



PROYECTO
**ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN COMUNIDADES ANDINAS
BOLIVIANAS QUE DEPENDEN DE GLACIARES TROPICALES**

ANEXO AL INFORME DE PROGRESO SEMESTRAL
NORDIC CLIMATE FACILITY

DOCUMENTO:	Anexo 3.22. Informe Diseño y Construcción de Atajados
FECHA:	Julio 2011
LUGAR:	La Paz, Bolivia

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ATAJADOS REVESTIDOS CON GEOMEMBRANA COMUNIDADES KHAPI Y LA GRANJA



AGUA SUSTENTABLE

LA PAZ – BOLIVIA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ATAJADOS REVESTIDOS CON GEOMEMBRANA, COMUNIDADES DE KHAPI Y LA GRANJA

PROVINCIA MURILLO

MUNICIPIO DE PALCA

LA PAZ - BOLIVIA

Redacción: Edwin Torrez
Danitza Salazar
Alan Telleria

Apoyo: Victor Mamani

Revisión: Paula Pacheco

Agua Sustentable
Calle Nataniel Aguirre Nº 82
Entre 11 y 12 de Irpavi
Tel/Fax: +591 (2) 2151744
www.aguasustentable.org

Marzo, 2011
La Paz, Bolivia

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	i
Índice de figuras	ii
Índice de tablas	iii
1 INTRODUCCION	1
2 UBICACIÓN	2
3 METODOLOGÍA DEL DISEÑO	4
3.1 Capacidad del atajado	4
3.2 Diseño geométrico	5
3.3 Estabilidad de los terraplenes	6
3.4 Obras complementarias	6
4 DISEÑO FINAL DE LOS ATAJADOS	7
4.1 Excavación	7
4.2 Obras complementarias	9
5 IMPLEMENTACION	11
5.1 La fuente de agua	11
5.2 Topografía del terreno	11
5.3 Características del suelo	12
5.4 Replanteo y marcado del sitio de la Obra.....	13
5.5 Excavación del Atajado	14
5.6 Nivelación de los atajados	15
5.7 Revestimiento del Atajado	15
5.8 Implementación de atajado, Comunidad de Khapi	17
5.9 Implementación de atajado, Comunidad de La Granja	18
5.10 Obras complementarias	20
6 COSTOS DE IMPLEMENTACION	21
7 CONCLUSIONES	21
8 RECOMENDACIONES	23
9 REVISION BIBLIOGRAFICA.....	24

Índice de figuras

Figura 1. Área de Estudio – Implementación de Atajados Comunidades de Khapi y La Granja.....	2
Figura 2. Sitio para construcción de Atajado, comunidad Khapi (E. Torrez)	3
Figura 3. Sitio para construcción de Atajado, comunidad La Granja (E. Torrez)	4
Figura 4. Geometría del atajado (pirámide tronco invertido) (Tammes, Villegas, & Guaman, Atajados, Diseño y su Construcción, 2000)	5
Figura 5. Diseño de geometrico de los atajados (D. Salazar)	8
Figura 6. Corte Transversal (D. Salazar)	8
Figura 7. Corte Longitudinal (D. Salazar)	8
Figura 8. Vista Tridimensional del Diseño de Atajado (D. Salazar)	9
Figura 9. Vista de corte transversal del vertedero y sedimentador (D. Salazar)	10
Figura 10. Vista de planta del vertedor y sedimentador (D. Salazar)	10
Figura 11. Vista Tridimensional del vertedor y sedimentador (D. Salazar)	10
Figura 12. Canal de riego en Khapi (D. Salazar)	11
Figura 13. Terreno en Khapi (pendientes < a 15%) (D. Salazar)	12
Figura 14. Terreno en La Granja (pendientes < a 4 %) (D. Salazar)	12
Figura 15. Tipo de suelo, arcilloso húmedo, comunidad Khapi (E. Torrez)	13
Figura 16. Tipo de suelo, arcilloso, comunidad La Granja (E. Torrez)	13
Figura 17. Replanteo y marcado del atajado de la comunidad Khapi (D. Salazar)	14
Figura 18. Replanteo y marcado del atajado de la comunidad La Granja (E. Torrez)	14
Figura 19. Proceso de excavación en la comunidad de Khapi (E. Torrez)	15
Figura 20. Proceso de excavación en la comunidad de La Granja. (E. Torrez)	15
Figura 21. Nivelación de los taludes en Khapi (E. Torrez)	15
Figura 22. Nivelación de los taludes en La Granja(E. Torrez)	15
Figura 23. Rollo de Geomembrana (7m*200m) (E. Torrez)	16
Figura 24. Descarga de los materiales (D. Salazar, E. Torrez)	17
Figura 25. Enrollado de la geomembrana para su transporte hasta el lugar de emplazamiento (E. Torrez).....	17
Figura 26. Preparación final del sitio, para el revestimiento con geomembrana (E. Torrez)	17
Figura 27. Revestido del atajado con Geomembrana HDPE. (E. Torrez).....	18
Figura 28. Soldadura de extrusión y seguridad en Atajado (E. Torrez)	18
Figura 29. Traslado de materiales (E. Torrez)	19
Figura 30. Soldadura de extrusión (E. Torrez)	19
Figura 31. Revestido del atajado con la Geomembrana (E. Torrez).....	19
Figura 32. Revestido del atajado con la Geomembrana (E. Torrez).....	19
Figura 33. Soldadura de (D. Salazar y E. Torrez)	19
Figura 34. Armado y sellado del desfogue de agua (D. Salazar y E. Torrez).....	19
Figura 35. Construcción de vertedor y desarenador (E. Torrez)	20
Figura 36. Construcción de la camara de carga (E. Torrez).....	20

Figura 37. Vista panorámica del Atajado ubicado en La Granja revestido con geomembrana (E. Torrez)20

Índice de tablas

Tabla 1. Dimensiones de profundidad de los atajados (m)7

Tabla 2. Determinación del Volumen de almacenamiento de atajado.....9

Tabla 3. Volumen de diseño y pendiente del terreno(Tammes, Villegas, & Guaman, 2000).....11

Tabla 4. Costo de implementación de 2 atajados de almacenamiento de agua (capacidad efectiva aprox. 200 m³).....21

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ATAJADOS REVESTIDOS CON GEOMEMBRANA COMUNIDADES KHAPI Y LA GRANJA

1 INTRODUCCION

En los últimos años, globalmente se viene observando un incremento en la intensidad y frecuencia de los diferentes eventos extremos relacionados a las precipitaciones y temperatura que afectan a la oferta y demanda de agua y por consiguiente a las fuentes de almacenamientos naturales de agua como son los glaciares y ríos principalmente. En algunas regiones han aumentado las sequias y en otros casos las crecidas de los ríos, provocan desbordes y riadas. Todos estos efectos son atribuidos de manera directa e indirecta al cambio climático, si bien se tiene un acuerdo general sobre las nuevas tendencias de las variables del clima, existe una gran incertidumbre respecto de lo que pueda ocurrir en el futuro.

Las comunidades del area de estudio, conforman la microcuenca del río Sajhuaya y aledañas al glaciar, éstas emplean aguas provenientes del deshielo del glaciar para el riego y la producción agrícola, así también captan aguas de vertientes para el consumo humano.

Durante los últimos años, estas comunidades campesinas, que viven a las faldas del Glaciar del Illimani vienen soportando los efectos atribuidos al cambio climático que cada vez se hacen más evidentes en las alteraciones de los fenómenos naturales, el clima y los recursos naturales, principalmente en cuanto a la disponibilidad de los recursos hídricos; asimismo se debe señalar que la acumulación de agua en el glaciar por estos efectos ha sufrido una notable disminución en la masa glaciar que antes se acumulaba, en este sentido la oferta de agua para algunas comunidades como ser el caso de La Granja a disminuido considerablemente respecto de anteriores años, debido también a que la producción se ha ampliado a cultivos que requieren mayores cantidades de agua, pero que resultan ser más rentables económicamente.

Por todo ello se ha considerado implementar algunas medidas piloto y de acción inmediata como son la construcción de atajados revestidos con geomembrana. “El almacenamiento de agua en atajados es una técnica que se emplea en áreas aridas y semiaridas, mediante la cual se almacena la escorrentia de la precipitación fluvial, o agua de otras fuentes, en estanques excavados en la tierra, los cuales también pueden ser recubiertos con materiales que impermeabilicen el suelo. El agua luego se utiliza para abrevadero del ganado, para riego o para uso domestico, en caso de que las lluvias sean irregulares o durante el periodo de estiaje. Tradicionalmente y por lo general son estanques pequeños, excavados a mano”¹.

Posterior a una evaluación técnica y social, se ha decidido implementar estos atajados en dos comunidades como son Khapi y La Granja. El trabajo afrontado ha considerado aspectos técnicos en cuanto al diseño, la ubicación, el tipo de suelo, la fuente agua, la pendiente del terreno, pero principalmente la necesidad y el interes de los comunarios beneficiarios debido a que el

¹ Atajados, diseño y su construcción; Bastiaan Tammes, Eduardo Villegas y Luis Guaman, 2000.

empredamiento es un aspecto vital para lograr realizar todo el trabajo de construcción y sostenibilidad de los atajados ya que ellos serán los usuarios y los que gestionen el agua almacenada en los atajados. Como experiencia piloto es la primera en ser instalada en el Municipio, si bien existen pequeños estanques de agua construidos manualmente en algunas comunidades, no cuentan con este material como es la geomembrana para el revestimiento.

2 UBICACIÓN

El presente trabajo de implementación de atajados se realizó en territorio de las comunidades de Khapi y La Granja, ambas son parte del Municipio de Palca, Provincia Murillo del Departamento de La Paz, con cotas de 3900 y 3091 msnm respectivamente. Estas comunidades se encuentran ubicadas entre las cuencas del río Sajhuaya y el río Paucara, las cuales desembocan al río Palca y posteriormente al río La Paz. El atajado en la comunidad de Khapi está geográficamente ubicado entre la latitud $16^{\circ} 40' 17''$ Sur y Longitud $67^{\circ} 51' 54''$ Oeste. El atajado en la comunidad de La Granja está ubicado entre la latitud $16^{\circ} 41' 34''$ Sur y longitud $67^{\circ} 52' 47''$ Oeste.; (Figura 1).

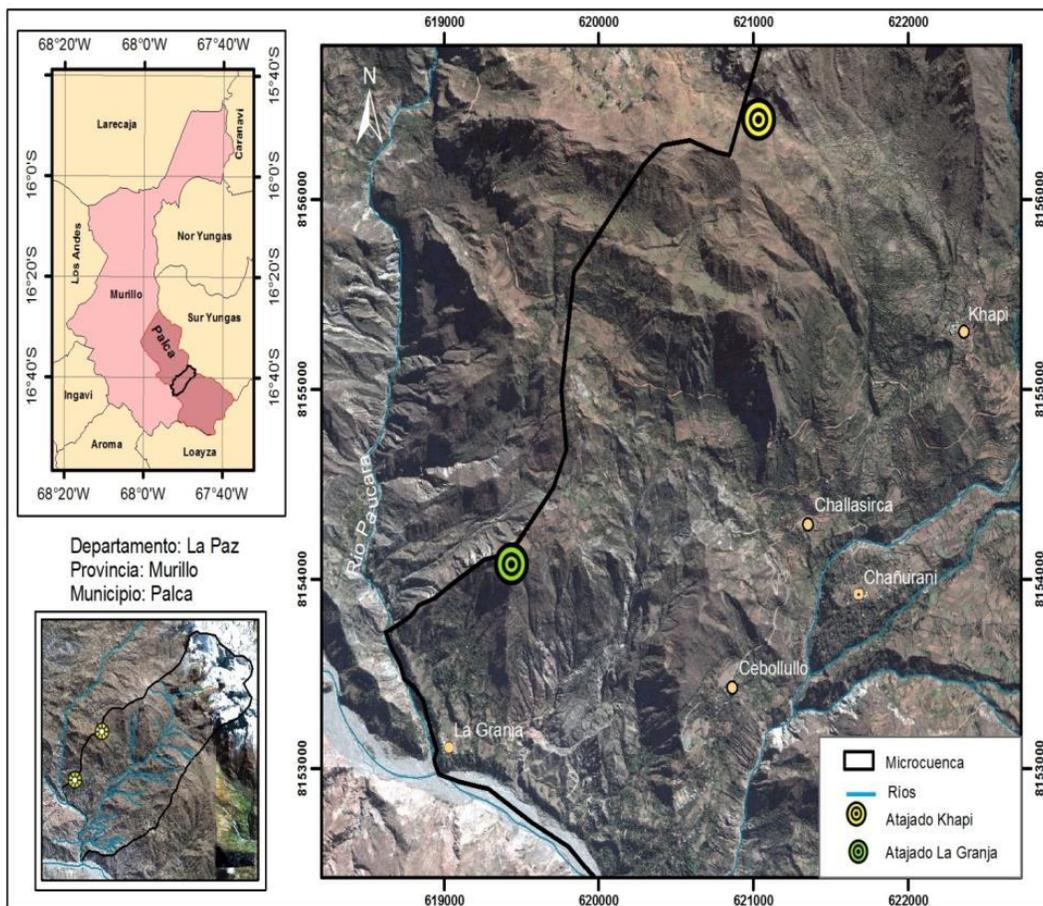


Figura 1. Área de Estudio – Implementación de Atajados Comunidades de Khapi y La Granja.

Fuente: (Agua-Sustentable, 2011)

Para la ubicación de los atajados en las comunidades de Khapi y La Granja, se consideró que el sitio debe cumplir con ciertas características tanto técnicas como sociales, tal el caso de que el terreno sea de uso comun o terreno comunitario, no llegando a afectar a la propiedad privada. También se consideró la pendiente del terreno y el tipo de suelo necesarios para la excavación y el emplazamiento de la obra, a fin de garantizar el almacenamiento de agua. Por las características del revestimiento con geomembrana, el almacenamiento de agua tendra niveles muy bajos de perdida por infiltración, lo que si se debe evaluar es la perdida por evaporación para determinar la capacidad y el uso óptimo de estos atajados. Si bien se ha culminado con la implementación, se debe considerar un periodo posterior para la evaluación de la funcionalidad de los mismos para el beneficio de las comunidades. Para un funcionamiento apropiado de los atajados se tomó en cuenta la ubicación del área de aporte y del área servida, en este caso ambas comunidades cuentan con canales de riego que pasan cerca de los atajados y de donde se ha planificado captar el agua a través de un vertedor y una camara de sedimentación conectados a la entrada de agua del atajado, se considera no interrumpir el uso ni los turnos de riego de las comunidades.



Figura 2. Sitio para construcción de Atajado, comunidad Khapi (E. Torrez)



Figura 3. Sitio para construcción de Atajado, comunidad La Granja (E. Torrez)

3 METODOLOGÍA DEL DISEÑO

El diseño de los atajados es importante, pues repercute en la construcción de los mismos, por ello el presente reporte contiene una sistematización de todo el proceso desde la idea hasta la consolidación – construcción de estos dos atajados en las comunidades de Khapi y La Granja.

3.1 Capacidad del atajado

De acuerdo con Tames, Villegas & Guamán (2000), “es importante determinar la capacidad apropiada de un atajado o de un conjunto de los mismos para lograr un uso óptimo de los recursos. La capacidad está en función del volumen de las fuentes de agua y del uso posterior del agua almacenada. Conociendo el volumen disponible de las fuentes y el uso posterior del agua almacenada se puede hacer el diseño de la capacidad del atajado”².

En este caso, la capacidad de almacenamiento de los atajados ha sido determinada por las características comerciales y el costo de este nuevo material como es la geomembrana³. Dicho

² Atajados, diseño y su construcción; Bastiaan Tammes, Eduardo Villegas y Luis Guaman, 2000.

³ Las GEOMEMBRANAS HDPE, están fabricadas con una fórmula de alta calidad de polietileno de alta densidad. Estas Geomembranas están específicamente diseñadas para condiciones expuestas. No contienen aditivos o

material, según especificaciones de fabrica, tiene un ancho de 7 metros y un largo de 200 metros, además, sirve para impermeabilizar la superficie de almacenamiento y es resistente a diferentes procesos químicos, físicos y naturales.

3.2 Diseño geométrico

La forma elegida del atajado es la de un tronco de piramide invertida (Figura 4). Aunque esta no es la forma óptima en comparación con el tronco cónico invertido, es una forma práctica para cuantificar la excavación y la conformación de los terraplenes posteriormente⁴.

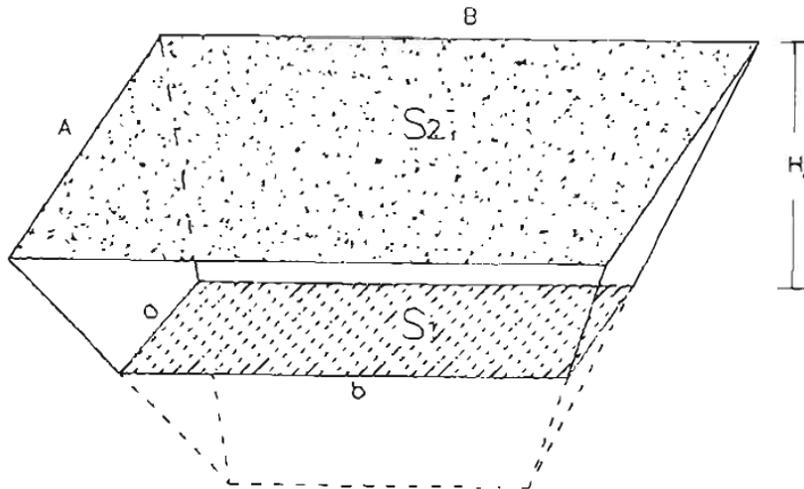


Figura 4. Geometría del atajado (pirámide tronco invertido) (Tammes, Villegas, & Guaman, Atajados, Diseño y su Construcción, 2000)

El volumen de este tronco de piramide invertida se define mediante la expresión:

$$V_{ip} = \frac{H_d}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 * S_2})$$

Donde:

- V_{tp} = volumen de tronco piramide (m^3)
- S_1 = área de la base (m^2) ($a * b$)
- S_2 = área superior (m^2) ($A * B$)
- H_d = altura de diseño (entre superficies) (m)

rellenos que puedan evaporarse y causar deterioro a medida que pasa el tiempo. Las GEOMEMBRANAS HDPE, son resistentes a una amplia gama de productos químicos, incluyendo ácidos, sales, alcoholes, aceites e hidrocarburos.

La altura o profundidad total del atajado (H_t), es la suma de la altura del volumen muerto, la altura de diseño y la altura de bordo libre y se expresa de la siguiente manera:

$$H_t = H_m + H_d + H_b$$

Donde:

H_t	=	altura total del atajado (m)
H_m	=	altura del volumen muerto (m)
H_d	=	altura de diseño (m)
H_b	=	altura de bordo libre (m)

La altura muerta, que es la altura entre la base del atajado y el tubo de desagüe del agua. Esta altura está incorporada como depósito de sedimentos y generalmente no sobrepasa los 0.35 m. Si por alguna razón entraran sedimentos en el atajado, el tubo de desfogue no se colmatará y el sistema puede seguir funcionando.

La altura de diseño, que es la altura entre la salida del tubo de desfogue y el nivel máximo de almacenamiento.

La altura de bordo libre, es la altura entre el espejo de agua y es el nivel de la máxima capacidad de almacenamiento de la corona del terraplen, esta altura se incorpora en el diseño para asegurar que el agua no desborde del terraplen.

La altura total del atajado no debe sobrepasar los 2.00 m debido a que es la altura máxima del terraplen que se puede conformar con un tractor u oruga. Además la estabilidad de los terraplenes disminuye por la presión hidráulica, a medida que incrementa la altura del espejo de agua.

Además, se recomienda no construir coronas menos de 1.00 m de ancho para garantizar la estabilidad del terraplen.

3.3 Estabilidad de los terraplenes

La estabilidad de los terraplenes de atajados se aseguran mediante una relación, entre la altura y el ancho de acuerdo al tipo de suelo. Cuanto más suelto el suelo, menos pendiente debe tener el terraplen.

La relación segura entre la altura y el ancho es; $V: H = (1:1.8 \text{ hasta } 1:3, \text{ para el talud interior ; } 1:1.2 \text{ hasta } 1:2 \text{ para el talud exterior})$ para los suelos indicados y para pendientes no mayores al 15 % (Tammes, Villegas, & Guaman, Atajados, Diseño y su Construcción, 2000).

3.4 Obras complementarias

Según Bottega y Hoogendam, (2004), el diseño hidráulico de un vertedero consiste en determinar altura de la cresta de un vertedero dada una cierta longitud, o bien calcular la longitud de vertedero lateral para que derive un caudal determinado.

En el caso del sedimentador, su dimensionamiento se realizó usando las siguientes ecuaciones:

$$L = (k \cdot y \cdot v) / w$$

$$A = Q / v$$

$$y \cdot d = Q / v$$

$$d = Q/(v \cdot y)$$

$$h = 1.1 \cdot y$$

Donde:

- k = coeficiente adimensional
- y = tirante asumido en el sedimentador
- v = velocidad asumida en el desarenador
- w = velocidad de decantación para el tipo de partícula elegida
- h = alto del sedimentador

Tanto la tubería de carga como la de desfogue se dimensionan de acuerdo al caudal que se requiere o se espera tener.

4 DISEÑO FINAL DE LOS ATAJADOS

4.1 Excavación

Las dimensiones finales de los atajados: largo, ancho, la profundidad y las pendientes de los terraplenes, se definieron de acuerdo a las limitantes dadas por el presupuesto disponible y las características comerciales de la geomembranas (7m*200m).

El presupuesto disponible, limitó las dimensiones de la geomembrana a un máximo de 280 m². Las características de disponibilidad comercial y el costo de soldadura entre geomembranas limitaron el dimensionamiento a usar 2 bandas de geomembrana, es decir un ancho de 14 m de geomembrana (ancho efectivo de 13.8m debido a la soldadura). El largo de las bandas de geomembrana resultó de 20m, dado por la superficie máxima disponible.

Siguiendo las recomendaciones de Tames, Villegas & Guamán (2000), se definieron las dimensiones de la profundidad de los atajados (altura muerta, altura de diseño, altura de bordo libre y altura total), presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones de profundidad de los atajados (m)

Tipo	Altura Calculada	Altura Asumida
Hm	0,23	0,20
Hd	1,50	1,50
Hb	0,75	0,40
Ht	2,48	2,10

Según las recomendaciones de Tames, Villegas & Guamán (2000), el talud interior de los atajados se definió como 2,1:3 (V:H), dando una longitud de 3,66m (hipotenusa). Para el talud exterior de los atajados se recomienda un talud más tendido, 2,1:3,8 (V:H). También se definió que el ancho de corona sea igual a 1 m y que la geomembrana cubra hasta 0.5 m de este ancho.

Una vez definidas las alturas, taludes y ancho de corona del atajado, se definieron las dimensiones en planta, limitadas por las dimensiones disponibles de geomembrana.

Las dimensiones finales transversal y corte en las siguientes fig

del atajado (planta, corte longitudinal) se muestran

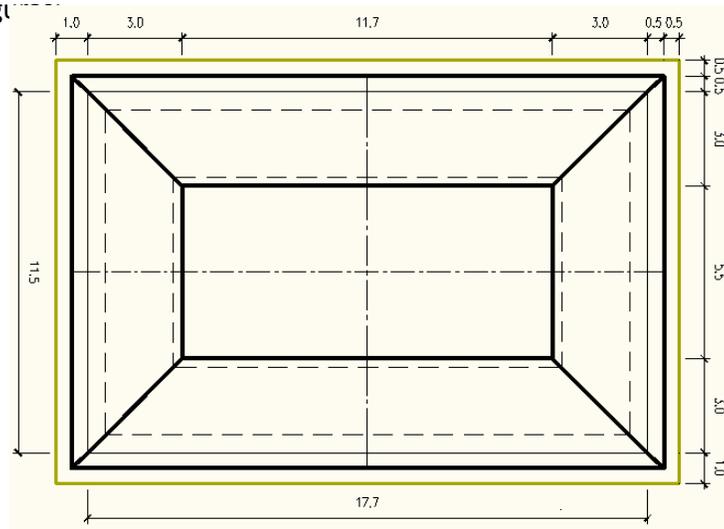


Figura 5. Diseño de (D. Salazar)

geometrico de los atajados

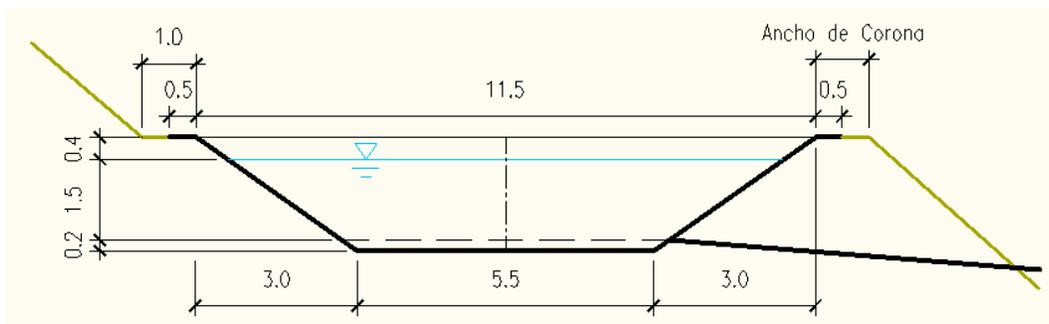


Figura 6. Corte Transversal (D. Salazar)

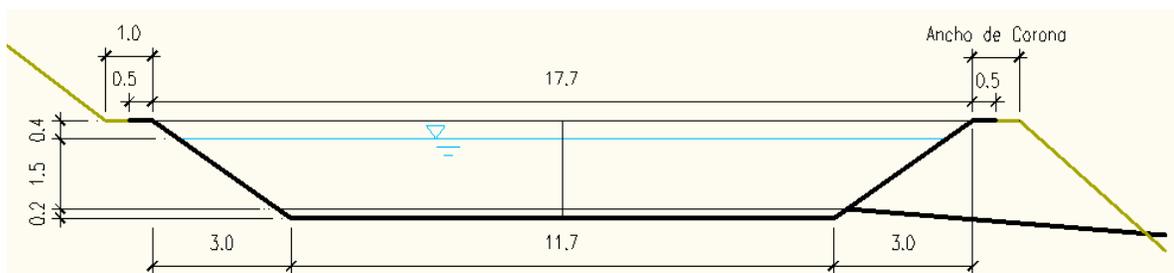


Figura 7. Corte Longitudinal (D. Salazar)

Adicionalmente, a modo de referencia, se presenta una vista tridimensional del atajado:

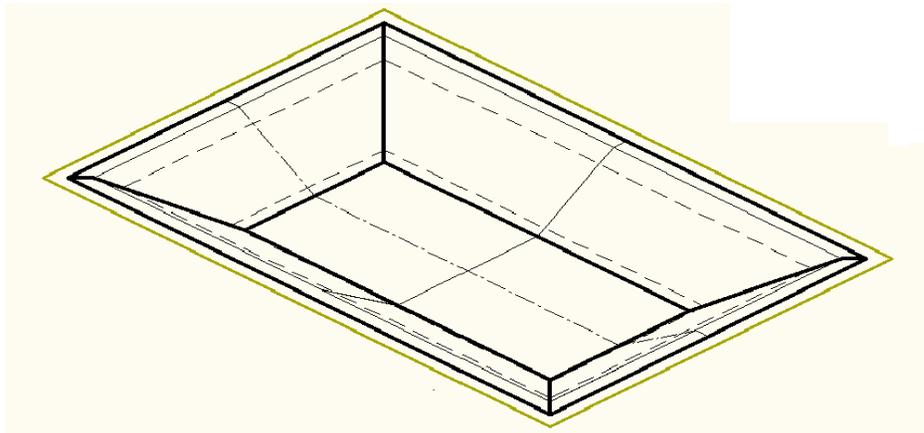


Figura 8. Vista Tridimensional del Diseño de Atajado (D. Salazar)

Finalmente, los atajados de Khapi y La Granja tienen un volumen total de 273 m³, de los cuales 14 m³, no son aprovechables por estar debajo del tubo de desfogue, 183 m³ pueden ser efectivamente aprovechados, como seguridad se tienen 76 m³, por lo que en caso extremo se pueden aprovechar 260 m³.

Tabla 2. Determinación del Volumen de almacenamiento de atajado

Detalle	Volumen (m ³)	S1 (m ²)	S2 (m ²)	h (m)
Muerto	14,22	76,30	66,00	0,20
Activo	183,21	174,67	76,30	1,50
Seguridad	76,24	207,00	174,67	0,40
Total	273,67			
Máximo	259,45			

4.2 Obras complementarias

Para un buen funcionamiento y un uso sostenible del atajado es necesaria la implementación de obras complementarias a la excavación del atajado y la conformación de los terraplenes. Estas obras se implementan especialmente para captar y expulsar el agua de manera eficiente y sostenible.

de acuerdo al criterios técnicos las obras complementarias a los dos atajados fueron:

- Canal de captación, canal de ingreso y sedimentador
- Sistema de desfogue
- Cerco de protección perimetral

Diseño del vertedero y sedimentador

El vertedero y sedimentador se diseñaron siguiendo las recomendaciones mencionadas en el acápite 1.3.4. Las dimensiones del diseño pueden verse en la Figura 9, Figura 10 y Figura 11.

Parámetro Valor Unidad

Parámetro Valor Unidad

k	1.5	
y	0.3	m
v	0.028	m/s
w	0.0211	m/s

L	0.597	m
L	0.6	m

Q	0.003	m ³ /s
	3	l/s

d	0.357	m ³ /s
d	0.4	m ³ /s

h	0.33	m
h	0.35	m

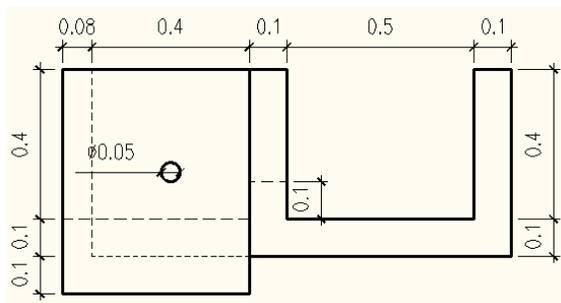


Figura 9. Vista de corte transversal del vertedero y sedimentador (D. Salazar)

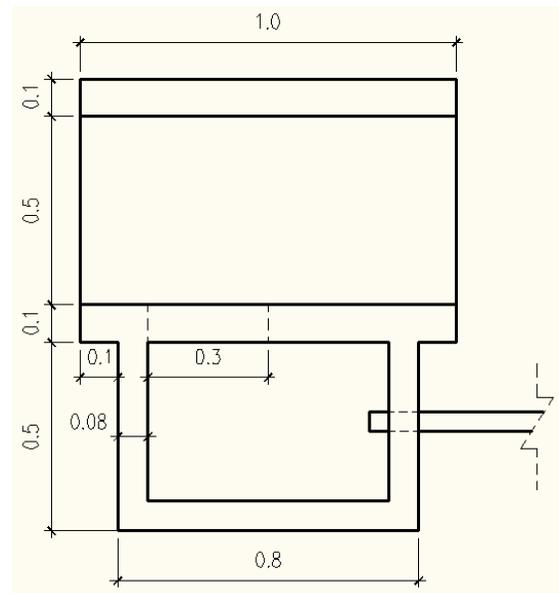


Figura 10. Vista de planta del vertedero y sedimentador (D. Salazar)

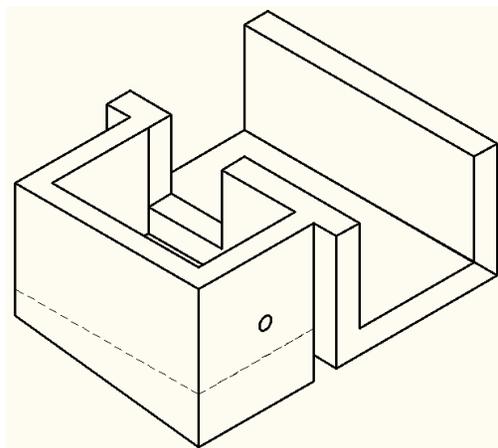


Figura 11. Vista Tridimensional del vertedero y sedimentador (D. Salazar)

5 IMPLEMENTACION

5.1 La fuente de agua

En esta experiencia piloto, el agua para los atajados de Khapi y La Granja, es interceptada de una acequia o canal de riego con el que cuentan las comunidades, también se espera captar agua de lluvia de manera directa.



Figura 12. Canal de riego en Khapi (D. Salazar)

5.2 Topografía del terreno

Se recomienda ubicar los atajados en terrenos con pendientes comprendidas entre 4 % y 15 %. La capacidad del atajado tiene relación con el rango de pendientes recomendadas para su construcción, cuanto mas inclinado el terreno, menor es la capacidad del atajado que se puede construir garantizando su estabilidad, ver Tabla 3 (Tammes, Villegas, & Guaman, 2000)(Bottega & Hoogendam, 2004).

Tabla 3. Volumen de diseño y pendiente del terreno(Tammes, Villegas, & Guaman, 2000)

Volumen mínimo (m3)	Volumen máximo (m3)	Pendiente mínima (%)	Pendiente máxima (%)
500	1600	4	15
1600	2000	4	12
2000	2500	4	9
2500	3000	4	8

Los atajados implementados fueron construidos en terrenos según las recomendaciones anteriores, los terrenos seleccionados para ambos atajados se muestran en las siguientes fotos:



Figura 13. Terreno en Khapi (pendientes < a 15%) (D. Salazar)



Figura 14. Terreno en La Granja (pendientes < a 4%). (D. Salazar)

5.3 Características del suelo

Las características del suelo llegan a ser determinantes para el éxito en la implementación de los atajados. Tanto para la estabilidad de los terraplenes como para el trabajo mismo de la excavación. En terminos generales, cuando los atajados son construidos sin revestimiento se puede decir que los suelos con un elevado contenido de arcilla caolinita⁵, son los mas aptos para la construcción por sus características de impermeabilidad. Sin embargo, debido a que en este caso se empleo un revestimiento impermeable, como la geomembrana, el tipo de suelo es un factor más determinante para los trabajos de excavación: en este caso la arcilla es un suelo mas difícil de excavar (más difícil mientras está mas seca).

Si bien se debe evitar la construcción en suelos arenosos, rocosos, porosos, o suelos con fenómenos como tubificación y/o con un elevado contenido de cal o sal, cuando estos se realizan bajo algun material revestido el cuidado debe ir más en la preservación del material utilizado para el revestimiento. Antes de iniciar la construcción se debe conocer las características del suelo, tanto de la capa arable como del suelo. En áreas con suelos heterogéneos se recomienda excavar calicatas en cada lugar previsto para la implementación de atajados, a fin de analizar la aptitud de suelo y de esta manera evitar problemas durante la construcción y el almacenamiento de agua posterior. Un metodo sencillo e indicativo para conocer la aptitud del suelo es echar un barril de agua en la calicata y observar la filtración del agua. Si el agua se infiltra rápido, se necesitará un análisis más profundo.

En el caso del atajado de Khapi (Figura 15), el suelo es arcilla roja (greda), la capa superior presenta cobertura vegetal (pasto), durante el tiempo de excavación el terreno permaneció humedo, por lo que se tuvieron que excavar pequeños canales para drenar la base de los atajados, el trabajo de excavación fue suave, pero al mismo tiempo su transporte era pesado debido al alto contenido de agua, además se encontró roca en algunos lugares a profundidades mayores a 1 metro.

⁵ Clase de arcilla con poca capacidad de absorción de agua, resulta en que no se expande ni se contrae.



Figura 15. Tipo de suelo, arcilloso húmedo, comunidad Khapi (E. Torrez)

En el caso de La Granja (Figura 16), el suelo es también conformado por arcillas, no tenía mucha cobertura vegetal debido a que es un terreno comunitario y suele sembrarse en él, además este suelo era seco y bastante duro para la excavación manual.



Figura 16. Tipo de suelo, arcilloso, comunidad La Granja (E. Torrez)

5.4 Replanteo y marcado del sitio de la Obra

El replanteo de los atajados en las comunidades de Khapi y La Granja se llevó a cabo los días 18 y 19 de enero de 2011 respectivamente, previa coordinación con los Secretarios Generales y dirigentes de la comunidad. El replanteo de los atajados consideró los diferentes factores sociales y técnicos como ser: que el terreno sea un área comunitaria, que esté ubicado en una parte alta de la comunidad para poder abastecer a la mayoría de los pobladores, que esté cerca de canales de riego para poder llenarlo con su agua cuando sea conveniente (generalmente en época de lluvia, cuando hay exceso de

agua) y así mismo que se pueda enviar agua a un canal de riego de la comunidad (aguas abajo, en época de estiaje).



Figura 17. Replanteo y marcado del atajado de la comunidad Khapi (D. Salazar)



Figura 18. Replanteo y marcado del atajado de la comunidad La Granja (E. Torrez)

5.5 Excavación del Atajado

Al momento de planificar y programar los trabajos de excavación, debe considerarse: la disponibilidad de jornales o trabajadores, el clima y el tipo de suelo principalmente. Si bien el tiempo de trabajo con las comunidades, había sido concertado previamente, preveyendo 4 a 6 días, este tiempo se tuvo que extender a 8 días, principalmente debido al inicio de la época de lluvia que impedía un trabajo continuo en cada jornal. sin embargo, las precipitaciones intermitentes también tuvieron un aspecto favorable, dado que el incremento de humedad en el suelo hace menos dificultosa la excavación. Durante la excavación del atajado de Khapi encontraron rocas a profundidades mayores a 1 m, lo que dificultó y retrasó el trabajo planificado.



Figura 19. Proceso de excavación en la comunidad de Khapi (E. Torrez)



Figura 20. Proceso de excavación en la comunidad de La Granja. (E. Torrez)

5.6 Nivelación de los atajados

La nivelación está enfocada principalmente en la formación manual de los terraplenes y los taludes. En esta experiencia se tuvo bastante cuidado en mantener las dimensiones establecidas en el diseño de los atajados debido a la limitada superficie de geomembrana disponible. Asimismo se cuidaron las dimensiones del terraplen para la correcta implementación del cerco de seguridad que evita el ingreso de animales o personas a estos atajados (debido a la textura muy lisa y resbaladiza de la geomembrana, el ingreso a los atajados debe ser restringido para no poner en peligro su vida, especialmente cuando el atajado esté lleno y la geomembrana húmeda).



Figura 21. Nivelación de los taludes en Khapi (E. Torrez)



Figura 22. Nivelación de los taludes en La Granja (E. Torrez)

5.7 Revestimiento del Atajado

El revestimiento de atajados es necesario en los casos en los que el tipo de suelo de fundación no sea suficientemente compactable o sea pedregoso y muy permeable. Si bien el revestimiento incrementa los costos, este es muy efectivo para almacenar el agua, ya que evita las pérdidas por infiltración.

La decisión de optar por atajados revestidos con geomembrana en esta experiencia piloto aplicada en las comunidades de Khapi y La Granja, fundamentalmente de un criterio de eficiencia para el almacenamiento, para abastecer la demanda creciente que tienen los cultivos y la producción agropecuaria de estas comunidades.

Las GEOMEMBRANAS HDPE (polietileno de alta densidad), están fabricadas con una fórmula de polietileno de alta densidad que contiene aproximadamente 97,5% de Polímero y 2,5% de Negro Humo, Anti-oxidante y Estabilizadores de Calor que evita la acción de los rayos UV sobre ellas. Estas Geomembranas están específicamente diseñadas para condiciones expuestas. No contienen aditivos o rellenos que puedan evaporarse y causar deterioro a medida que pasa el tiempo(Geomembranas_ltd.).

Las GEOMEMBRANAS HDPE, son resistentes a una amplia gama de productos químicos, incluyendo ácidos, sales, alcoholes, aceites e hidrocarburos. Estos productos químicos pueden actuar concentrados y/o diluidos a diferentes temperaturas⁶. Además de su excelente resistencia al ataque de agentes químicos y a los rayos Ultravioleta (UV), también presentan inmejorables propiedades mecánicas.



Figura 23. Rollo de Geomembrana (7m*200m) (E. Torrez)

Las GEOMEMBRANAS HDPE, se presentan en rollos de 7.00 m de ancho, calibres entre 0,5 y 2,0 mm y longitudes entre 381 y 156 m lineales respectivamente⁷.

El sellado de estas geomembranas se realiza dentro y/o fuera de la obra, utilizando una máquina de cuña caliente y una máquina extrusora de resina de HDPE. Se utilizan con éxito para el aislamiento de terrenos con filtraciones y en una amplia gama de proyectos y soluciones de geotecnia (piscinas para almacenamiento de aguas, piscinas para tratamiento de aguas residuales, piscinas de recolección de lodos petroleros, impermeabilización de diques, aislamientos de terrenos donde funcionarán rellenos sanitarios, etc.

Sin entrar a mayores detalles, el proceso de implementación de los atajados revestidos con geomembrana tuvo diferentes fases hasta la finalización de las obras en campo. Aspectos que deben ser considerados para la implementación van desde la verificación del material, el transporte a la sitio de obra, los cortes y soldaduras de seguridad, la construcción de camaras de salida y desfogue de excedentes, y otros, lo que requiere mano de obra calificada y la participación activa de los beneficiarios y usuarios finales de estos atajados, en las siguientes fotos se muestra dicho proceso.

⁶ <http://www.geomembranas.com.co/index.php?class=geosinteticos.php#hdpe>

⁷ <http://www.geomembranas.com.co/index.php?class=geosinteticos.php#hdpe>



Figura 24. Descarga de los materiales (D. Salazar, E. Torrez)



Figura 25. Enrollado de la geomembrana para su transporte hasta el lugar de emplazamiento (E. Torrez)

5.8 Implementación de atajado, Comunidad de Khapi

El proceso de implementación del atajado construido en la comunidad de Khapi tuvo una dinámica muy distinta al de La Granja. La principal diferencia se refiere al clima, Khapi presenta un clima muy frío y con bastante precipitación por encontrarse en la cabecera de la cuenca, esto repercutió fundamentalmente en el cronograma de excavación e implementación, que fue alargado debido a la constante interrupción del trabajo por las lluvias y a la necesidad de drenar constantemente el área de trabajo. A pesar de estos contratiempos se ha logrado concretar el atajado exitosamente. En las siguientes fotos se presenta toda la secuencia de construcción de este atajado.



Figura 26. Preparación final del sitio, para el revestimiento con geomembrana (E. Torrez)



Figura 27. Revestido del atajado con Geomembrana HDPE. (E. Torrez)



Figura 28. Soldadura de extrusión y seguridad en Atajado (E. Torrez)

5.9 Implementación de atajado, Comunidad de La Granja

El proceso de implementación del atajado en la comunidad La Granja fue un proceso dinámico desde su idea hasta su consolidación. La comunidad de La Granja se encuentra en la parte baja de la cuenca, tiene un clima mas templado y no lluvioso como la comunidad de Khapi. La Granja dispone solo de 4 días para riego , contando con los dos sistemas de riego que tiene, por tal motivo su necesidad e interes en la implementación de esta obra es grande, lo que hizo posible un avance rápido. A continuación se muestra la secuencia de construcción del atajado de la comunidad La Granja.



Figura 29. Traslado de materiales (E. Torrez)



Figura 30. Soldadura de extrusión (E. Torrez)



Figura 31. Revestido del atajado con la Geomembrana (E. Torrez)



Figura 32. Revestido del atajado con la Geomembrana (E. Torrez)



Figura 33. Soldadura de (D. Salazar y E. Torrez)



Figura 34. Armado y sellado del desfogue de agua (D. Salazar y E. Torrez)

5.10 Obras complementarias

La construcción de obras complementarias es un factor que permite un funcionamiento óptimo de los atajados, para ello, en ambas comunidades se ha construido vertedores, desarenadores y camaras de carga, que permite un almacenamiento eficiente del agua, evitando el ingreso a gran escala de materiales que puedan sedimentar o colmatar el estanque de almacenamiento, asimismo la construcción de la malla de seguridad con alambre es otro factor que evitará cualquier accidente o mal uso de dicho atajado.



Figura 35. Construcción de vertedor y desarenador (E. Torrez)



Figura 36. Construcción de la camara de carga (E. Torrez)



Figura 37. Vista panoramica del Atajado ubicado en La Granja revestido con geomembrana (E. Torrez)

6 COSTOS DE IMPLEMENTACION

El presupuesto es un factor importante en la construcción de cualquier obra, ya que en base a este se podrá diseñar y dimensionar la obra, además repercute en la toma de decisiones antes de y durante la construcción. En la siguiente tabla se muestra los costos que representaron la implementación de las obras en las comunidades de La Granja y Khapi.

Tabla 4. Costo de implementación de 2 atajados de almacenamiento de agua (capacidad efectiva aprox. 200 m³)

Item	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
A. APOORTE DEL FINANCIADOR					
1	Compra de materiales para ATAJADO, Geomembrana HDPE 1,50 mm, superficie 280 m ² e instalación en campo	Pza.	2	14.860,0	29.720,0
2	Compra de Herramientas y otros insumos para el trabajo	GBL	1	2.200,0	2.200,0
3	Servicio de Transporte	GBL	1	1.200,0	1.200,0
4	Imprevistos	GBL	1	2.000,0	2.000,0
5	Supervisión	GBL	1	1.000,0	1.000,0
SUB TOTAL A (Bs)					36120,00
B. APOORTE DE LA COMUNIDAD					
6	Mano de obra local	Persona	264	50,00	13.200,00
SUB TOTAL B (Bs)					13.200,00
TOTAL (A + B)					49.320,00

7 CONCLUSIONES

Las conclusiones que podemos obtener de esta experiencia piloto son:

- El proceso de investigación que se realiza es muy importante, pero si bien se conoce las necesidades que se tienen en cada comunidad, solo la gestión concertada de este recurso permitirá que cualquier obra consiga la funcionalidad con la que fué diseñada y pensada.
- La concertación, el dialogo y la planificación técnico científico con las comunidades permiten incrementar el conocimiento del entorno local a través de la interacción entre especialistas del agua y conocedores de la realidad en que viven las comunidades. De esta manera se pueden gestionar obras que sean de impacto y acorde a las necesidades de los beneficiarios finales, quienes seran los que a la larga deberán enfrentar los nuevos escenarios que se vatisinan por los efectos del calentamiento global.
- La generación de escenarios concertados y de dialogo entre comunidades y actores externos como son los técnicos y especialistas del agua, permiten la implementación efectiva y real de obras como estos atajados revestidos con geomembrana HDPE. En algunos casos, se puede generar cierto grado de susceptibilidad y escepticismo entre los habitantes de las comunidades, debido a que pueden no comprender los aspectos técnicos, como por ejemplo la forma de llenado de los atajados. En este caso, algunas personas temían que se le quite su turno total o

parcialmente para llenar el atajado, sin embargo después de diferentes explicaciones se logró concertar la idea propuesta.

- Al considerar la época de construcción de estas obras, no es recomendable construirlos durante la época de lluvias como en este caso. Sin embargo en este caso se debió a motivos de fuerza mayor. Si bien la humedad constante en el suelo facilita la excavación del suelo, su exceso la perjudica por el mayor peso específico del suelo, la formación de charcos y en consecuencia la reticencia de los beneficiarios a trabajar en estas condiciones. Además, dificulta también el revestimiento con la geomembrana.
- El involucramiento de los beneficiarios finales en la construcción de las obras es muy importante para el empoderamiento y apropiación de la obra por parte de los habitantes de la comunidad, favoreciendo a que lo cuiden y mantengan adecuadamente.

8 RECOMENDACIONES

La generación de proyectos, tanto de investigación y transferencia de tecnología, debe ser siempre orientada a beneficiar a la mayor cantidad posible de comunidades, habitantes y actores agrícolas locales que día a día son los que con su producción agropecuaria aportan al desarrollo del país y la provisión de alimentos para las ciudades.

Recomendamos replicar este tipo de experiencias pilotos, considerando siempre y de manera conjunta, los componentes sociales y técnicos al momento de la elaborar una propuesta de diseño, estos dos componentes son vitales para lograr resultados exitosos y sostenibles.

Se debe evaluar el funcionamiento de estas obras, así como su capacidad de almacenamiento y regulación de agua para abastecer a las comunidades durante las épocas con déficit hídrico.

La tendencia al déficit hídrico que se ha venido observando en la zona y los escenarios figurativos de conflicto respecto del recurso agua son elementos que todavía deben ser analizados, pero que de ser inminentes, indican la necesidad de realizar más obras de este tipo.

9 REVISION BIBLIOGRAFICA

Bottega, A., & Hoogendam, P. (2004). *Investigación Aplicada, Obras de Riego para Zonas Montañosas*. Cochabamba, Bolivia.

Geomembranas_ltd. (n.d.). *Geomembranas ltd*. Retrieved Enero 2011, from www.geomembranas.com.co/index.php?class=geosinteticos.php#hdpe

Tammes, B., Villegas, E., & Guaman, L. (2000). *Atajados, Diseño y su Construcción*. Bolivia: GTZ, KFW, FDC, Plural Editores.

Tammes, B., Villegas, E., & Guaman, L. (2000). *Atajados, Diseño y su Construcción*. Bolivia: Plural Editores.