

Factibilidad técnica del uso de agua de lluvia en el Municipio de Santos Reyes Yucuná, Oaxaca.

Álvarez-Olguín, G.¹, Gómez-Anguiano, M.¹ y Pedro-Santos, E.¹.

Fecha de recepción: marzo de 2009 – Fecha de aceptación: julio de 2009

RESUMEN

Millones de personas mueren en el mundo debido a enfermedades diarreicas producto de un abastecimiento de agua y saneamiento deficientes. El municipio de Santos Reyes Yucuná, Oaxaca, es un sitio donde se requiere contar con una fuente que proporcione agua en suficiente cantidad y calidad, para garantizar la salud de sus habitantes y mejorar su calidad de vida. En este trabajo, se evaluó la factibilidad hidrológica y geológica de construir una presa pequeña en este municipio para almacenar agua de lluvia con fines de consumo humano. Se llevaron a cabo estudios hidrológicos, topográficos y geológicos en una microcuenca de 104 hectáreas. Los resultados obtenidos mostraron que las condiciones son favorables para la construcción de una presa que permitirá almacenar hasta 131,688.1 m³ de escurrimientos pluviales. Como parte esencial de este proyecto, se planteó restaurar la vegetación y el suelo de la cuenca, con el fin de evitar la erosión y proteger la presa contra el azolvamiento. De esta forma se pretende lograr un manejo integral de los recursos de la cuenca.

Palabras clave: Presa pequeña, abastecimiento de agua, captación de agua de lluvia, control de sedimentos, prevención de la erosión, restauración vegetal.

Technical feasibility of the use of rainwater in the municipality of Santos Reyes Yucuná, Oaxaca

ABSTRACT

Millions of people around the world die due to diarrheal diseases. This public health problem is attributed to the deficiency in water supply and sanitation systems. The municipality of Santos Reyes Yucuná, Oaxaca, requires a source to provide water in sufficient quantity and quality to ensure the health of its inhabitants and improve their quality of life. This work evaluates the hydrological and geological feasibility to build a small dam in this municipality in order to store rainwater for purposes of human consumption. Hydrological, geological and topographic analyses were conducted in a watershed of 104 hectares. The results showed that the conditions in the watershed are favorable for the construction of a dam that will store 131,688.1 m³ of rainwater. An essential part of this project involves the restoration of vegetation and soil to the river basin to prevent erosion and to protect the dam against the siltation. In this way, we expected to achieve an integral management of the basin.

Keywords: Small dam, water supply, rainwater catchment, sediment control, erosion prevention, reforestation.

¹ Profesor-Investigador Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México. E-Mail: galvarez@mixteco.utm.mx

INTRODUCCIÓN

La falta de agua, es uno de los principales limitantes del desarrollo social y económico de las comunidades rurales. En el mundo 1,100 millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua y la mayor parte de éstas viven en zonas rurales (OMS, 2004). Aunado a esto, 1,8 millones de personas mueren cada año debido a enfermedades diarreicas, de las cuales 90% son niños menores de cinco años. De éstas 88% son producto de un abastecimiento de agua insalubre y de un saneamiento e higiene deficientes (OMS, 2004).

En México existen 106 municipios con muy alto grado de rezago social donde la incidencia de pobreza alimentaria supera el 40% (CONEVAL, 2005). Santos Reyes Yucuná, ubicado en la Mixteca Oaxaqueña, es uno de los 50 municipios con menor índice de desarrollo humano en el país (CONAPO, 2000), equivalente al estatus de países como Camerún, Bangladesh o Nepal. En este lugar existe un alto porcentaje de carencias en materia educativa, muy baja cobertura de servicios básicos y un muy bajo acceso a seguridad social. De acuerdo a datos del INEGI (2005), la cobertura del servicio de agua potable es de 33% y el de saneamiento tan solo de 10%. Por otro lado, las fuentes de agua subterráneas con que cuenta el municipio (un manantial y un pozo tipo noria) son insuficientes; por lo que los habitantes del lugar, recurren a la compra de agua mediante camiones cisterna para satisfacer sus necesidades básicas de limpieza, higiene y preparación de alimentos. No obstante, para garantizar un abastecimiento de agua eficiente y un saneamiento digno, es necesario contar con una fuente que proporcione agua en suficiente cantidad y calidad. De esta forma se podrá mejorar la salud de los habitantes y la calidad de vida.

La construcción de una presa pequeña para almacenar agua de lluvia en el municipio de Santos Reyes Yucuná, es una alternativa que contribuiría a incrementar la disponibilidad de este recurso. Sin embargo, este tipo de obras enfrenta el problema del acortamiento de su vida útil debido a la erosión acelerada de las cuencas y a la reducción en su capacidad de almacenamiento por la acumulación de sedimentos. En este proyecto se propuso aprovechar los escurrimientos pluviales generados en la cuenca de la “Barranca del Ombligo”, para cubrir la demanda de agua para uso y consumo humano de la cabecera municipal y las localidades Cerro Limón, San José Buena Vista y San Francisco de las Flores.

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la factibilidad hidrológica y geológica de la

construcción de la presa. Sin embargo, no solo se consideraron los aspectos técnicos que implican el diseño y la construcción de la obra; sino también, la restauración vegetal para el control de la erosión de los suelos en la cuenca, la defensa contra el azolvamiento y la protección de la calidad del agua a almacenar. De esta forma se busca un manejo integral de los recursos agua-suelo-bosque, con miras a lograr su aprovechamiento en forma sustentable.

Descripción de estudios requeridos. Dentro del municipio, la explotación de fuentes subterráneas es insuficiente, ya que ninguna tiene la capacidad de producción requerida o su aprovechamiento no es económicamente viable por estar ubicadas lejos de los límites municipales (esto implica altos costos de inversión y operación en la captación, líneas de conducción y bombeo). Por otro lado, en las inmediaciones no existen fuentes superficiales perennes que puedan aprovecharse.

Ante esta situación, se contempló aprovechar agua de lluvia como alternativa que contribuya a solucionar el problema de escasez. Actualmente algunos habitantes del municipio, captan agua de lluvia en los techos de sus casas; sin embargo ésta es una solución temporal, ya que, las lluvias en la región tienden a suceder de manera errática y extrema durante seis meses (mayo-octubre). Desafortunadamente, en el municipio la falta de espacios en las zonas de asentamientos humanos, limita la construcción de grandes cisternas o contenedores, necesarios para almacenar agua en la época de lluvia y utilizarla durante los meses de estiaje. Por tal razón, se propuso construir una presa para almacenar suficientes escurrimientos pluviales y cubrir la demanda de la población durante todo el año.

En el presente trabajo, se llevaron a cabo una serie de estudios topográficos, geológicos e hidrológicos para evaluar la factibilidad técnica de la construcción de la presa. La zona de estudio fue la microcuenca de una corriente de agua intermitente denominada “Barranca del Ombligo”, la cual se localiza entre las coordenadas geográficas 17° 47' 6" de latitud Norte y 98° 0' 52" de longitud Oeste, dentro de los límites del municipio de Santos Reyes Yucuná, Oaxaca (Figura 1).

En la microcuenca, se llevaron a cabo recorridos de campo en los que se identificó el sitio con las características topográficas y geológicas más adecuadas para construir una presa como son: mayor área de captación de escurrimientos pluviales, existencia de bancos de materiales cercanos, boquilla más angosta, vías de acceso existentes para minimizar

los costos de transporte de materiales y equipos, presencia del macizo de roca sana cercano a la superficie para disminuir los costos de extracción de materiales para cimentar la cortina, y ausencia de fallas, fracturas, diaclasas o otros elementos que puedan incidir en el funcionamiento de la presa.

Posteriormente, se llevó a cabo un levantamiento topográfico, a partir de cual se obtuvieron las curvas elevaciones-capacidades y elevaciones áreas del vaso de almacenamiento, necesarias para estimar el volumen útil de la presa.

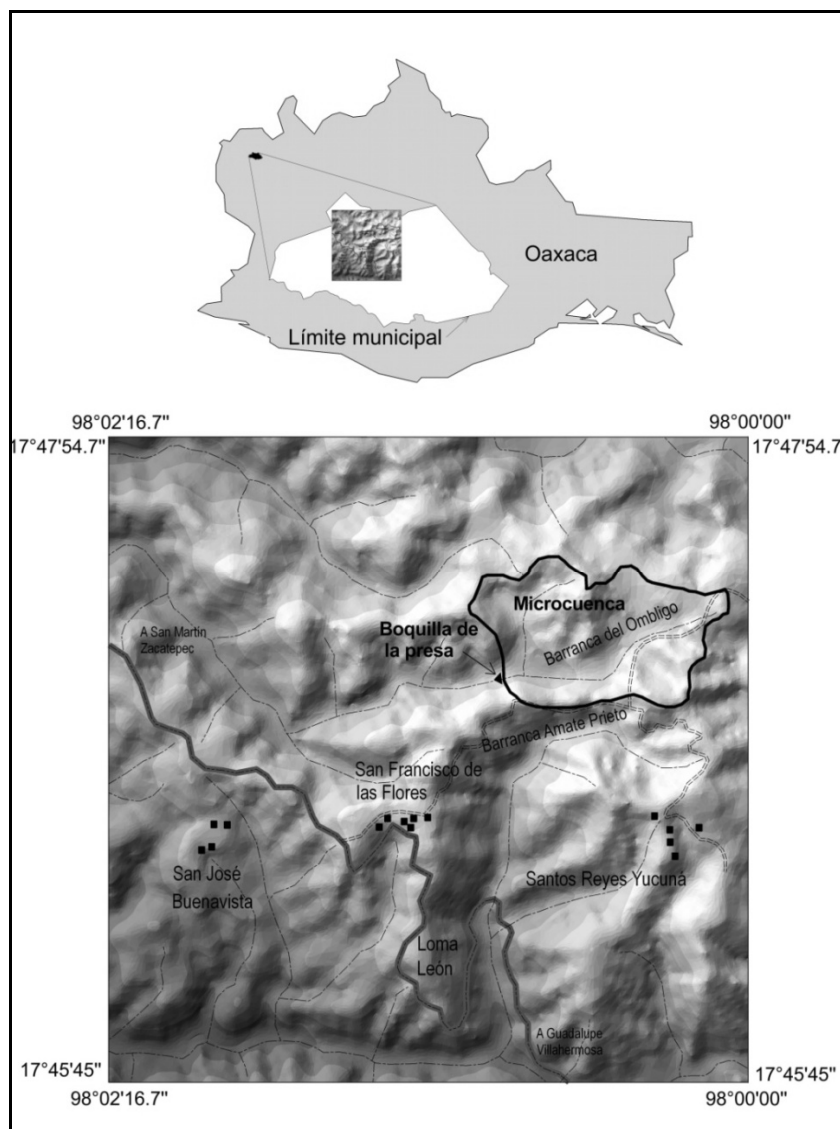


Figura 1. Localización del sitio de construcción de la presa “Barranca del Ombligo”. La cuenca se localiza en la parte norte de la cabecera municipal de Santos Reyes Yucuná.

Estudios topográficos y geológicos. La zona seleccionada para la construcción de la presa, se muestra en la Figura 2. El área de captación de escurrimientos inherente a la boquilla tiene una extensión de 1, 044, 141.6 m² (superficie de la cuenca). El vaso de almacenamiento, abarca un área de 41,071.6 m² y un volumen de 382, 274.2 m³ comprendido entre los 1786 y 1809 m de altitud.

Topográficamente se consideró que el sitio propuesto para la boquilla es adecuado, ya que, transversalmente ésta es la parte más angosta a lo largo de la barranca. Se espera que esta característica topográfica, implique un volumen y operaciones para el tratamiento de la cimentación, menores al de una boquilla más amplia.

Geológicamente la cuenca se localiza donde afloran rocas del Complejo Acatlán, descrito por Salas (1949) utilizando el nombre de “esquisto Acatlán” para referirse a los esquistos que afloran y circundan el pueblo de Acatlán de Osorio, Puebla; generalizándolo a todos los metamórficos que subyacen a toda la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca. Fries y Rincón-Orta (1965) utilizaron el término “formación Acatlán” únicamente para identificar la secuencia de rocas plegadas y afectadas por metamorfismo de grado bajo. Ortega-Gutiérrez (1978) es quien propone formalmente el nombre de Complejo Acatlán en sustitución al anterior. Posteriormente Ortega-Gutiérrez y colaboradores (1981, 1999), dividen en dos unidades al Complejo Acatlán: Grupo Petlancingo y Grupo Piaxtla. La sección tipo se localiza a lo largo del tramo de la carretera federal número 190 (México–Oaxaca), que va del entronque

con la carretera a Tecamatlán, Puebla, hasta los últimos afloramientos de unidades metamórficas, localizadas entre los poblados de Petlancingo y Chila de las Flores, Puebla.

Entre las unidades que afloran localmente están metasedimentos constituidos por rocas calizas de color gris claro a oscuro en superficie de intemperismo y color gris claro en superficie fresca. Esta unidad ocurre en forma de diques de dimensiones aproximadamente de 20 m a 30 m de espesor, sin estimar su longitud total, y presenta una serie de estructuras por efecto de los agentes de intemperismo como son: estructuras de disolución, vetillas de calcita desde pocos milímetros hasta 3 cm. Las unidades mencionadas se encuentran fuera del vaso de almacenamiento sin implicaciones directas sobre la cortina (Figura 2).

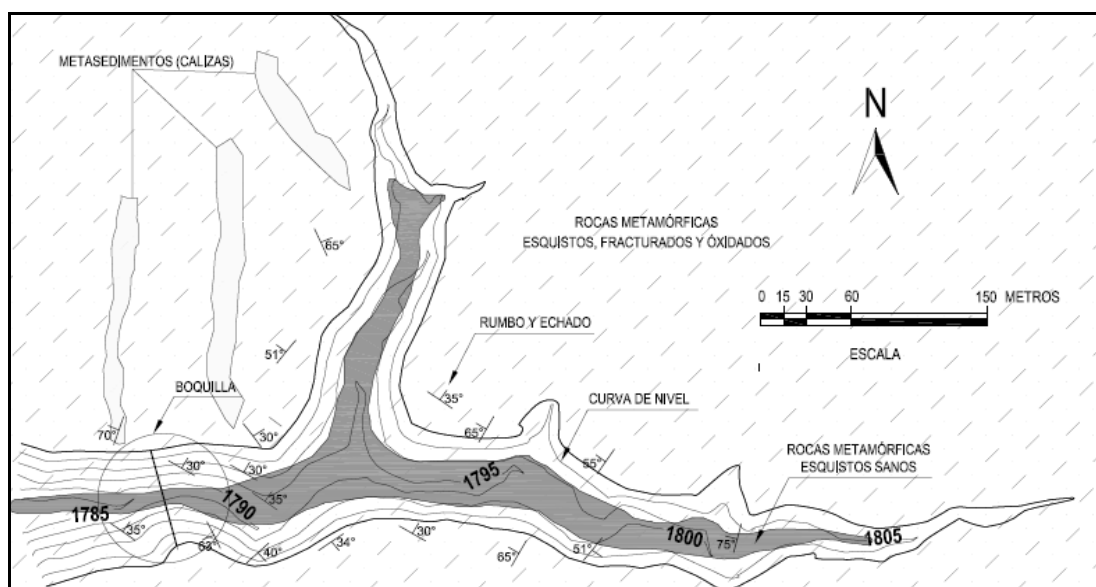


Figura 2. Topografía y geología de la boquilla y vaso de almacenamiento

Las estructuras que predominan en el área son esquistosidad y fracturamiento intenso de las rocas que afloran, la primera tiene direcciones predominantes S35°E y el otro sistema N36°W. El fracturamiento en ambos casos se comporta de una manera perpendicular a los planos de la esquistosidad. La unidad se encuentra más alterada y fracturada en la parte media y alta, observándose oxidación y fracturamiento intenso, así como vetillas de cuarzo de diferentes espesores. Estos tendrán poca implicación en el funcionamiento de la cortina debido a que serán removidos hasta llegar a la roca sana donde se desplantara la cortina. En las partes más profundas de la barranca afloran las rocas sanas, representadas por esquistos de color gris claro a café oscuro en superficie de intemperismo, y colores café oscuro a

claro en superficie fresca; contienen vetillas de cuarzo desde 2 cm hasta 10 cm de ancho.

El macizo de roca sana, tiene la propiedad de ser compacto e impermeable y no muestra fracturamiento, diaclasas o fallas; por lo cual, las pérdidas por infiltración serían mínimas. Con base en estas características, se consideró que geológicamente el sitio es favorable para almacenar agua. Sin embargo, se deberá llegar hasta la roca sana para cimentar la obra con el fin de que ésta funcione adecuadamente.

Cabe señalar que, para la selección del tipo de cortina y su diseño, deberán realizarse estudios geológicos (mecánica de rocas, permeabilidad, fracturamiento,

etc.) y topográficos más detallados que los obtenidos en este trabajo.

Estudios hidrológicos. El vaso de almacenamiento de una presa, sirve para almacenar el agua que escurre en exceso en las temporadas de lluvia para posteriormente usarla en las épocas de sequía cuando los escurrimientos son escasos. En este estudio, el volumen útil requerido para satisfacer la demanda de agua, se estimó con la simulación del funcionamiento del vaso mediante la expresión (1), con diferentes alturas de la presa.

$$V_{i+1} = V_i + Es_i - Dm_i - Ev_i - Ex_e \quad (1)$$

Donde:

V_{i+1} y V_i son los volúmenes almacenados en los meses $i+1$ e i respectivamente en el vaso de almacenamiento de la presa; Es_i , equivale a los escurrimientos generados en la cuenca; Dm_i , es el volumen extraído para satisfacer la demanda; Ev_i , es la cantidad de agua que se pierde por evaporación y, Ex_e , es el volumen de agua que sale por la obra de excedencias.

De acuerdo con Aparicio (1997), la simulación, es conveniente hacerla para toda su vida útil; sin embargo, en la cuenca de interés no existen registros de escurrimientos, por lo que, para su estimación se utilizó el método de los números de escurrimiento propuesto por el Soil Conservation Service dependiente del U.S. Department of Agriculture (Stewart et al., 1967). Este método se utilizó debido a su simplicidad, tanto en el uso como en la obtención de los datos físicos necesarios para su realización. Sin embargo de acuerdo con López (2001), este método tiene la desventaja de calcular para dos tormentas de igual altura de precipitación pero de diferente duración, la misma lluvia en exceso, por lo que puede subestimarse la respuesta de episodios de alta intensidad; además el método pierde precisión si el escurrimiento generado es menor a 12.7 mm. Por otro lado, la expresión (2) es más sensible al valor de N que a la altura de precipitación, debido a esto, la precisión del método radica principalmente en una adecuada clasificación del tipo de suelo y de la condición hidrológica de la cuenca.

En este método, se usaron tres variables para determinar el escurrimiento, la precipitación, la humedad antecedente y el complejo hidrológico suelo-vegetación. El escurrimiento o lluvia en exceso P_e , se estimó con la expresión (2).

$$P_e = \frac{\left(P \cdot \frac{5,080}{N} + 50.8 \right)^2}{P + \frac{20,320}{N} - 203.2} \quad (2)$$

Donde:

P_e es la lluvia en exceso en mm, P es la precipitación de la tormenta en mm y N es el número del complejo hidrológico de suelo-cobertura.

El valor de N , depende de la humedad antecedente contenida en el suelo para el instante dado en que se presenta la tormenta. La condición de humedad se seleccionó en función de la altura de lluvia acumulada cinco días, P_5 , antes de la tormenta en análisis según el siguiente criterio:

Condición de humedad	Período húmedo (mayo-octubre)	Período seco (noviembre-abril)
I	$P_5 < 12.5$	$P_5 < 35.5$
II	$12.5 \leq P_5 \leq 28$	$35.5 \leq P_5 \leq 53$
III	$P_5 > 28$	$P_5 > 53$

Para la condición de humedad II, N se obtuvo a partir del tipo de suelo y la condición hidrológica en la cuenca de estudio. Para las condiciones I y II, se corrigió el número de escurrimiento obtenido, de acuerdo las equivalencias dadas por el U.S. Soil Conservation Service.

Para evaluar P_e , se utilizaron las series de lluvia en 24 horas registradas en la estación climatológica "Santiago Chilixtlahuaca", ubicada a 18 km de la zona de estudio en dirección noreste. La estación fue seleccionada por estar ubicada en una zona con características climáticas y de vegetación similares a las de Santos Reyes Yucuná, y por tener una buena calidad y cantidad en los registros de lluvia y evaporación (con registros desde 1971 hasta 2006).

A cada registro de lluvia en 24 h se aplicó la ecuación (2) para obtener series diarias de lluvia efectiva. Los volúmenes de escurrimientos generados en la cuenca, se obtuvieron de multiplicar las series de lluvia efectiva por el área de la cuenca.

Previamente a la utilización de las series, para determinar que no existen temporalmente cambios abruptos en la cantidad de lluvia medida (inhomogeneidades), se aplicaron las pruebas estadísticas de Helmert y Cramer (Escalante y Chávez, 2002) a los datos anuales del periodo comprendido entre 1971 y 2006. Para descartar un cambio gradual en la lluvia (tendencia), asociado a

una variabilidad y cambio del clima en la región, se utilizó la pruebas de Mann-Kendall (Salmi *et al.*, 2002).

La demanda de agua se calculó en función de la población correspondiente a un periodo de diseño de 20 años y una dotación de 90 litros por habitante al día. Las salidas por evaporación se obtuvieron de multiplicar las láminas de evaporación mensuales registradas en la estación climatológica, por un factor

de corrección equivalente a 0.7 y el valor del área correspondiente al espejo de agua.

La avenida de diseño para la obra de excedencias, se estimó por el método del hidrograma triangular sintético propuesto por Mockus (1957), con una lluvia efectiva de 500 años de periodo de retorno. En la Figura 3 se describen los componentes del hidrograma triangular y las expresiones que se utilizaron para su cuantificación.

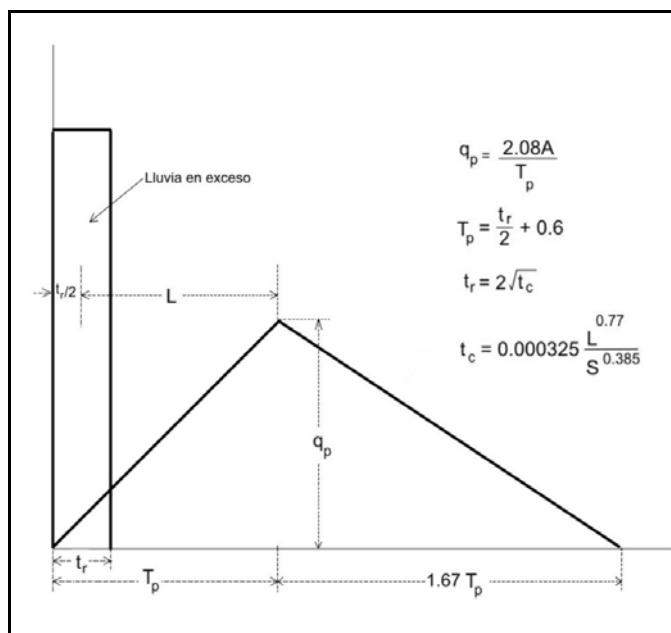


Figura 3. Componentes del hidrograma triangular sintético propuesto por Mokus (1957). q_p es el gasto pico por unidad de área de drenaje $m^3/s.km^2$, T_p es el tiempo tipo en h, t_r es la duración de la lluvia en exceso, t_c es el tiempo de concentración de la cuenca, A , es el área de la cuenca en km^2 , L , es la longitud del cauce principal y S , es la pendiente del cauce principal.

La obra de excedencias deberá tener la capacidad para desalojar el gasto pico de la avenida de diseño, por lo tanto las dimensiones de la sección de descarga se calcularon con la expresión (3), la cual es válida para un vertedor sin control tipo cimacio.

$$Q_p = 2.216LH^{1.5} \quad (3)$$

Donde: Q_p , es el gasto correspondiente a la avenida de diseño, L , es la longitud de la cresta del vertedor y, H , es la carga sobre la cresta del vertedor.

El volumen muerto, se estimó como la cantidad de azolves, CA , que llegarán al vaso, mediante la expresión (4).

$$CA = V_e \frac{t}{1000} \quad (4)$$

Donde: V_e , es el volumen de escurrimiento medio anual y, t , es el tiempo de vida útil de la obra.

Además de las actividades anteriormente descritas, se contemplaron una serie de medidas para evitar la acumulación de sedimentos en el vaso de almacenamiento y prolongar su vida útil. Con base en las condiciones de los suelos y la vegetación de la cuenca observadas en los recorridos de campo, se plantearon una serie de recomendaciones para disminuir la erosión de los suelos de la cuenca.

Estimación de los escurrimientos. Las pruebas de Helmert y Cramer, indicaron que la serie de datos anuales mostrada en la Figura 4, es homogénea; por otro lado, la prueba de Mann-Kendall para un nivel de significancia 0.1, resultó nula ante la existencia de una tendencia debida a causas climáticas. Dado que en los 35 años analizados, no se detectó algún cambio en el comportamiento de la lluvia, para fines de

diseño, se utilizaron las características históricas de esta variable para simular el funcionamiento del vaso. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que en el futuro pudiera ocurrir un cambio en el clima de la región. En caso de que hubiera una disminución en la cantidad de lluvia, se tendrían que tomar medidas para mitigar los efectos negativos de esta, tales como, disminuir la dotación de agua asignada a cada

habitante [la OMS (CONAGUA, 1994), recomienda una dotación mínima de 45 litros por habitantes al día para sistemas rurales].

Los datos utilizados para estimar la lluvia en exceso fueron los del periodo de 1971 a 1994, debido a que a partir de 1995 los registros diarios de lluvia y evaporación, presentan discontinuidades.

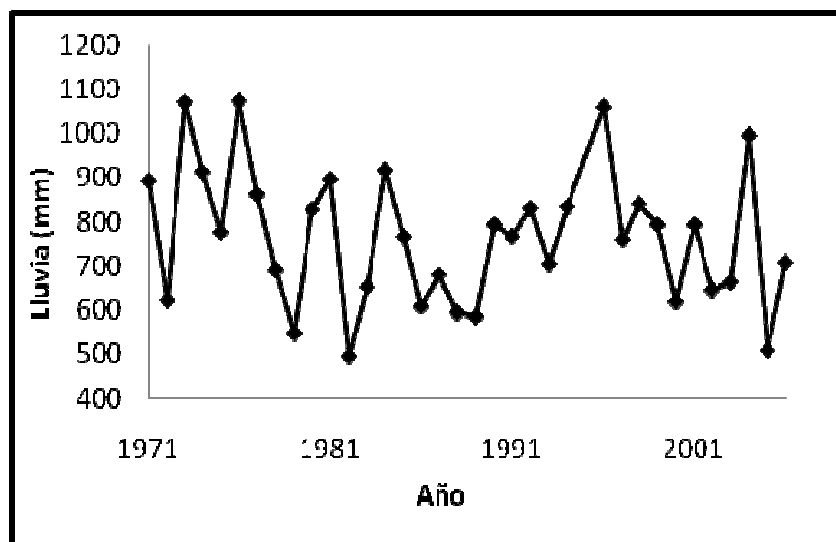


Figura 4. Lluvia anual acumulada registrada en “Santiago Chilixtlahuaca”, Oax.

Con respecto al complejo hidrológico suelo-vegetación se determinó que los suelos de la cuenca son poco profundos y presentan subhorizontes de roca sana (esquistos sanos), por lo que de acuerdo el Soil Conservation Service, estos se clasifican dentro del grupo D; mientras que la condición hidrológica de la cuenca corresponde a la de un bosque regular (con poco pastoreo y escaso mantillo). Con estas características el valor de *N* seleccionado para condiciones de humedad media, fue de 79.

A partir de la lluvia en exceso obtenida con la expresión (2), se obtuvieron los escurrimientos mensuales mostrados en la Figura 5. No obstante, es importante señalar que para validar estos escurrimientos, será necesario realizar mediciones directas del gasto en la barranca, por lo menos durante un año; solo de esta forma se podrá evaluar el nivel de confianza de los resultados obtenidos.

Salidas del vaso. La población actual de la cabecera municipal de Santos Reyes Yucuná y las localidades Cerro Limón, San José Buena Vista y San Francisco de las Flores, es de 1,034 habitantes. La población proyecta para 20 años fue de 1,540 habitantes; la cual demandará diariamente 138,600 litros, equivalente a 50,589 m³ al año. Dado la demanda se asumió como constante en todo el periodo de análisis, se espera que

en los primeros años de operación de la presa, estará sobre estimada.

Con respecto a las salidas por evaporación, el valor medio anual obtenido para la zona es de 2184 mm al año, esto representa un volumen de 2,280,862.2 m³ que se perderían en el vaso.

Cabe señalar que, en este estudio no se consideraron pérdidas por infiltración, debido a que la formación de esquistos sanos existentes, está consolidada y presenta una baja permeabilidad; por lo cual se espera que las pérdidas por infiltración en el vaso no sean significativas.

Avenida de diseño. Para un periodo de retorno de 500 años, el valor de la lluvia máxima obtenido fue de 135.3 mm, al que corresponde un valor de lluvia efectiva de 78.3 mm. Los valores obtenidos del hidrograma de la avenida de diseño y las características fisiográficas de la cuenca requeridas para su estimación son: área de la cuenca=1044,141.6 m², longitud del cauce principal=1.4 km, pendiente del cauce principal= 6.4%, tiempo de concentración= 0.25 h, tiempo pico= 0.6 h, tiempo base= 1.7 h y gasto pico= 93.0 m³/s.

Para que el vertedor desaloje el gasto pico, con base en la expresión (3) se propone que la longitud de la base vertedor y la carga máxima sean de 20 y 1.64 m respectivamente.

Características de los componentes de la presa.

Los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con diferentes alturas de la presa, permitieron determinar que, la demanda de la población de proyecto se satisface con una elevación del Nivel de Aguas Máximas de Operación (NAMO) de 16 m, a la cual corresponde un volumen útil del vaso de 131,688.1 m³ (Tabla 1). En la Figura 5, se muestra la variación temporal de las entradas y

salidas del vaso, así como del volumen almacenado en el mismo. Se aprecia que la capacidad del vaso se rebasó en 10 de los años simulados, presentándose derrames por el vertedor; mientras que en 1980, 1989 y 1994 los volúmenes almacenados fueron los más bajos, sin embargo, durante todo el periodo se logró satisfacer la demanda.

Los resultados obtenidos muestran que los escurrimientos generados en la cuenca satisfacen la demanda de la población de proyecto, por lo que se considera que el sitio propuesto para la construcción de la presa es hidrológicamente factible.

Tabla 1. Datos de técnicos y características sugeridas de los componentes de la presa

Escurrimiento medio anual	98,856.8 m ³
Vida útil	20.0 años
Población beneficiada	1,540 habitantes
Demanda de agua anual	50,589 m ³
Volumen muerto	1,977.1 m ³
Capacidad máxima del vaso	133,665.2 m ³
Volumen útil	131,688.1 m ³
Bordo libre	1.0 m
Avenida máxima	93.1 m ³ /s
Longitud de la cresta del vertedor	20.0 m
Carga máxima sobre el vertedor	1.1 m
Altura del NAMINO (Nivel de aguas mínimas de operación)	2.0 m
Altura del NAMO (Nivel de aguas máximas de operación)	16.0 m
Altura del NAME (Nivel de agua máximas extraordinarias)	17.1 m
Altura máxima de la corona	18.1 m

El NAMINO, es el nivel más bajo con el que puede operar la presa; el *volumen muerto*, es el volumen bajo el NAMINO del que no se puede disponer. El NAMO, es el máximo nivel con que puede operar la presa para satisfacer las demandas; el *volumen útil*, es el volumen almacenado entre el NAMO y el

NAMINO. El NAME, es el nivel más alto que debe alcanzar el agua en el vaso bajo cualquier condición. El espacio que queda entre el NAME y la máxima elevación de la cortina (corona) se denomina *bordo libre* y está destinado a contener el oleaje y la marea producidos por el viento.

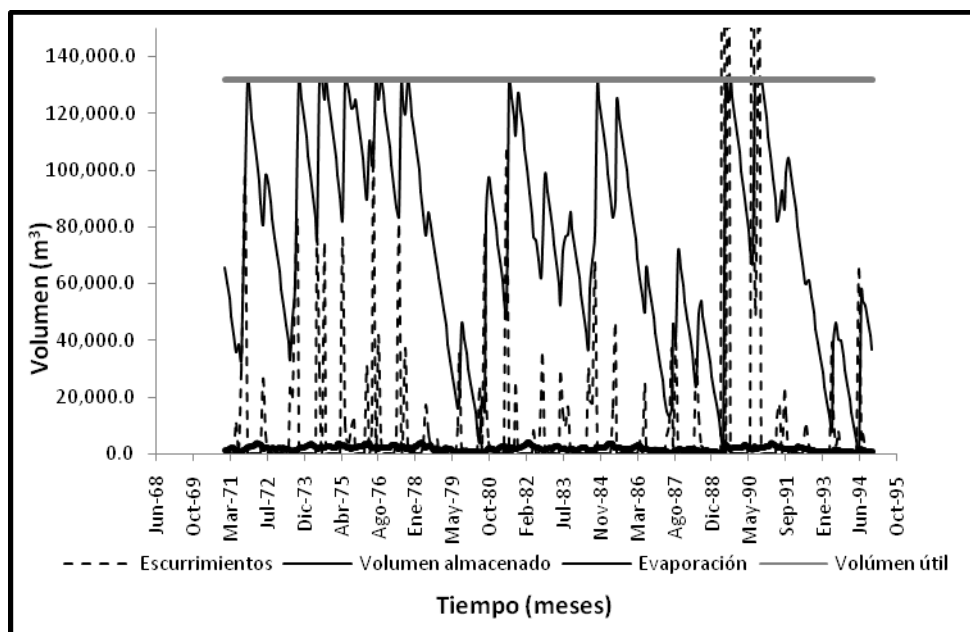


Figura 5. Simulación del funcionamiento de la presa, con una altura del NAMO de 16 m.

Restauración y conservación de los suelos de la cuenca. El suelo del municipio está formado en su mayoría por esquistos que en la superficie se encuentran alterados y oxidados, los cuales se desprenden y son arrastrados por el suelo con relativa facilidad. La cuenca tiene una extensión de 104 ha, cuya superficie deforestada es de aproximadamente el 50% con diferentes niveles de perturbación. Además existe una superficie considerable de terrenos abandonados por la agricultura y expuestos a un intenso proceso erosivo.

Para prolongar la vida útil de la presa, se recomiendan construir obras de retención de sedimentos aguas arriba de la misma (presas de gaviones, de piedra acomodada, etc.). Sin duda, con la implantación de este tipo de obras se espera reducir la llegada de sedimentos al vaso; sin embargo, la prioridad elemental en este proyecto será la restauración y conservación de la vegetación de cuenca para abatir la erosión de los suelos. De acuerdo con el Colegio de Posgraduados (1991), uno de los principios básicos para el control de la erosión y conservación del suelo en los terrenos forestales, es mantener en forma permanente la cubierta vegetal; la cual proporciona protección al suelo al disminuir la energía de las gotas de lluvia, aumentar la permeabilidad del suelo, reducir los escurrimientos superficiales y disminuir la velocidad del viento.

Si bien, las principales entradas a la presa serán los escurrimientos pluviales, la regeneración de la cubierta vegetal de la cuenca implicaría una disminución en los mismos; pero a su vez, se espera

que exista un aumento en el caudal base. De esta forma, se pretende regular la distribución de los escurrimientos a lo largo del año, esto es, disminuir la torrencialidad de los eventos durante la época de lluvias y prolongar la presencia de agua en la barranca durante la época de estiaje.

La vegetación a implantar deberá ser nativa, procurando la mayor diversidad posible como precursor de la estabilidad del ecosistema. Se recomienda en primera instancia la introducción de especies colonizadoras, para posteriormente establecer otras más exigentes o esperar a que se dé la sucesión vegetal de forma natural. Entre la vegetación de buena capacidad de adaptación o colonización a esta zona, están varias especies de *Pinus*, principalmente *Pinus teocote*, algunas leguminosas arbustivas como *Acacia pennatula* (espino blanco), *Acacia macrantha* (cubata) y otras especies de rápido crecimiento como la *Dodonaea viscosa* (jarilla de monte). La meta a largo plazo será el establecimiento de una vegetación clímax que solamente permita una erosión que iguale a la velocidad de formación del suelo y la implementación de prácticas agrícolas que minimicen los niveles de erosión. Este nivel de erosión es sumamente ambicioso pero no imposible, teniendo como garantía la prolongación de la vida útil de la presa, tanto como la resistencia de la cortina lo permita.

Para determinar la ubicación, tipo y cantidad de obras requeridas para la retención de sedimentos, así como para planificar las actividades de restauración de la cubierta vegetal en la cuenca, se deberán realizar una

serie de estudios que rebasan el objetivo de este trabajo, tales como, estimar la tasa sedimentos, calcular las pendientes de los terrenos y los cauces, identificar zonas prioritarias para su recuperación, entre otros.

Aunado a esto, deberá evaluarse con base en una clasificación de la capacidad del uso, si los terrenos agrícolas existentes son aptos para esta actividad, de no ser así deberá excluirse la cuenca a la agricultura. Esta actividad, se da en forma tradicional sin la utilización de agroquímicos, por lo que no representa un peligro de contaminación hacia la presa; sin embargo, muchos de los terrenos agrícolas tienen pendientes pronunciadas (35% de los suelos tienen entre 30 y 60% de pendiente) que favorecen el proceso erosivo.

Otro fenómeno que causa la paulatina degradación de la vegetación, es el ramoneo excesivo de ganado caprino. En la cuenca es común encontrar rebaños que pastorean sin control. Este tipo de ganado, debido a la forma su pezuña y hábitos alimenticios, degradan con facilidad los ecosistemas. Se recomienda regular el pastoreo de acuerdo una evaluación técnica de la capacidad de carga y deberá optarse por sustituirse estas especies por otras menos agresivas, como el ganado ovino, u optar por la estabulación o reducción de hatos.

CONCLUSIONES

En el fondo de la barranca afloran esquistos sanos, cuyas características geológicas evitan las pérdidas significativas por infiltración en el vaso, y favorecen el almacenamiento del agua; sin embargo, se deberá llegar hasta la roca sana para cimentar la obra para que esta funcione adecuadamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aparicio Mijares., F.J. (1997). Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México, D.F.

Colegio de Postgraduados (CP). (1991). Manual de conservación del suelo y del agua. Chapingo, Colegio de Postgraduados, México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (1994). Sistemas Rurales, manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, CNA, México.

CONAPO (Consejo Nacional de Población). (2000). Índices de desarrollo humano. CONAPO (en línea). Disponible en: <http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/desarrollo/003b.pdf> (verificado en diciembre de 2008), p. 67.

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación y de la política de Desarrollo Social). (2005) (en línea). Disponible en: http://www.coneval.gob.mx/contenido/info_public/662.pdf (verificado 3 de diciembre de 2008), p 7.

El análisis realizado de la simulación del funcionamiento de la presa con una elevación máxima de corona de 18.1 m, indica que la cantidad de escurrimientos que se genera en la cuenca de estudio, es suficiente para cubrir la demanda de agua para uso y consumo humano de al menos una población de 1,540 habitantes. Por tal razón, se considera que el sitio destinado para la construcción de la obra de captación de aguas pluviales es hidrológicamente factible.

Para evaluar el nivel de confianza de los escurrimientos estimados que entrarán al vaso, se deberán realizar mediciones directas en el cauce. Además para la selección del tipo de cortina y su diseño, se requerirán estudios topográficos y geológicos a detalle, del vaso de almacenamiento y la boquilla.

A pesar que la construcción de la presa, representa técnicamente una buena opción, se debe contemplar que esta es una obra de costo económico elevado y de mucha relevancia para el desarrollo del municipio; su implantación generalmente trae consecuencias sociales, económicas y políticas, y difícilmente podrán plantearse proyectos alternativos después de terminar su vida útil por acumulación de sedimentos. Debido a esto, se plantea realizar una serie de actividades y obras para evitar la erosión y controlar los sedimentos en la cuenca. Se pretende que estas medidas, sean el punto de partida para lograr un manejo integral de los recursos naturales en la cuenca. Esta posibilidad, quizá sea la única forma de asegurar que la presa propuesta sea una fuente de agua que perdure y permita mejorar la calidad de vida de los pobladores.

Escalante Sandoval, C.A. y Reyes Chávez, L. (2002). Técnicas estadísticas en hidrología. Universidad Autónoma de México, México, D.F.

Fries, Carl y Rincón-Orta, C. (1965). Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de Geocronometría. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 73, 53-133.

INEGI. (2005). II Censo Nacional de Población 2005 (en línea). Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/> (Verificado en julio de 2008).

López A., R. (2001). Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método del número de curva del Soil Conservation Service. Ciencia y Técnica, 66, 92-97.

Mockus, V. (1957). Use of storm and watersheds characteristics in synthetic hydrograph analysis and application. U.S. Dept. of Agriculture. Soil Conservation Service.

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2004). Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. Hechos y cifras (en línea). Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/factsfigures_2004_spa.pdf (Verificado el 2 de diciembre de 2008).

Ortega-Gutiérrez, F. (1978). Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista 2(2), 112-131.

Ortega-Gutiérrez, F. (1981). La evolución tectónica pre-Mississippica del sur de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista, 5 (2), p. 140-157.

Ortega-Gutierrez, F., Elias-Herrera, M., Reyes, S. M., Macias, R. C., and Lopez, R., (1999). Late Ordovician – Early Silurian continental collisional orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana – Laurentia connections. *Geology*, 27: p. 719-722.

Salas, G. P. (1949). Bosquejo geológico de la cuenca sedimentaria de Oaxaca. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol. 1(2), 87-162.

Salmi, T., A. Määttä, P. Anttila, T. Ruoho-Airola, and T. Amnell. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the excel template application MAKESENS. Finnish Meteorological Institute Report No. 31. Helsinki, Finland.

Stewart, L.V., Floyd, E.D. (1967). Diseño de presas pequeñas, United States Department of Interior, Bureau of Reclamation. Traducido por J. L. Lepe. Segunda edición. Continental, México, D.F.

Este documento se debe citar como:

Álvarez-Olguín, G., Gómez-Anguiano, M. y Pedro-Santos, E. (2009). **Factibilidad técnica del uso de agua de lluvia en el Municipio de Santos Reyes Yucuná, Oaxaca**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-2, pp. 57-67, ISSN: 1665-529X.