

ALCORQUES INUNDABLES COMO SOLUCIÓN DE DRENAJE SOSTENIBLE EN ZONAS URBANAS: CASO DE ESTUDIO EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO U.S.F.X.

Vargas, W.^a

^a Profesional independiente Ingeniero Civil Mención Hidráulica Sanitaria U.S.F.X. R.N.I. 55870-Estudiente de Maestría, Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Universidad de Valparaíso Chile, Centro de Estudios de Posgrado e Investigación, Sucre, Bolivia. E-mail: wilsonvargaslargo200293@gmail.com

Recibido: Aceptado: Publicado:

RESUMEN

Este estudio presenta el diseño de alcorques inundables como alternativa de drenaje urbano sostenible en la ciudad de Sucre, Bolivia, con aplicación en el Campus Universitario de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. El objetivo fue proponer una solución que gestione de manera eficiente las aguas pluviales, favoreciendo la infiltración, reduciendo la escorrentía superficial y contribuyendo al riego de áreas verdes. Para el dimensionamiento se calcularon volúmenes de calidad de agua a partir de variables hidrológicas clave (área tributaria, coeficiente de escorrentía y profundidad de lluvia), apoyados en curvas de intensidad-duración-frecuencia con un periodo de retorno de 2 años. El diseño consideró criterios técnicos sobre sustrato, drenaje y cobertura vegetal, además de aspectos constructivos relacionados con mantenimiento y adaptabilidad frente a diferentes pendientes. Los resultados indican que los alcorques inundables constituyen una solución funcional, sostenible y replicable, capaz de mejorar la gestión pluvial, mitigar riesgos de inundación y aportar beneficios ambientales adicionales, como la reducción de sedimentos y la mejora del microclima urbano. Este trabajo aporta evidencia técnica para impulsar la incorporación de alcorques inundables en la planificación de infraestructura verde y azul en ciudades bolivianas.

Palabras clave: drenaje urbano sostenible, alcorques inundables, infraestructura verde, gestión pluvial.

Palabras clave:

ABSTRACT

This study presents the design of bioretention tree pits (alcorques inundables) as a sustainable urban drainage alternative in Sucre, Bolivia, applied to the Campus of Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. The objective was to propose a solution to efficiently manage stormwater by enhancing infiltration, reducing surface runoff, and contributing to irrigation of green areas. The design was based on stormwater quality volume calculations using key hydrological variables (tributary area, runoff coefficient, and rainfall depth), supported by intensity-duration-frequency curves with a 2-year return period. Technical criteria related to substrate, drainage system, and selected vegetation cover were considered, as well as constructive aspects concerning maintenance and adaptability to different slopes. Results indicate that bioretention tree pits are a functional, sustainable, and replicable solution capable of improving stormwater management, mitigating local flood risks, and providing additional environmental benefits such as sediment reduction and urban microclimate improvement. This work provides technical evidence to promote the integration of bioretention tree pits into green and blue infrastructure planning in Bolivian cities.

Key words: sustainable urban drainage, bioretention tree pits, green infrastructure, stormwater management.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano acelerado en ciudades latinoamericanas ha generado un incremento de superficies impermeables que intensifica la escorrentía superficial, sobrecarga los sistemas de drenaje pluvial y favorece la ocurrencia de inundaciones locales. En la ciudad de Sucre, Bolivia, estas problemáticas son evidentes en sectores de alta concentración de edificaciones y pavimentos, como el Campus Universitario de la (U.S.F.X.), donde los sistemas convencionales muestran limitaciones frente a eventos de precipitación intensa.

Ante esta situación, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) constituyen una alternativa técnica y ambiental que busca reproducir los procesos naturales de infiltración y retención. Entre las distintas soluciones propuestas, los alcorques inundables destacan por combinar eficiencia hidráulica con beneficios ecológicos y paisajísticos, favoreciendo la infiltración, y el riego de áreas verdes.

A nivel internacional, su implementación ha demostrado eficacia en la reducción de caudales de escorrentía y en la mitigación de impactos derivados del cambio climático. No obstante, en el contexto local de Sucre, estas prácticas aún no han sido estudiadas ni aplicadas de manera sistemática.

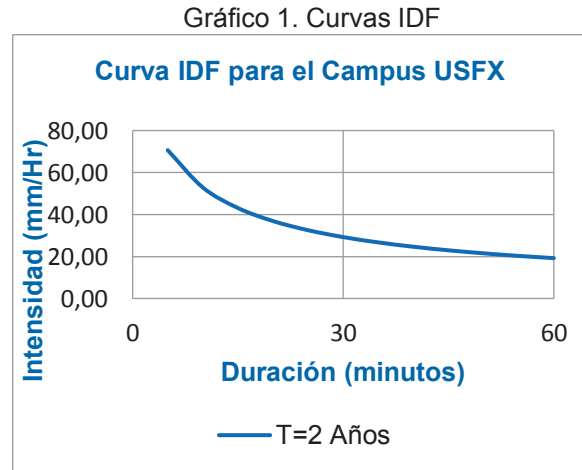
En este marco, el objetivo del presente estudio es diseñar y evaluar alcorques inundables en el Campus Universitario U.S.F.X. como estrategia de drenaje urbano sostenible, aportando evidencia técnica para su incorporación en la planificación de infraestructura verde y azul en la ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Campus Universitario U.S.F.X. se encuentra en el distrito 2 de la ciudad de Sucre tiene una superficie de 79.764,24 m².

MATERIALES

a) Datos hidrológicos: Curvas IDF locales con periodo de retorno de 2 años, coeficientes de escorrentía según tipo de superficie y área tributaria efectiva.



b) Sustrato: Capas de gravas, arenas y suelo filtrante, complementadas con geotextil para evitar colmatación.
 c) Vegetación: Especies nativas y de bajo mantenimiento con capacidad de absorción y tolerancia a humedad.
 d) Infraestructura de soporte: Bordes de confinamiento, rejillas superficiales y tuberías perforadas de drenaje.

PROCESO DE DISEÑO HIDROLÓGICO

El dimensionamiento de los alcorques se realizó mediante el cálculo del Volumen de Calidad de Agua (VCA), empleando la siguiente fórmula:

$$V_c = h_p * A_d * C \quad (1)$$

Donde:

P = Profundidad de lluvia de diseño (mm)

C = Coeficiente de escorrentía

A = Área tributaria efectiva (m²)

Transformar la lluvia esperada para un periodo de retorno y una duración a la profundidad de la lluvia (h_p).

$$h_p = 10.19 * (P_t^T) - 16.785 \quad (2)$$

Donde:

h_p =Profundidad de lluvia (mm).

P_t^T =Precipitación con un periodo de retorno y una duración (mm).

Tabla 1. Parámetros de forma y relieve

PARÁMETROS DE FORMA		
CARACTERÍSTIC A		RESULTAD O
Área	m ²	79.764,24
Perímetro	m	1.325,34
Longitud de la Cuenca (L)	m	518,75
Factor de forma	-	0,30
Índice de compacidad	-	1,31
PARÁMETROS DE RELIEVE		
Pendiente media de la cuenca	m/m	0,10
Altura máxima	ms m	2.872,72
Altura mínima	ms m	2.844,62

Ecuación de Bell:

$$P_t^T = (0.21 \ln T + 0.52) (0.54 t^{0.25} - 0.50) P_1^T \quad (3)$$

Precipitación máxima para una hora y un periodo de retorno de diez años:

$$P_1^{10} = \frac{P_{10}^{24}}{2.15} \quad (4)$$

Donde:

P_t^T = Precipitación para diferente duración y periodo de retorno (mm).

t =Duración (minutos).

T =Periodo de retorno (años).

P_1^{10} =Precipitación máxima para una hora y un periodo de retorno de diez años

P_{10}^{24} =Precipitación máxima probabilística en 24 horas para un periodo de retorno de diez años (mm).

La estimación de la profundidad de lluvia se la realizo a partir de lluvias máximas en 24 horas.

Con los datos del portal web del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), identificando tres estaciones cercanas al área de estudio mencionadas a continuación, Estación Sucre SENAMHI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 2. Precipitación para duración de una hora y periodo de retorno de 2 años.

T (años)	P (mm)
2	19,20

a partir de una precipitación 19.20 mm para un periodo de retorno de 2 años y una duración de 1 hora se procedió a calcular la profundidad de lluvia que se usara en el diseño de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

Profundidad de lluvia: 13,32mm.

Tabla 4. Áreas de aporte facultad de Arquitectura

Área perm eable	Área imper meable	Área total
m ² 275,0	m ² 269,0	m ² 544,0

Tabla 5. Áreas de aporte facultad Técnica

Área perm eable	Área imper meable	Área total
m ² 147,0	m ² 760,3	m ² 907,3

Volumen de calidad.

Tabla 6. Alcorques inundables Facultad de Arquitectura 1

Tabla 6. Alcorques inundables Facultad de Arquitectura 1

Área perm.	Área imp.	Área total	C Perm.	C Imp.	hp	Vc
m ²	m ²	m ²	-	-	mm	m ³
275,0	269,0	544,0	0,25	0,85	13,32	4,0

Tabla 7. Alcorques inundables Facultad de Arquitectura 2

Área Perm	Área Imp	Área Perm.	C Perm	C Imp	C Perm	hp	Vc
m ²	m ²	m ²	-	-	-	m	m ³
137,0	165,0	302,0	0,65,0	0,85	0,35	1,3	4,4

Tabla 8. Alcorques inundables Facultad Técnica

Área perm.	Área imp.	Área total	C Perm.	C Imp.	hp	Vc
m ²	m ²	m ²	-	-	mm	m ³
147,0	760,3	907,3	0,35	0,85	13,32	9,29

Dimensionamiento del alcorque

con un ancho de 1,40m y un largo de 1,40m, con una profundidad de sustrato de tratamiento (dm) 0,80m y una profundidad final total de 1,5m, con la cual tiene la capacidad de tratar cada estructura un volumen de 1,67m³, que serán tratados "sin infiltración" y conducidos mediante el tren a un tanque de almacenamiento prefabricado en un máximo de 12 horas para su aprovechamiento en riego.

Tabla 9. Dimensionamiento del alcorque

Parámetro	Valor	Recomendación	
B del alcorque	1,40	m	-
L del alcorque	1,40	m	-
Área superficial (Asm)	1,96	m ²	-
Profundidad (dm)	0,80	m	0,60<dm<Z1,00
Tiempo de vaciado del filtro (Td)	12	h	Máximo de 12 horas
Permeabilidad del sustrato (k)	70	m / h	Asumido como 70 mm/h
Porosidad efectiva del sustrato (mm)	50	%	Típicamente asumida como 40%
Parámetro	Valor	Recomendación	
Asm=As=Af	1,96	m ²	
Máx. profundidad de encharcamiento (d)	0,25	m	0,15<d<0,30
Capa filtrante (dt)	0,05	m	Mín. 0,05 m
Capa de drenaje			
Diámetro de tubería perforada (Ds)	0,10	m	0.10<Ds<0,15m
Profundidad de la capa de drenaje sobre la tubería (dcg)	0,15	m	Mín. 0,15m
Porosidad efectiva de la capa de grava (ng)	50	%	Mín. 40%
Profundidad de la capa de drenaje bajo la tubería	0,15	m	Mín. 0,08m
Profundidad de la capa de drenaje (dc)	0,40	m	

Profundidad total hasta el fondo de la estructura	1,50	m	
Capa de drenaje			
Tasa de infiltración del suelo (f)	-	m/h	sin infiltración
Volumen infiltrado (Vinf)	-	m ³	
Volumen filtrado (Vf)	1,67	m ³	
Volumen de encharcamiento (Ven)	0,49	m ³	
Volumen total a tratar (V)	1,67	m ³	
Comprobación de diseño			
Área superficial mínima (As min)	1,72	m ²	As min < Asm

Tabla 10. Sustrato

Componente	Contenido (%)
Arena	60-70
Compost	15-25
Tierra vegetal	10 --20
Contenido orgánico	0-20
pH	5.5 a 7.5
Porosidad	>40

Sustrato

La capa filtrante que separa el sustrato y la capa de drenaje (dt), debe ser de un espesor mínimo de 0,05m conformada por partículas de tamaño menor a 12,5 mm. La capa de drenaje debe tener una profundidad total entre 0,33 y 0,38 m, distribuidas con mínimo 0,15m sobre la tubería de drenaje y mínimo 0,08m en la parte inferior más la tubería perforada de diámetro de 0,10 m a 0,15m, en polietileno o PVC perforada.

Los alcorques estarán conectados para conformar el tren de SUDS con tuberías de pvc de 0,10m o 4 pulgadas, dirigidos hacia un tanque de almacenamiento superficial.

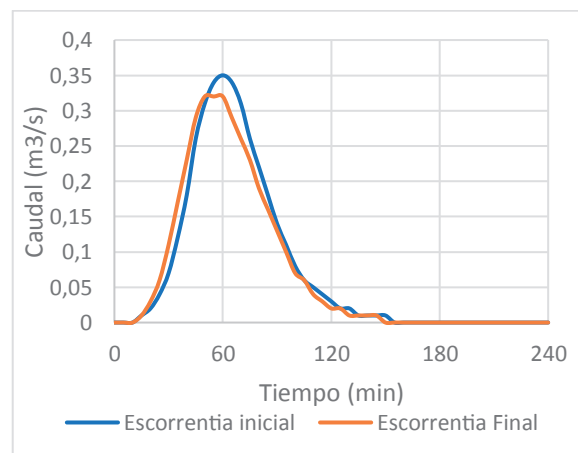
Tabla 11. Cobertura vegetal asociada

Porte del árbol	Espacio vital
Bajo	1,0 m
Medio	2,0 m
Alto	3,0 m

Figura 1. Esquema Alcorque inundable



Figura 2. Hidrograma para el campus universitario USFX.



CONCLUSIONES

-El diseño de alcorques inundables en el Campus Universitario U.S.F.X. demostró ser una solución funcional y sostenible para la gestión de aguas pluviales, reduciendo significativamente la escorrentía superficial y favoreciendo la infiltración.

-Los cálculos hidrológicos mostraron que la capacidad de captación varía según el área tributaria y el coeficiente de escorrentía, lo que resalta la importancia de una adecuada caracterización de superficies impermeables en el proceso de diseño.

-Además de su función hidráulica, los alcorques aportan beneficios ambientales adicionales como el aporte al riego de áreas verdes y la mejora del microclima urbano.

-La implementación de esta técnica resulta replicable en otras áreas urbanas de Sucre y de ciudades bolivianas, contribuyendo a fortalecer estrategias de infraestructura verde y azul orientadas a la resiliencia hídrica urbana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIIA. (2018). Manual de diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Centro de Investigaciones de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia.

Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, 51, 261–279.

<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001>

NB 688. (2015). *Norma boliviana de drenaje urbano*. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).