservorio de agua.

Para analizar la pérdida por evaporación en el espejo de agua, se ha considerado el método de balance de energía desarrollado por Penman (1948), (citado por Chereque, 1989) que plantea la ocurrencia de la evaporación debido al aumento de la energía cinética de las moléculas de agua en la inter-cara agua atmosfera, producido por la radiación solar, el viento y diferencia en la presión de vapor.

$$E = \frac{\Delta \cdot R_n + \gamma \cdot E_a}{\Delta + \gamma} \quad [2]$$

Donde:

Δ = Pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire ($kPa/^\circ C$)

R_n = La radiación neta ($MJ/m^2 d$)

γ = Constante psicrométrica ($kPa/^\circ C$)

E_a = Evaporación desde la superficie del agua considerando que temperatura del aire es igual a la temperatura de la superficie del agua ($MJ/m^2 d$)

E = evaporación de agua ($MJ/m^2 d$)

El resultado de evaporación de agua anterior, dividido entre 2.45 se convierte en mm/d . Para pequeños almacenamientos se determinará una evaporación neta (E_n), tomando en cuenta el factor de reducción y los valores de precipitación efectiva, llevando el

mínimo valor positivo (>0), recomendado por la jefatura de irrigación y control de ríos (México 1972).

$$E_n = E_m \times 0.77 - P_{em} \quad [3]$$

Dónde:

E_m = Evaporación media (mm/mes)

P_{em} = Precipitación efectiva del mes con mínimo valor (mm/mes)

E_n = Evaporación neta (mm/mes)

La pérdida por infiltración fue analizado mediante la ecuación (4) de Kostikov (1924) (citado por Villón, 2000), apoyado por el programa H-CANALES.

$$P = 1000 \cdot K \cdot (b + 2.4 \cdot Y \cdot \sqrt{1 + Z})$$

Dónde:

P = Pérdida de agua ($m^3/s \cdot km$)

K = Coeficiente de permeabilidad (m/s).

b = Ancho de plantilla (m)

Y = Tirante de agua (m); Z = Talud.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ubicación y forma del reservorio

Para la ubicación principalmente se considera la elevación con respecto al área de riego, relacionado con el método de riego, es decir la carga hidráulica que requiere determinado método de riego. En el método de riego por aspersión, los aspersores precisan una presión de servicio entre 20 a 50 m de carga hidráulica, mientras que para el riego por goteo la carga hidráulica necesaria oscila entre 5 a 15 m para el funcionamiento adecuado de los emisores, sin embargo, es común seleccionar el tipo, modelo de aspersor o emisor, en base a una ubicación preliminar y cálculos hidráulicos realizados (línea piezométrica), cuyos resultados pueden demandar 2 o más tipos y/o modelos de aspersores, así como tipos o modelos de emisores para el riego por goteo. (Serrano 2014). En nuestro caso particular, la primera opción se encontraba a 3433 m.s.n.m. ubicado entre 8171700 N y 599700 E de coordenadas

en UTM (costado superior izquierdo de la figura 1). Esta primera alternativa de ubicación, demandó plantear el método de riego por goteo en más de 50% de la superficie total de riego, además del riego por aspersión con aspersores de baja presión situados en los sectores bajos de la parcela de diseños experimentales. El sitio con mayor elevación y que no representó mayor longitud de tubería respecto a la primera opción, está a 3448 m.s.n.m. (actual ubicación, ver Figura 1) que al mismo tiempo posibilita habilitar nuevas áreas de riego, proporcionando a estas nuevas áreas diferencias de elevación entre 13 a 15 m, suficientes para las presiones de servicio que demandan los emisores en el método de riego por goteo.

En cuanto a la forma del reservorio, se han planteado tres alternativas: cono truncado, pirámide truncada cuadrada y pirámide truncada alargada. El análisis se centra entre las variables de superficie evaporante e infiltración, para volumen ($50,4 \text{ m}^3$) y tirante de agua (1,4 m) constantes.

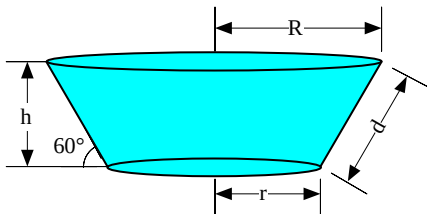


Figura 3. Reservorio en forma de cono truncado invertido

La forma geométrica de la Figura 3, produce una superficie evaporante de $57,0 \text{ m}^2$ ($R = 4,26 \text{ m}$) y una superficie de infiltración de $37,6 \text{ m}^2$ ($r = 3,46 \text{ m}$).

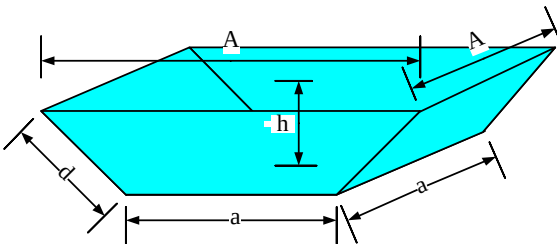


Figura 4. Reservorio en forma de pirámide truncada invertido

La forma geométrica de la Figura 4, origina una superficie evaporante de $46,0 \text{ m}^2$ ($A = 6,78 \text{ m}$) y una superficie de infiltración de $26,8 \text{ m}^2$ ($a = 5,18 \text{ m}$).

La tercera alternativa tiene la forma de pirámide truncada alargada (Figura 2), que produce una superficie evaporante de $51,5 \text{ m}^2$ ($L_s = 16,6$ y $a_s = 3,1 \text{ m}$) y una superficie de infiltración de $22,5 \text{ m}^2$ ($L_i = 15$ y $a_i = 1,5 \text{ m}$). El Cuadro 1 muestra los resultados para las tres alternativas.

Cuadro 1. Superficie de evaporación e infiltración (m^2) en 3 alternativas.

Variable	Cono	Pirámide cuadrado	Pirámide alargado
Superficie Evaporante	57,0	46,0	51,5
Superficie de Infiltr.	37,6	26,8	22,5

Como se verifica en los datos del Cuadro 1, la primera alternativa (cono truncado) resulta con la mayor superficie evaporante e infiltración en relación a las otras alternativas, por tanto se descarta esta primera alternativa sin otra consideración adicional. La segunda alternativa reduce en $5,5 \text{ m}^2$ la superficie evaporante con respecto a la tercera, pero incrementa la superficie de infiltración en $4,3 \text{ m}^2$, por tanto amerita realizar un balance de pérdidas por efecto de estas dos variables, que para el caso de infiltración estará sujeto al tipo de revestimiento, en caso de utilizar geomembrana como revestimiento impermeable, el análisis de pérdida por infiltración ya no es necesario.

Al análisis de pérdida por evaporación se agrega el costo, facilidad de trabajo, mantenimiento y operación que puede representar la adopción de una de las alternativas preseleccionadas. En nuestro caso debido a la topografía del lugar (terreno en pendiente) la excavación (manual) para la forma de pirámide cuadrada representa realizar un mayor corte en la parte alta y doble trabajo en el paleo de tierra al costado de abajo (relleno en parte baja). El factor que

más predominó para elegir la tercera alternativa de pirámide trucada alargada, con respecto al cuadrado, fue la disponibilidad de ancho comercial de geomembrana (7 m), habiéndose trabajado el diseño geométrico de la Figura 2, con los siguientes valores:

Largo inferior	Li = 15 m
Largo superior	Ls = 16.6 m
Ancho inferior	ai = 1,5 m
Ancho superior	as = 3,1 m
Tirante de agua	h = 1,4 m

Perdidas por evaporación en el espejo de agua del reservorio elegido

Los resultados obtenidos mediante las ecuaciones [2] y [3], fueron procesados con las variables climáticas que corresponden a la estación de Achumani (serie 2004-2012), cuyos valores se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Valores promedio mensual de evaporación, obtenidos con la serie 2004-2012

Evaporación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
E (mm/d)	4,28	4,20	3,85	3,22	2,60	2,09	2,15	2,93	3,69	4,31	4,65	4,63
En (mm/mes)	10,8	29,9	56,4	67,9	62,1	48,3	51,3	69,9	81,6	81,8	88,7	56,8
En (mm/d)	0,348	1,068	1,818	2,263	2,004	1,610	1,654	2,256	2,719	2,638	2,957	1,832

Fuente: SENAMHI (2016).

En los meses de abril a mayo y de agosto a noviembre, es donde, se registran los mayores valores de evaporación, por tanto ocurrirán las mayores pérdidas de agua, principalmente por el mayor tiempo de exposición a la radiación solar (n, horas sol reales), así como por las temperaturas máximas medias producidas en esos periodos, en tanto que en los meses de diciembre, enero y febrero, los valores de evaporación se encuentran reducidos, debido a que en estos periodos se presentan precipitaciones con días nublados.

El valor promedio de evaporación mensual resulta en 58,79 mm/mes (587,9 m³/ha), cuyo

valor multiplicado por la superficie evaporante (51,5 m²) aproximadamente representa una pérdida de agua en 3 m³/mes, el mismo que debemos reponer al volumen determinado para cada turno o frecuencia de riego establecido en un mes.

Pérdida por infiltración

Este análisis se realiza de manera adicional en caso de revestir con arcilla (Figura 5).

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Longitud canal (L): Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): m

Area hidráulica (A): m²

Perímetro (p): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Etcheverry | Punjab | Moritz |
Pavlovski - Kostikov | Davis - Wilson |

Material del lecho del canal:

Coefficiente permeabilidad m/s:

Pérdidas m³/s-km: Pavlovski Kostikov

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.007019
Etcheverry	0.021156
Punjab	0.01
Moritz	0.005359
Pavlovski	0.000003
Kostikov	0.000003
Davis-Wilson	0.013903

Descartar:

☐ Ingham
☐ Etcheverry
☐ Punjab
☐ Moritz
☐ Pavlovski
☐ Kostikov
☐ Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P): m³/s-km

Canales revestidos



Caudales resultantes:

Q perdido: m³/s

Q final: m³/s

% pérdidas: %

Figura 5. Cálculo de pérdidas por infiltración en canal (H-CANALES)

Se ingresa los datos en el programa H-Canales, con: pendiente de la solera 10 cm/15 m, se adopta rugosidad de arcilla en 0.025, ancho de solera 1.5 m, talud de 0.57, en una longitud de 15 m. Durante el cálculo se varia el caudal hasta que el tirante normal adopte el valor de altura de agua que alcanza el reservorio (1.4 m). El programa comprende varios autores que utilizan diferentes coeficiente de acuerdo al tipo de material, en el presente trabajo se utiliza la ecuación (4) de Kostikov, para el caso de arcilla sin compactar y arcilla compactado, cuyos resultados para ambos casos son los siguientes:

a) Arcilla sin compactar $K = 0.00000051$

$$P = 0.00274 \text{ m}^3/\text{s-km} = 4.1 \times 10^{-5} \text{ m/s} = 3.54 \text{ m}^3/\text{d} = 106.4 \text{ m}^3/\text{mes.}$$

b) Arcilla compactado $K = 0.000000051$

$$P = 0.000274 \text{ m}^3/\text{s-km} = 4.1 \times 10^{-6} \text{ m/s} = 0.354 \text{ m}^3/\text{d} = 10.64 \text{ m}^3/\text{mes.}$$

Los datos teóricos obtenidos, nos dan a entender que el revestimiento con arcilla necesariamente

tiene que ser compactado si deseamos evitar abundantes pérdidas por infiltración. Sin embargo, a pesar de revestir con arcilla compactado se tiene una perdida razonable de aproximadamente 10.64 m³/mes.

Para reducir la pérdida por infiltración podríamos plantear disminuir el tirante aumentando la plantilla (alcanzando el mismo volumen) mediante la relación de mínima infiltración, que en este caso particular resulta $b \approx Y$. En caso de ampliarse la plantilla implica también una ampliación del ancho de espejo de agua, consecuentemente aumentaría la superficie evaporante, en este caso se debe buscar un punto de equilibrio entre ambas pérdidas.

Aspectos constructivos

La topografía accidentada del lugar no permitió el acceso de maquinaria, por lo tanto la excavación fue manual con picos y palas, donde la participación estudiantil fue decisivo (estudiantes pre-univ. gestión 2015, primeros semestres, estudiantes de las materias de riegos

así como egresados, tesistas y otros voluntarios). Todo este trabajo demandó aproximadamente 120 jornadas de trabajo, para extraer un volumen de tierra de 60m^3 de suelo duro.

En el revocado de los taludes se ha utilizado el mismo material del lugar (tierra arcillo limosa), además, las distancias de ancho de solera, talud y pendiente fueron trazados y marcados sobre reglas metálicas situados en los extremos del reservorio, mediante los cuales fueron alineados las reglas de madera distanciados a 3 m e inclinados de acuerdo a la línea de los hilos tesados en las reglas metálicas, tal como se observa en la Figura 6. Las reglas de madera fueron utilizadas como guía para el relleno y revoque. Asimismo, en el extremo superior de los taludes (coronamiento) se han colocado piedras para proporcionar mejor estabilidad en estos sectores.



Figura 6. Revocado de los taludes del reservorio con barro.

El extendido y acomodado de la geomembrana fue realizado luego de exponer este material en el sol por aproximadamente 4 horas, luego de los cuales fue extendido sobre el reservorio y acomodado en el interior formando pliegues en los extremos y, cuidando que la superficie rugosa se encuentre encima, o sea esté en contacto con el agua para facilitar la adherencia en el ingreso y salida mediante esta superficie, tal como se observa en la Figura 7. Encima de la geomembrana fueron colocados losas de H°A° de 1,5 m de largo, 0,50 m de ancho y 0,08

m de espesor, con los cuales se impide que el viento levante la geomembrana.



Figura 7. Extendido y acomodado de la geomembrana.

4. CONCLUSIONES

La ubicación del reservorio de agua debe situarse a una elevación tal que permita una diferencia de altura que proporcione la adecuada presión de servicio requerido por los aspersores. El contorno o perímetro de mojado, sumado a un bordo libre (20 cm) y ancho de coronamiento (60 cm) a ambos extremos, deben ajustarse al ancho comercial de geomembrana que se encuentran disponibles en el mercado (7 m).

En cuanto a la forma geométrica de los reservorios, se ajusta mejor la forma de pirámide truncada alargada para los sectores que se encuentran en lugares con pendiente, facilitándose de esta manera la excavación y colocado de la geomembrana de acuerdo al ancho disponible en el mercado.

La pérdida de agua estimada en $3\text{ m}^3/\text{mes}$, producto de superficie evaporante ($51,5\text{ m}^2$), debe ser adicionado al volumen determinado para cada turno o frecuencia de riego establecido.

Las pérdidas de agua por evaporación e infiltración, deben estudiarse en campo para diferentes alturas de tirante de agua y distintos materiales de revestimiento, a objeto de ajustar las ecuaciones que estiman estas pérdidas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chereque, M. W. (1989). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Lima-Perú.

FAO, Et. al. (2006). Evapotranspiración del Cultivo. FAO Riego y Drenaje N° 56. Roma Italia

HDPE-LLDPE AMANCO.(2015). Manual de metodologías para adquirir los conocimientos técnicos necesarios en el correcto uso de los Geosintéticos página web:
www.geosoftpavco.com

MMayA. (2016). Riego familiar en regiones secas de Bolivia: guía para su implementación. La Paz-Bolivia

Serrano, C. G. (2015). Perfil de proyecto: Implementación de riego presurizado en Cota Cota. La Paz-Bolivia.

Serrano C. G. (2014). Ingeniería del riego tecnificado. Universidad Pública de El Alto. Primera edición, La Paz-Bolivia.

Santos L. Et. al. (2010). El riego y sus tecnologías. Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla-La Mancha. Albacete-España.

Villon B. M. (2000). Diseño de estructuras hidráulicas. Editado por D' Luis Editorial. Lima-Perú.

ANEXO



Explanado y trazado en el sitio elegido



Excavación manual para el reservorio



Medidas registradas durante la excavación



Conclusión del excavado para el reservorio



Preparado e inicio de revoque (emparejado)



Materiales y herramientas utilizados



Conclusión de revoque en los taludes



Vista reservorio revestido c/geomembrana