



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

REVISIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN
HISTÓRICA DE LAS PRESAS DEL SISTEMA
DEL RÍO CUTZAMALA

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA

PRESENTA:

ING. GERARDO ACUÑA SOTO

DIRECTOR DE TESINA: DR. RAMÓN DOMINGUEZ MORA
DRA. MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ

MÉXICO, D.F.

MAYO 2014

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo representa el esfuerzo y tiempo que por años mis padres me han otorgado, es por esto que quiero dedicarles esta tesina; a mi mamá que siempre me ha cobijado con sus dulces y sabias palabras, a mi papá que siempre me ha orientado con su buen ejemplo y su gran bondad, a Gil y a Adriana mis queridos hermanos que siempre han estado conmigo en todo momento, gracias bolas. Todo ello sin antes agradecerle a Dios por darnos mucha salud y brindarnos estas oportunidades y estos momentos.

Quiero agradecer al Instituto de Ingeniería que me apoyo con los recursos y facilidades para el desarrollo de este trabajo, al Dr. Ramón por instruirme de gran manera y a la Dra. Maritza por apoyarme con ideas y soluciones. A mis maestros Adriana Cafaggi, Julio Acosta y Jorge Caballero, por tomarse la molestia de revisar esta tesina y ser parte de mi jurado. En general quiero agradecer a todos aquellos que fueron mis maestros y me dieron esta formación de ingeniero, quiero hacer una mención al Dr. Humberto Gardea ya que él me impregno su buen gusto por la hidráulica.

A Gaby por quedarse siempre hasta el final aquí a mi lado poniendo siempre el corazón por delante y por creer en mí.

A mis amigos: Alejandro por el apoyo siempre incondicional y fiel, a Jesús por demostrarme que la perseverancia es la clave del éxito, a Miguel por enseñarme a ser centrado y con los pies en la tierra, a Mary, Adriana K., Minerva, Noé, Diana y Damían por el apoyo y la unión que nos caracteriza aunque no estemos cerca. Laura F. muchas gracias, Lizbeth por estar siempre. A Luis B., Luis C., Alonso, Guadalupe, Rafael, Guillermo, Juliana, por ser siempre colegas, a Ariadne, Marcela, Carol y a todo el cubo 322 por todo el apoyo, gracias amigos.

Gracias a todos de verdad.

Contenido

REVISIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN HISTÓRICA DE LAS PRESAS DEL SISTEMA DEL RÍO CUTZAMALA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
Hipótesis.....	3
Objetivos	5
INTRODUCCIÓN	6
1. ANTECEDENTES	9
1.1 El Agua Potable en el Valle de México	9
1.2 El Sistema Cutzamala	11
2. METODOLOGÍA.....	20
2.1 Funcionamiento de los Vasos del Sistema	20
2.2 Datos Considerados.....	27
2.3 Algoritmo Genético	38
2.4 Función Objetivo	40
3. APLICACIÓN Y RESULTADOS.....	50
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
5. REFERENCIAS.....	70
6. ANEXOS	71
ANEXO A.....	71
ANEXO B.....	75
ANEXO C.....	76
Contenido de Figuras	100
Contenido de Tablas.....	101

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua ha sido un tema crítico para la sustentabilidad de la Ciudad de México. El incremento en la demanda de agua ha impactado de manera negativa y creciente en el balance de las cuencas y acuíferos locales y vecinos, generando daños económicos y ambientales que ya se muestran dramáticos. Las tradicionales prácticas de importación de agua para satisfacer la demanda urbana aunada al déficit regional, ha llevado a conflictos sociales y políticos en torno a la distribución y gestión del recurso agua. Los problemas de abastecimiento a la Ciudad de México van más allá de sus fuentes e incluyen un complejo sistema de captación y conducción que enfrenta fuertes limitaciones. El envejecimiento de la infraestructura, los costos de operación, la falta de inversión en mantenimiento y rehabilitación, así como el deterioro de las fuentes de agua en cantidad y calidad, ha llevado al sistema de abastecimiento al límite de la operatividad física y económica.

El Sistema Cutzamala aporta agua en bloque a la Ciudad de Toluca y a 21 delegaciones y municipios de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, beneficiando a 4.11 millones de habitantes. Cabe mencionar que la entrega de agua no es constante durante el año, sino muestra variaciones significativas en tiempos de lluvia y sequía respectivamente. Esto debido a la alta sensibilidad al régimen de precipitación del sistema de abastecimiento de agua superficial.

Las principales problemáticas en la entrega de agua a la Zona Conurbada de la Ciudad de México, son:

- i) Variaciones en la precipitación y almacenamiento de las presas
- ii) Problemas de funcionamiento en uno o más componentes del sistema

- iii) Fugas en el sistema de distribución
- iv) Extracciones clandestinas desde las conducciones
- v) Cambios en la demanda

En un sistema tan complejo, incluso la suma de dos o más de estos factores puede llevar a una reducción temporal en la entrega de agua potable.

En la Tabla 1 se muestra el reparto de agua en bloque del periodo de 1991 a 2006, que entrega el Sistema Cutzamala a la Zona Conurbada de la Ciudad de México, se logra distinguir que para el Distrito Federal se distribuye un 67% aproximadamente, y la diferencia (33%) para el Estado de México.

Tabla 1 Volumen de entrega histórico del Sistema Cutzamala

AÑO	DISTRITO FEDERAL	ESTADO DE MÉXICO	VOLUMEN TOTAL
	(Hm ³ /año)	(Hm ³ /año)	(Hm ³ /año)
1991	238.9	78.1	317
1992	224.9	89.7	314.6
1993	251.8	90.4	342.2
1994	304.3	106.3	410.6
1995	309.1	121.4	430.5
1996	305.6	145.6	451.2
1997	320.7	159.2	479.9
1998	313.1	141.6	454.7
1999	319.3	159.4	478.7
2000	306.7	176.5	483.2
2001	303.1	173.3	476.4
2002	303.6	176	479.6
2003	310.7	185.2	495.9
2004	310.7	177.7	488.4
2005	310.4	182.8	493.2
2006	303.5	177.3	480.8

Fuente: Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, CONAGUA, 2007

Frente al contexto de cambio climático, los efectos negativos en las fuentes de abastecimiento de la Ciudad de México pueden verse agravados. La respuesta a la pregunta ¿En qué grado aumenta la vulnerabilidad en la disponibilidad de las fuentes frente a los diferentes escenarios de cambio climático? es esencial para la toma de medidas preventivas de adaptación.

La alta vulnerabilidad del Sistema Cutzamala, influye en:

- i) La reducción en la disponibilidad de agua teniendo en cuenta que los sistemas superficiales responden rápidamente a los efectos de la alta degradación en las áreas de captación y variaciones de los parámetros climáticos.
- ii) La falta de inversión en mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura por largos períodos.
- iii) Los conflictos por demandas sociales que genera este sistema de abastecimiento.
- iv) Los elevados costos de operación en relación al volumen aportado.

El Sistema Cutzamala es la obra de abastecimiento de agua superficial más importante de México, está formado por tres presas de almacenamiento: Villa Victoria, Valle de Bravo y El Bosque y cuatro presas de derivación: Tuxpan, Ixtapan del Oro, Colorines y Chilesdo. El sistema cuenta con un caudal de diseño de 19 m³/s de suministro de agua potable de la Zona Metropolitana de los Valles de México y Toluca.

La operación del sistema es compleja ya que se deben conciliar distintos objetivos, por un lado extraer el mayor recurso posible de los embalses pero sin llegar a condiciones de déficit y evitar, por otro lado, los posibles derrames en las presas que componen dicho sistema.

Hipótesis

Con la revisión del funcionamiento histórico del sistema se pretenden investigar posibles deficiencias en las políticas de operación que podrían ser superadas para lograr una mejor entrega del recurso agua hacia su destino final la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El Sistema del Río Cutzamala entrega agua al Valle de México y Zonas Conurbadas con una eficiencia estimada del orden del 60%, el caudal que no se logra entregar se atribuye a las fugas que existen en las conducciones y particularmente en la distribución; parte del problema puede deberse a las políticas de operación de las presas del sistema, si dichas políticas se modificaran, podría mejorarse el funcionamiento del conjunto y obtener así mejores extracciones, evitando tener déficit o disminuirlos lo máximo posible, procurando además que se presenten derrames en dichas presas. Para lograr esto, se realizará una revisión del funcionamiento histórico y de esta manera detectar las deficiencias en las políticas de operación, posteriormente dar una posible propuesta que pueda optimizar el Sistema. En la Figura 1 se muestra el trasvase de

cuenca generado por la conducción del Sistema Cutzamala, donde la Cuenca del Río Cutzamala se encuentra a la izquierda y a la derecha está la cuenca del Valle de México.

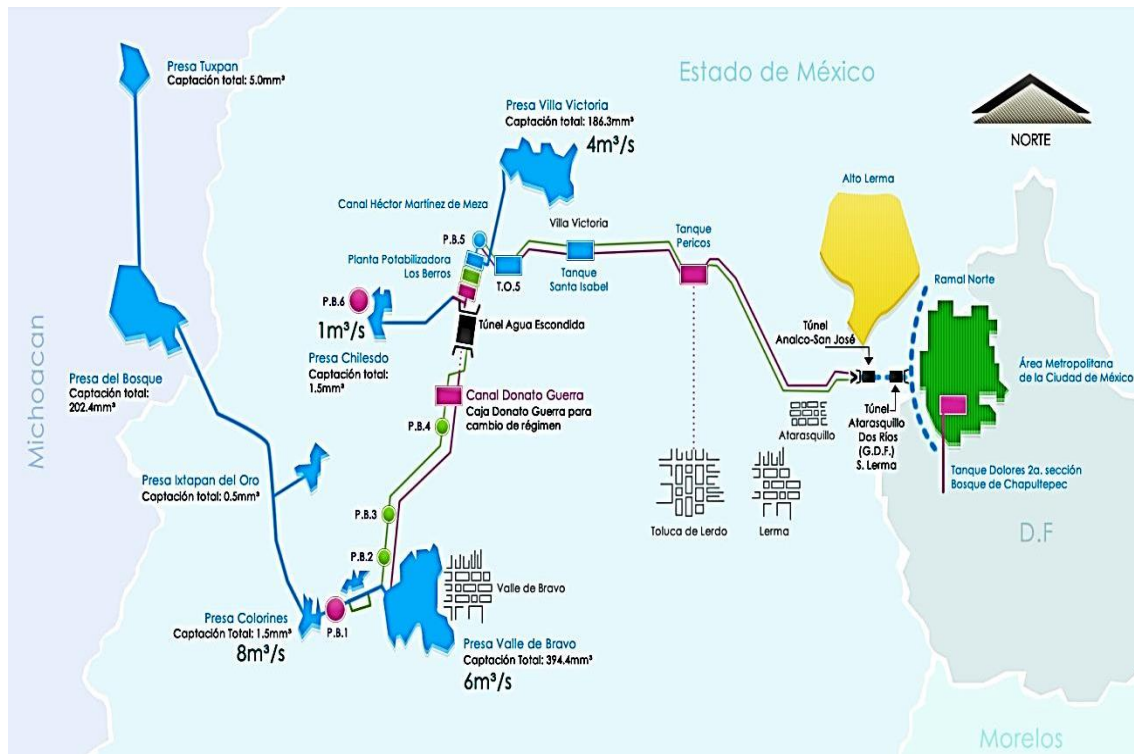


Figura 1 Croquis del Sistema Cutzamala (Fuente CONAGUA 2005 agua.org.mx)

Es muy importante señalar que tanto en el análisis histórico como el que se calculará en esta tesis, se supone un comportamiento en paralelo, es decir que las principales presas en cuestión, a conocerse como El Bosque, Valle de Bravo y Villa Victoria; captaran sus ingresos como cuencas propias y sus salidas o extracciones llegaran directamente a la Planta Potabilizadora Los Berros (la presa El Bosque trasvasa cierto volumen de agua a la presa de Valle de Bravo, pero para el caso de este estudio se considerarán independientes debido a que no se conoce con exactitud el volumen aportado).

Como se muestra en la anterior Figura 1 el comportamiento real del sistema es un trasvase de subcuencas, trabajando realmente en “cascada” dicho de otra manera como un circuito en serie, donde las presas derivadoras aportan un caudal a las presas de almacenamiento, y después de pasar por cinco bombeos se llega a la planta potabilizadora; por otro lado la única presa que si descarga directamente a Los Berros es Villa Victoria que se encuentra al norte del Sistema.

Debido a que no se cuenta con los datos de las cuatro presas derivadoras Tuxpan, Ixtapan del Oro, Colorines y Chilesdo, éstas serán despreciadas en los cálculos,

considerando por consiguiente que las tres presas principales se encargaran de llevar el cien por ciento del volumen suministrado a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Otra hipótesis considerada en el funcionamiento de vaso, consistió en suponer una extracción mensual constante a 1/12 para las tres presas, esto se deberá corregir cuando se cuenten con los datos de las curvas de precipitación anual de las cuencas de estudio. Además de conocer diversos factores que influyen en el nivel del agua de cada embalse por ejemplo la vida comercial en el vaso de Valle de Bravo.

Objetivos

Los objetivos que se pretenden cubrir en el desarrollo de esta tesis son los siguientes:

- A partir de la revisión del funcionamiento histórico, detectar deficiencias en las políticas de operación y dar una posible propuesta de política que podría disminuir dichas deficiencias.
- Enmarcar dentro de la ingeniería Hidráulica, los problemas de operación de un sistema de aprovechamiento hidráulico, en este caso se tratará un sistema hidráulico de tres presas en paralelo
- Describir el procedimiento para obtener las políticas de operación óptima
- Desarrollar e implementar la herramienta de computo indispensable para abordar y resolver problemas del tipo mencionado

Cumpliendo con estos objetivos, los resultados obtenidos pueden ser aplicados al caso práctico real de extracción de agua potable del Sistema Cutzamala.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural renovable esencial para el consumo humano, siempre ha tenido un gran valor debido a la estrecha relación que guarda con los procesos vitales y con el desarrollo de cualquier actividad humana.

El abastecimiento de agua se reconoce como uno de los principales retos que determinará la sustentabilidad de la Ciudad de México. Actualmente se muestran señales evidentes de degradación, falta de inversión, y reducción en la capacidad del sistema, los efectos del cambio climático requieren ser evaluados para determinar su impacto y promover las estrategias que permitan enfrentar el reto.

Las fuentes de abastecimiento son entendidas como el conjunto formado por las áreas de captación y la infraestructura, hasta el punto de entrega. El área de captación corresponde a las (sub) cuencas hidrológicas, es el caso de las fuentes superficiales y a acuíferos en el caso de agua subterránea; mientras que la infraestructura se compone de presas, pozos, líneas de conducción, plantas de bombeo, etc. Se realizó un diagnóstico de los problemas actuales de las fuentes de abastecimiento de agua, el cual incluyó factores infraestructurales, socio-administrativos, y el análisis del estado ambiental de las áreas de captación. (Escolero, 2009 [1]). Se observó que en los últimos años existe una disminución gradual en aportación al abastecimiento, que se relaciona básicamente con dos aspectos: infraestructura y degradación en las áreas de captación. La infraestructura muestra limitaciones, por ejemplo, por edad y falta de mantenimiento, el azolve en las presas del Sistema Cutzamala o la densidad y problemas de diseño y construcción en los pozos del sistema.

El Sistema Cutzamala es el conjunto de obras de infraestructura hidráulica que se encarga de dotar a la Ciudad de México de agua potable desde 1982. Dicho sistema se compone principalmente de 7 presas: Tuxpan, El Bosque, Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Villa Victoria y Chilesdo. El sistema fue implementado en diversas etapas y en distintos años a partir de 1982. Cada etapa obedeció al incremento de la demanda de parte de la población que habita en la Ciudad de México y su zona conurbada. Actualmente, este conjunto de obras proporciona en promedio 14,700 litros por segundo a la Zona Metropolitana, a partir del trabajo hidráulico de bombas, plantas potabilizadoras, túneles, canales y plantas eléctricas. (INE, 2009 [2]).

En la década de los setentas la Ingeniería Mexicana inició uno de los más ambiciosos proyectos de abastecimiento de agua potable, no sólo en México sino en el mundo; en 1976 la entonces Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM), realizó estudios de diversas cuencas hidrológicas y determinó que la del río Cutzamala ofrecía las mejores condiciones en cuanto a la calidad de agua y caudales excedentes, solo requerían un cambio de uso, de generación de energía eléctrica a suministro de agua potable, por ello se decidió aprovechar las aguas provenientes de las presas El Bosque y Tuxpan en Michoacán e Ixtapa del Oro, Villa Victoria, Colorines y Valle de Bravo en el Estado de México que anteriormente formaban parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, además se construyó la presa Chilesdo para aprovechar las aguas de la parte alta del río Malacatepec. (CONAGUA-04, 2012 [3]).

En la Tabla 2 aparecen las Delegaciones y Municipios del Estado de México que reciben agua procedente del Sistema Cutzamala, se indica además el suministro al Acuaférico o también llamado Ramal Sur que es 9 m³/s, mientras que al Ramal Norte o Macrocircuito se le entregan 5.770 m³/s.

Tabla 2 Delegaciones y municipios que reciben agua procedente del Sistema Cutzamala

Distrito Federal (Acuaférico)	Estado de México (Macrocircuito)
Álvaro Obregón	Atizapán de Zaragoza
Azcapotzalco	Coacalco
Benito Juárez	Cuautitlán Izcalli
Coyoacán	Ecatepec
Cuajimalpa	Huixquilucan
Cuauhtémoc	Naucalpan
Iztacalco	Nezahualcóyotl
Iztapalapa	Nicolás Romero
Magdalena Contreras	Tlalnepantla
Miguel Hidalgo	Toluca
9.00 m³/s	5.77m³/s

Fuente: CONAGUA, Estadísticas del Agua

La cuenca hidrológica Río Cutzamala integra la Región Hidrológica 18 Balsas, siendo uno de los principales afluentes del río del mismo nombre. La superficie de aportación es de 10,619.14 Km² y se encuentra delimitada al norte por la región hidrológica 12 Lerma-Santiago, al sur por la cuenca hidrológica Río Medio Balsas, al este por la cuenca hidrológica Río Amacuzac, y al oeste por la cuenca hidrológica Río Tacámbaro.

El deterioro de las subcuencas que conforman el sistema Cutzamala puede alterar la capacidad proveedora de agua para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Las causas obedecen al bajo nivel de almacenamiento que han alcanzado sus presas, debido a procesos de azolvamiento, además de factores meteorológicos y fugas en la infraestructura, perdiéndose así gran parte de capacidad en su almacenamiento; el mejor ejemplo es la presa de Villa Victoria, que alcanzó su nivel histórico más bajo de un 26% de almacenamiento, lo cual obligó a suspenderla como provisora de agua del sistema.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México es una de las más pobladas del mundo, cuenta con 20 millones de habitantes (2010). El suministro de agua per cápita en la Ciudad de México es de unos 364 litros al día en la Ciudad de México y cerca de 230 litros al día en el Estado de México, lo cual representaría un consumo medio diario de 297 litros al día en la ZMCM en su conjunto. Sin embargo, la cantidad real recibida por cada uno de los habitantes es considerablemente menor, ya que este promedio incluye uso del agua por las industrias y los servicios, de las fugas de más del 40%, usos no autorizados, y las diferencias en las pautas de distribución (tandeos) de las distintas zonas del área metropolitana. (Tortajada (2003) [4]).

Aparentemente, no existe intención de incrementar el volumen que se extrae de las subcuencas que actualmente conforman el Sistema Cutzamala. Sin embargo, el crecimiento en la región de aporte podría demandar más agua y con ello exigir una menor extracción para abastecer al sistema. Los estudios indican que si las fugas en el sistema de distribución dentro de la ZMCM se repararan, no habría necesidad de construir una cuarta etapa del proyecto. Esto significa que el suministro de agua adicional no sería necesario. Sin embargo, en la actualidad, la eficacia en la planificación y gestión es básicamente ausente en México. (Tortajada (1999) [5]).

Actualmente se estima que el suministro a la Zona Metropolitana para uso urbano, es un caudal medio de 59.9 m³/s dividido entre diversas fuentes, como se muestra en la Tabla 3. El Organismo de Cuencas de Agua del Valle de México (OCAVM) entrega un promedio de 22.3 m³/s de agua en bloque, que cubren las necesidades de 7.1 millones de habitantes considerando una dotación diaria de 270 l/hab/día

Tabla 3 Disponibilidad del agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

Infraestructura	Suministro (m ³ /s)	% De Aporte
Acuífero en ZMCM	39.00	65%
Sistema Cutzamala	14.70	25%
Sistema Lerma	4.80	8%
Madín y manantiales	1.40	2%

Fuente: CONAGUA, Estadísticas del Agua

1. ANTECEDENTES

1.1 El Agua Potable en el Valle de México

La Cuenca del Valle de México se encuentra situada en el extremo sur del altiplano mexicano, se limita al Norte por las Sierras de Tepetzotlán, Tezontlalpa y Pachuca; al Este por los Llanos de Apan y la Sierra Nevada; al Sur por las Sierras de Chichinautzin y del Ajusco y al Oeste por las Sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo. Tiene aproximadamente 9,600 kilómetros cuadrados de superficie, de la cual solamente el 30% es plana y situada a una altura media de 2,240 metros sobre el nivel del mar.

Esta cuenca la conforman en un 13.75% el Distrito Federal; el Estado de México en un 50%, el Estado de Hidalgo 26.46%; el Estado de Tlaxcala 8.75% y el Estado de Puebla el 1.04% restante.

Dentro del Valle de México se localiza una de las concentraciones urbano-industrial más grandes del mundo: El área Metropolitana de la Ciudad de México, la que en las últimas tres décadas triplicó su población. En la Figura 2 se muestra la Cuenca del Valle de México, indicando los lagos pertenecientes a esta cuenca, la división estatal y la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.



Figura 2 Cuenca Del Valle de México

El abastecimiento de agua potable representa una de las prioridades más importantes de la actualidad, a fin de atender, por una parte las nuevas demandas y por otra, reducir gradualmente la severa sobreexplotación a que se ha sometido el acuífero del Valle de México.

Es importante destacar que el Área Metropolitana de la Ciudad de México no cuenta con sitios adecuados para regularizar y almacenar el agua de lluvia, por estar asentada en la parte más baja del Valle, situación que propicia que la lluvia media anual de 7,000 millones de metros cúbicos que se precipitan dentro de la cuenca en solo cuatro meses del año, el 80% se evapotranspire, el 11% se infiltre en el subsuelo y del 9% restante que escurre superficialmente, una pequeña parte sea regulada para su aprovechamiento y el resto se conduzca al sistema General de Drenaje para evitar inundaciones. (CNA-SEMARNAT, 2005 [6]).

En 1997, para el Área Metropolitana de la Ciudad de México, se dispone de un abastecimiento de agua potable de 65,000 litros por segundo en promedio, de los cuales

43,400 litros por segundo, provienen del subsuelo del Valle de México, 14,500 litros por segundo del Sistema Cutzamala que atiende también parte del suministro a la Ciudad de Toluca, 5,900 litros por segundo del Sistema Lerma y 1,200 litros por segundo de aprovechamientos superficiales mediante la presa Madín y manantiales dentro del propio Valle. (CNA-SEMARNAT, 2005 [6])

1.2 El Sistema Cutzamala

En las décadas pasadas el hundimiento del suelo lacustre de la Ciudad de México se incrementó notablemente debido a la excesiva extracción de aguas subterráneas por medio de pozos, situación por la cual a principios de los cincuenta se puso en operación el Sistema Lerma, que llegó a aportar en los setentas hasta 13,700 litros por segundo de agua potable al Área Metropolitana de la Ciudad de México, y para no continuar incrementando la sobreexplotación de los Valles de México y Toluca-Ixtlahuaca, se hizo necesario captar el agua de cuencas externas diferentes a la del Alto Lerma, la que por esas fechas, ya presentaba signos de sobreexplotación. (CNA-SEMARNAT, 2005 [6]).

El Sistema Cutzamala aprovecha las aguas de la cuenca alta del río Cutzamala, provenientes de las presas Tuxpan y El Bosque, en el Estado de Michoacán; Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo y Villa Victoria en el Estado de México, que anteriormente formaban parte del sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, así como de la presa Chilesdo, que fue necesario construir para aprovechar las aguas del río Malacatepec. La Figura 3 ilustra el Sistema de Presas del Río Cutzamala mostrando las conducciones desde la Presa Tuxpan y Villa Victoria hasta llegar al túnel Atarasquillo que posteriormente entrega al Tanque Dolores, y este es el que hace entrega a la distribución.

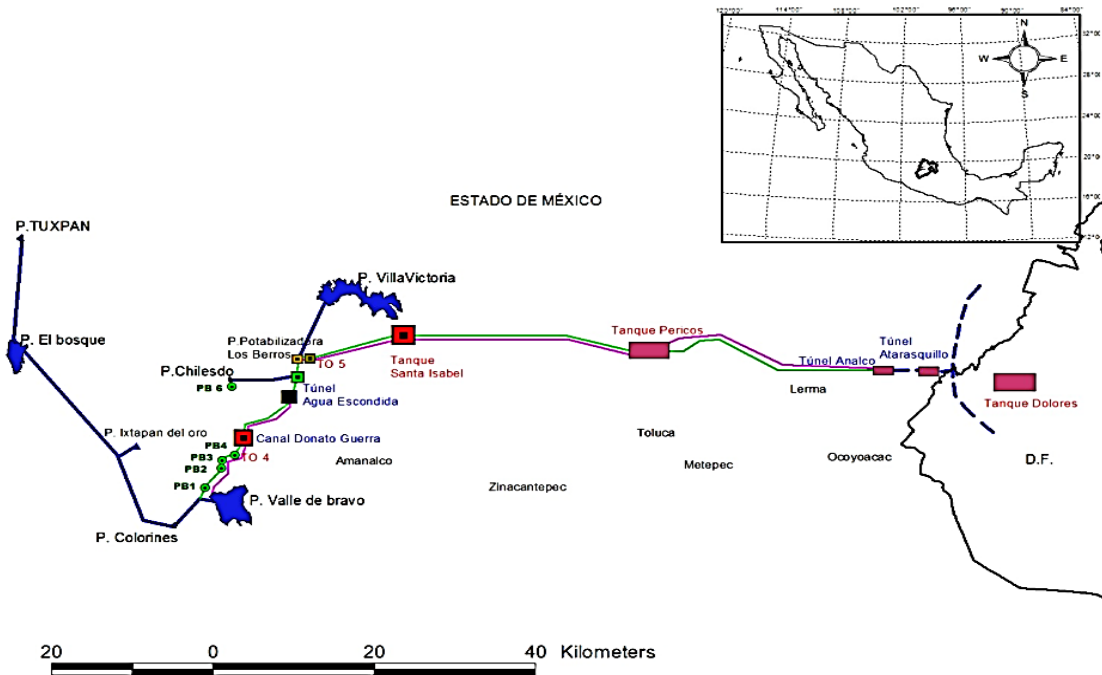


Figura 3 Sistema de Presas del Río Cutzamala

El sistema ha sido diseñado, construido y operado por el Gobierno Federal. Consistió de tres etapas, iniciando en 1982 con el aprovechamiento de la Presa Villa Victoria que aportó $4 \text{ m}^3/\text{s}$. En esta etapa se construyó la obra complementaria para la operación que consistió en plantas de bombeo, subestaciones eléctricas, canales, torre de oscilación y la planta potabilizadora Los Berros, entre las más importantes.

La segunda etapa se concluyó en 1985 e incluyó el aprovechamiento de la presa Valle de Bravo la que aportó un caudal de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ al sistema. La obra complementaria incluyó la construcción de plantas de bombeo, líneas de conducción, túneles, torres de oscilación y sumergencia, subestaciones eléctricas y se amplió la capacidad de la planta potabilizadora Los Berros.

La tercera etapa se puso en funcionamiento en 1993 e integró los subsistemas Chilesdo y Colorines para sumar un aprovechamiento de $9 \text{ m}^3/\text{s}$. El subsistema Chilesdo se encuentra en operación desde 1993 aportando $1 \text{ m}^3/\text{s}$ en promedio y $5 \text{ m}^3/\text{s}$ en época de avenidas (Conagua, 2007). La Presa Chilesdo capta el escurrimiento del río Malacatepec, evitando que escurran hasta la presa Colorines. Esto reduce el costo de operación, debido a que la carga de bombeo desde la presa Colorines a la planta potabilizadora es de 980 metros, en tanto desde la presa Chilesdo a la planta es de 275 metros. Las obras complementarias para el funcionamiento de este subsistema incluyeron la construcción de plantas de bombeo, conducción y torres de sumergencia y oscilación. El subsistema Colorines aprovecha las aguas de las presas Tuxpan y El Bosque, en el Estado de Michoacán e Ixtapan del Oro en el Estado de México, mediante

su captación en la presa derivadora Colorines para un suministro promedio de 8 m³/s. Las obras complementarias incluyeron planta de bombeo, torres de sumergencia y oscilación, subestación eléctrica, conducciones y se amplió la capacidad de la planta potabilizadora Los Berros a 24 m³/s. (CONAGUA-04, 2012 [3]).

Las tres etapas del sistema originalmente fueron diseñadas para importar al Valle de México un caudal máximo de 19 m³/s (599 Hm³/año), sin embargo, el sistema se ha estabilizado en 16 m³/s (505 Hm³/año). Los números para el volumen actual varían, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México reporta una entrega de 6.73 m³/s (1993-2007) al Distrito Federal, el Organismo de Cuenca Agua del Valle de México un volumen de 9.6 m³/s. (Estas diferencias podrían indicar el volumen entre extracción y entrega, reflejando las fugas en la conducción). El volumen entregado al Estado de México es de alrededor de 6 m³/s. (Escolero, 2009 [1]).

En la Tabla 4 aparecen las principales características de la infraestructura que compone el Sistema Cutzamala como su tipo de presa, su capacidad y la elevación a la que se encuentran a nivel del mar.

Tabla 4 Características de los elementos que componen el Sistema Cutzamala

ELEMENTO	TIPO	CAPACIDAD	ELEVACIÓN (msnm)
Tuxpan	Presa Derivadora	5 Hm ³	1,751
El Bosque	Presa de Almacenamiento	202 Hm ³	1,741
Ixtapan del Oro	Presa Derivadora	0.50 Hm ³	1,650
Colorines	Presa Derivadora	1.50 Hm ³	1,629
Valle de Bravo	Presa de almacenamiento	394 Hm ³	1,768
Villa Victoria	Presa de Almacenamiento	186 Hm ³	2,545
Chilesdo	Presa Derivadora	1.50 Hm ³	2,396
Planta de bombeo 1	Bombas	20 m ³ /s	1,600
Planta de bombeo 2	Bombas	24 m ³ /s	1,722
Planta de bombeo 3	Bombas	24 m ³ /s	1,833
Planta de bombeo 4	Bombas	24 m ³ /s	2,178
Planta de bombeo 5	Bombas	24 m ³ /s	2,497
Planta de bombeo 6	Bombas	5 m ³ /s	2,324

Fuente: CONAGUA, Estadísticas del Agua

A continuación se presenta el esquema del perfil de bombeo, Figura 4, donde se muestran las elevaciones de cada una de los componentes mencionados en la tabla anterior. Se puede identificar que la Presa Colorines tiene la menor elevación y la conducción pasa por 5 bombas en serie, la sexta bomba va de la presa Chilesdo a la planta potabilizadora y la presa Villa Victoria prácticamente descarga por gravedad a Los Berros. Cuando el sistema de bombeo libra la elevación más alta que viene siendo la Torre de Oscilación 5, la entrega a la Zona Metropolitana del Valle de México es por gravedad.

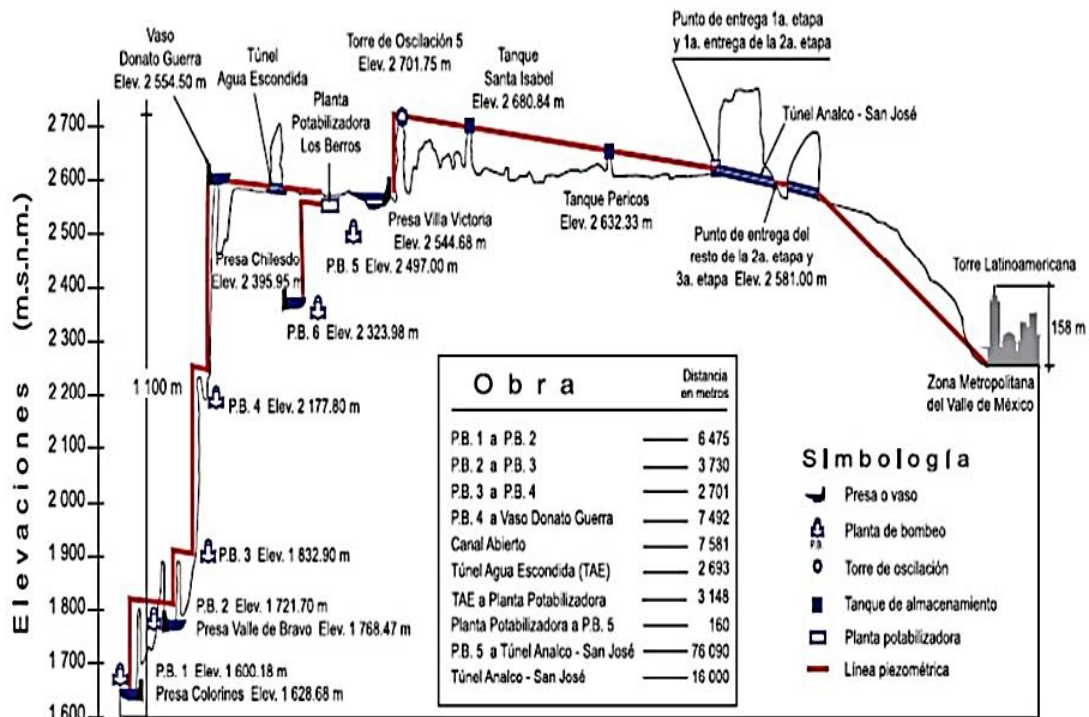


Figura 4 Perfil de elevaciones

El sistema está integrado por siete presas (tres de almacenamiento y cuatro derivadoras), que almacenan agua del río Cutzamala. Además lo integran seis macro-plantas de bombeo que en conjunto vencen un desnivel de más de 1,100 metros, un acueducto de 205.7 km con tubería de acero y concreto con diámetros entre 1.07 y 3.50 metros, 43.99 km de túnel, 72.55 km de canal abierto, y la planta potabilizadora Los Berros que consta de 5 módulos de 4,000 l/s cada uno (Conagua, 2007). En la Figura 5 se puede ver el desnivel que debe librar el sistema de bombeo, que existe entre el punto más bajo, Planta de Bombeo 1, hasta el tanque de Oscilación 5, punto más alto.

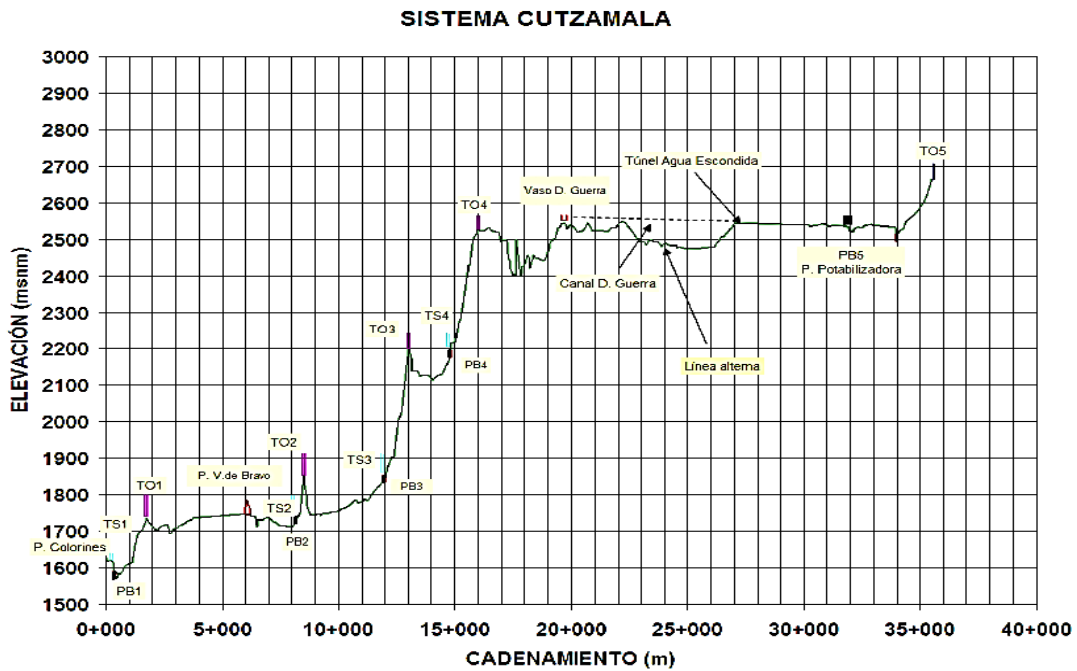


Figura 5 Perfil de conducción del tramo presa Colorines a Torre de oscilación 5

Enseguida se analizan las tres principales presas de almacenamiento debido a su importancia dentro del sistema.

Presa Valle de Bravo

La subcuenca Valle de Bravo se encuentra en el estado de México y comprende el 96% del municipio Amanalco, el 61% de Valle de Bravo y porcentajes menores de Donato Guerra, Villa de Allende y Villa Victoria, con una extensión de 535 km², el uso del suelo en la subcuenca se distribuye de la siguiente manera: 31% de la superficie tiene un uso agrícola, 55% bosque, 5% pastizal, 3% riego, 2% asentamientos y 4% cuerpos de agua.

La Presa Valle de Bravo abarca una superficie de 2,900 ha. La capacidad máxima de almacenamiento fue inicialmente de 457 Hm³, reducida por azolve a 394 Hm³. Si bien el lago artificial fue el promotor de la actividad turística y actualmente se debe cumplir con mantener cierto nivel debido a las actividades socioeconómicas asentadas alrededor del embalse. (Bunge, V., et al., 2012 [7]).

La extracción promedio para el Sistema Cutzamala es de 6 m³/s, con máximos de 15 m³/s (OCAVM). Por tanto el volumen de extracción de la presa es muy variable, aproximadamente del 43% del total de las tres presas, en general, los máximos se registran desde abril y hasta septiembre, en coincidencia con la época de lluvia. En concordancia, los mayores niveles de almacenamiento inician en el mes de septiembre, como resultado de la acumulación de los escurrimientos de lluvia y la disminución de la

extracción, y se mantienen hasta el mes de marzo. A partir de marzo inician los descensos, llegando a niveles de almacenamiento mínimo en el mes de junio, e iniciando su recuperación en septiembre. Los almacenamientos históricos mensuales se muestran en la Figura 6, donde se observa el registro que comprende el periodo del 2002 al 2014 y su capacidad máxima de almacenamiento es de 394.66 Hm³

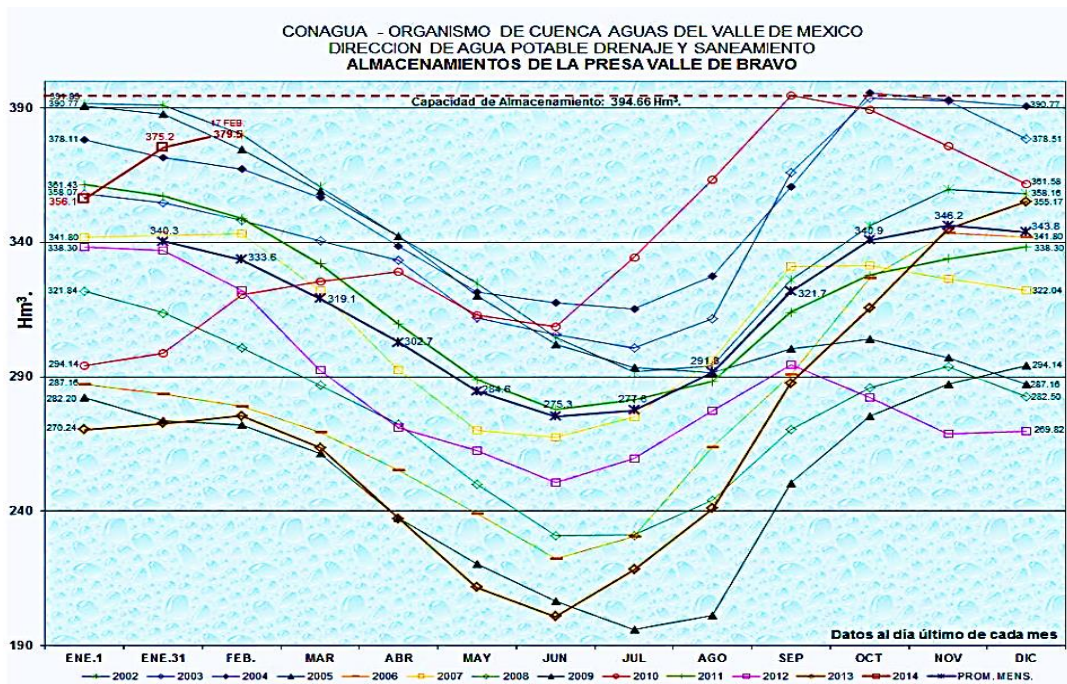


Figura 6 Registro de Almacenamiento Presa Valle de Bravo 2002-2014

De los registros para el período 2002-2014 (Figura 6), el mínimo nivel de almacenamiento se alcanzó en Julio de 2009, cuando el almacenamiento estuvo por debajo del nivel promedio de los últimos 16 años. Esto se explica por la reducción en la precipitación durante el período 2004-2005 que afectó no sólo el almacenamiento en la presa, sino también los manantiales que abastecen de agua potable a las zonas residenciales de Valle de Bravo.

Los niveles extraordinariamente bajos registrados en 2006, fueron compensados con el trasvase de agua desde la presa Colorines entre finales de 2006 e inicio de 2007. El trasvase por un lado, permitió recuperar el nivel de la presa, pero por otro, se estima ocasionó la propagación de lirios en el almacenamiento. El mecanismo de trasvase desde otras presas del Sistema Cutzamala hacia la de Valle de Bravo es habitual cuando esta última alcanza valores mínimos. Las presas aportantes son usualmente El Bosque y Colorines. (Escolero, 2009 [1]).

Presa Villa Victoria

La Presa Villa Victoria se ubica a una altitud de 2,544 msnm, tiene una capacidad total de 254 Hm³ y una capacidad útil de 186 Hm³. La presa provee 18% del agua potable para la ciudad de México. Su principal aporte es el río La Compañía, además de otros escurrimientos de menor importancia y manantiales. En la Figura 7 se aprecia nuevamente los niveles más bajos en el año 2009, y en algunos años ocurrieron derrames, y su capacidad máxima de almacenamiento es de 185.73 Hm³.

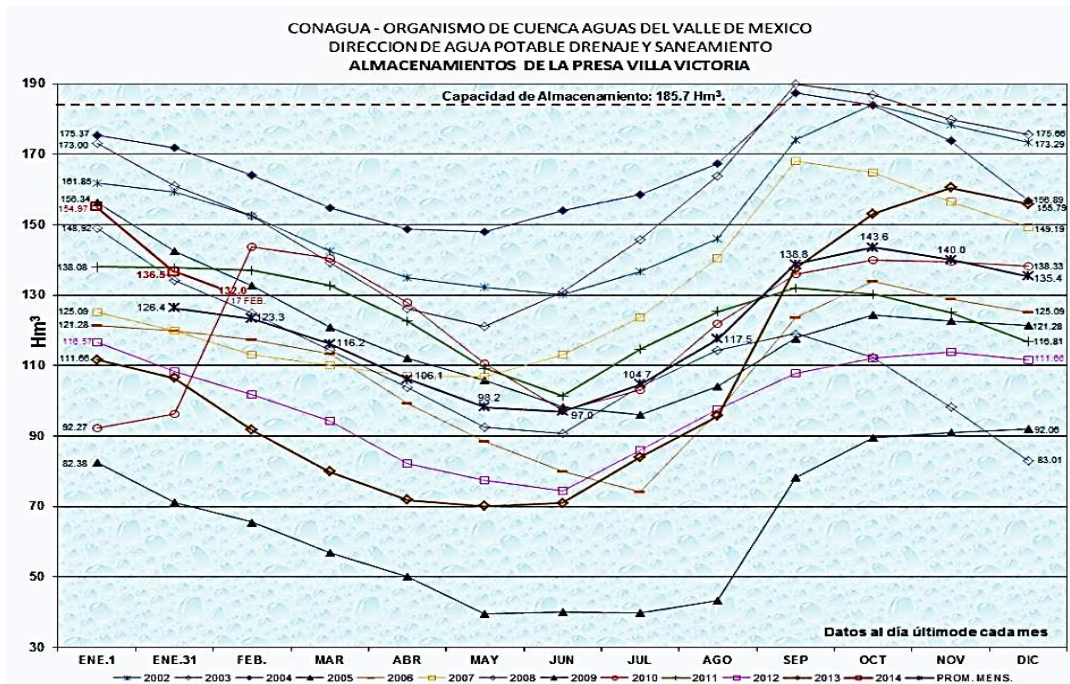


Figura 7 Registro de Almacenamiento Presa Villa Victoria 2002-2014

Los almacenamientos históricos mensuales (Figura 7) muestran un comportamiento semejante a la Presa Valle de Bravo. El almacenamiento se reduce debido al incremento en la extracción durante los meses de Abril a Agosto. A partir de Agosto el almacenamiento crece como resultado de la acumulación de escurrimientos y la disminución en la extracción.

A diferencia de la Presa Valle de Bravo, el almacenamiento para el año 2006 muestra el comportamiento de un año más cercano al promedio. El almacenamiento mensual más bajo se observa en diciembre de 2009, y se estima corresponde a la menor precipitación debido a que a partir de octubre, cuando se espera la acumulación de escurrimientos, el almacenamiento inicia un marcado descenso.

Presa El Bosque

La Presa El Bosque se ubica a una altitud de 1741 msnm, tiene una capacidad total de 248 Hm³ y una capacidad útil de 202 Hm³. La profundidad máxima de la presa es de aproximadamente 40 m, con un ancho de 4 km y una longitud 6 km. Los principales usos son el riego agrícola en los municipios colindantes al sur, suministro de agua potable y generación de electricidad. Se abastece de las corrientes del río Zitácuaro o San Juan Viejo, del río San Isidro y parte del río Tuxpan a través de túneles y canales, así como de escurrimientos intermitentes y manantiales. En la Figura 8 se ilustran los almacenamientos históricos que obtuvo la presa El Bosque dentro del periodo del 2002 al 2014, y su capacidad máxima de almacenamiento es de 202.4 Hm³.

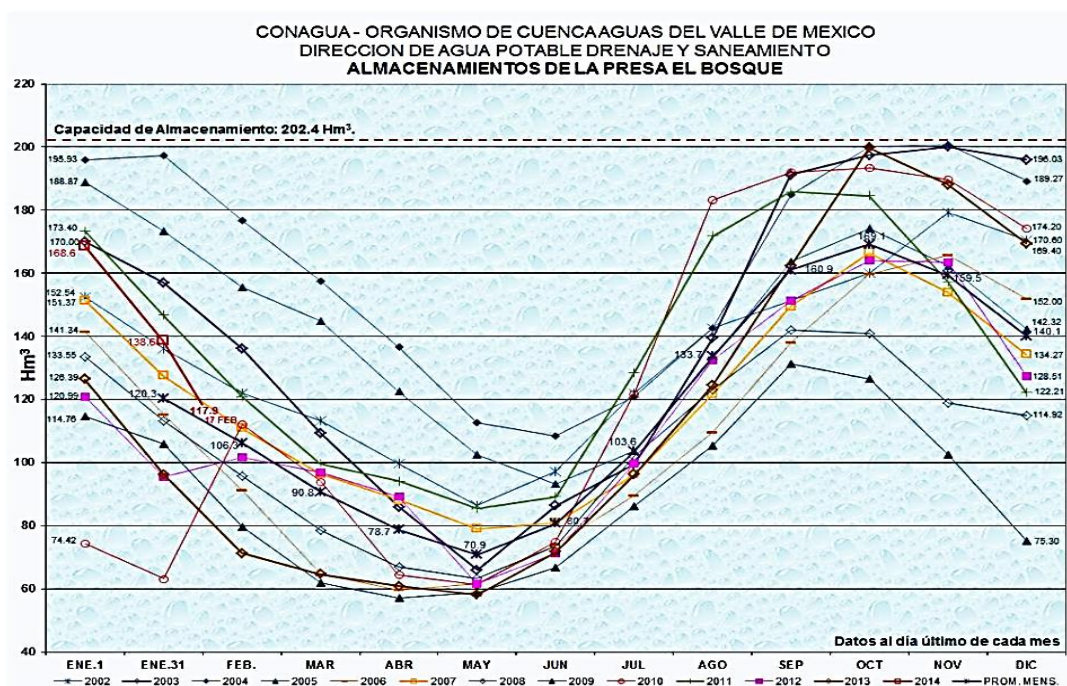


Figura 8 Registro de Almacenamiento Presa El Bosque 2002-2014

Los registros de almacenamiento para el período 2002-2014 (Figura 8) muestran un comportamiento similar a los casos anteriores, en relación a las fluctuaciones anuales máximas y mínimas. En 2009 se reporta otro período de mínima precipitación, cuando el embalse estuvo a 30% de capacidad debido a la escasa lluvia y la gran cantidad de azolve que se acumuló a causa de los arrastres después de la construcción de una autopista. En concordancia con la situación actual que presenta el abastecimiento a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, los tres últimos meses de 2008 registran niveles de almacenamiento muy bajos, solo superiores a los del año 1997.

En la Tabla 5 se muestran las capacidades en Hm³ de cada presa, cabe mencionar que los niveles que se encuentren por debajo del NAMINO se consideraran como déficits y por encima del NAMO como derrames.

Tabla 5 Capacidades de las principales presas del Sistema Cutzamala

PRESA	Muerta (Hm³)	NAMINO (Hm³)	NAMO (Hm³)	NAME (Hm³)
El Bosque	30.00	60.00	202.40	250.50
Valle de Bravo	25.00	50.00	394.39	458.00
Villa Victoria	20.00	30.00	185.73	252.03

2. METODOLOGÍA

En este trabajo se hizo una revisión del funcionamiento histórico de las presas El Bosque, Valle de Bravo y Villa Victoria en un periodo que abarca de 1994 al 2011, se considera una operación de extracción en paralelo, que llega a una conducción hacia la planta potabilizadora Los Berros. Cabe mencionar que el sistema real no trabaja en paralelo, es decir las presas están en cascada.

Con la información obtenida de dicha revisión se propuso obtener políticas de extracción óptima para las tres presas del sistema, con ayuda de algoritmos genéticos, que se han usado desde mediados de la década de los ochenta del siglo XX y cuyas aplicaciones recientes en la hidrología e hidráulica se destaca en los trabajos de Huang et al, 2002[8], Zhang et al, 2009[9], Domínguez et al, 2012[10], entre otros, y usando un programa de simulación del funcionamiento de tres presas en paralelo diseñado por personal del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México se pretende mejorar la operación de extracciones.

2.1 Funcionamiento de los Vasos del Sistema

La definición de funcionamiento de un vaso de almacenamiento según Francisco J. Aparicio en su libro “*Fundamentos de Hidrología de Superficie*” se puede citar:

(Aparicio, 1992 [11])... *“Un vaso de almacenamiento sirve para regular los escurrimientos de un río, es decir, para almacenar el volumen de agua que escurre en exceso en las temporadas de lluvia para posteriormente usarlo en las épocas de sequía, cuando los escurrimientos son escasos. Es necesario, entonces, almacenar el volumen sobrante para poder satisfacer la demanda cuando el escurrimiento en el río no es suficiente, para lo cual se requiere un vaso de almacenamiento.”*

La transformación que sufre un hidrograma desde una sección transversal hasta otra ubicada después de un tramo de río o una presa se entiende como tránsito de la avenida y, en general, este cambio puede ser tanto en forma como en desplazamiento en el tiempo. Ahora bien, para predecir las variaciones temporal y espacial de una onda de avenida a través de un tramo de río o en un vaso de almacenamiento, o bien para determinar el hidrograma de salida de una cuenca sobre las que se presentó una determinada lluvia, se usan los procedimientos de tránsito de avenidas. A lo largo del tiempo, se han desarrollado varios procedimientos para llevar a cabo el tránsito de avenidas y comúnmente se distinguen dos categorías:

- Tránsito hidrológico. El tránsito hidrológico utiliza la ecuación de continuidad y una relación entre el almacenamiento y el gasto de salida. Asimismo, este método se emplea para calcular la capacidad de la obra de excedencias (vertedor) de una presa o bien para conocer el cambio en la forma y avance de la onda de avenida en un tramo de río.
- Tránsito hidráulico. En el tránsito hidráulico se utilizan las ecuaciones diferenciales de continuidad y de conservación de la cantidad de movimiento para flujo no permanente o transitorio. La solución numérica de estas ecuaciones permite conocer la variación detallada de las características hidráulicas (velocidad y tirante) con respecto al tiempo. En conclusión, con este proceso se conoce la evolución del nivel de agua del cauce de un río o en la zona del embalse de una presa.

Los principales componentes de un vaso de almacenamiento, son:

- El NAMINO (nivel de aguas mínimas de operación) es el nivel más bajo con el que puede operar la presa. Cuando ésta es para irrigación y otros usos, el NAMINO (también llamado en este caso NAMin o nivel de aguas mínimas) coincide con el nivel al que se encuentra la entrada de la obra de toma. En el caso de presas para generación de energía eléctrica, el NAMINO se fija de acuerdo con la carga mínima necesaria para que las turbinas operen en buenas condiciones. El volumen muerto es el que queda abajo del NAMINO o NAMin; es un volumen del que no se puede disponer. El volumen de azolves es el que queda abajo del nivel de la toma y se reserva para recibir el acarreo de sólidos por el río durante la vida útil de la presa. Es conveniente hacer notar que el depósito de sedimentos en una presa no se produce con un nivel horizontal sino que los sedimentos se reparten a lo largo del embalse, teniéndose los más

- gruesos al principio del mismo y los más finos cerca de la cortina. La operación de la presa se lleva a cabo entre el NAMINO o NAMin y el NAMO.
- El NAMO (nivel de aguas máximas ordinarias o de operación) es el máximo nivel con que puede operar la presa para satisfacer las demandas; cuando el vertedor de excedencias (estructura que sirve para desalojar los volúmenes excedentes de agua que pueden poner en peligro la seguridad de la obra) no es controlado por compuertas, el NAMO coincide con su cresta o punto más alto del vertedor. En el caso de que la descarga por el vertedor esté controlada, el NAMO puede estar por arriba de la cresta e incluso puede cambiar a lo largo del año. Así, en época de estiaje es posible fijar un NAMO mayor que en época de avenidas, pues la probabilidad de que se presente una avenida en la primera época es menor que en la segunda. El volumen que se almacena entre el NAMO y el NAMin o NAMINO se llama volumen o capacidad útil y es con el que se satisfacen las demandas de agua.
 - El NAME (nivel de aguas máximas extraordinarias) es el nivel más alto que debe alcanzar el agua en el vaso bajo cualquier condición. El volumen que queda entre este nivel y el NAMO, llamado superalmacenamiento, sirve para controlar las avenidas que se presentan cuando el nivel en el vaso está cercano al NAMO. 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, así como a compensar las reducciones en la altura de la cortina provocadas por sus asentamientos.

El tránsito de avenidas en vasos es un procedimiento que sirve para determinar el hidrograma de salida de una presa dado un hidrograma de entrada. Algunas de sus principales aplicaciones son:

- a) Conocer la evolución de los niveles en el vaso y de los gastos de salida por la obra de excedencias, para saber si la política de operación de las compuertas del vertedor es la adecuada.
- b) Dimensionar la obra de excedencias
- c) Fijar el NAME y las dimensiones de las obras de desvío y ataguías.

En el tránsito de avenidas en vasos se usa la ecuación de continuidad, para ello es necesario definir las entradas por cuenca propia. Las entradas por cuenca propia son los volúmenes de escurrimiento superficial generados en la cuenca no controlada que descarga directamente a la presa, que está delimitada por el sitio de la boquilla, donde se localiza la cortina, y las presas situadas aguas arriba. Las entradas por cuenca propia se cuantifican a partir de los datos recabados en las estaciones hidrométricas de la zona, o por algún método analítico.

Por otro lado están las Salidas, estas se determinan por diversos factores como son: *Volumen extraído para satisfacer la demanda*. Está constituido por la ley de demandas bajo análisis, la cual depende, por un lado, del tipo de aprovechamiento de que se trate: agua potable, riego, generación de energía eléctrica, etc. y, por otro, de la relación beneficio/costo de la obra. Para fines de la simulación del funcionamiento del vaso, este volumen siempre es un dato. *Volumen evaporado directamente del vaso*. De la misma manera que la precipitación, la evaporación se mide en lámina o altura (volumen/unidad de área). *Volumen derramado*. El volumen de agua que sale por la obra de excedencias es resultado de la simulación y depende de los niveles característicos (especialmente del NAMO) y de la política de operación de las compuertas que se defina para cada opción. (Aparicio, 1992 [11]).

Para estimar el volumen útil que requiere satisfacer una determinada demanda, se deben tener registros de volúmenes escurridos por el río durante un tiempo relativamente largo, para nuestro caso se obtuvieron datos desde el año de 1982, que fue cuando el Sistema Cutzamala comenzó operaciones (presa El Bosque, Abril de 1982), pero como se consideraron solo las presas que trabajan en paralelo, a llamarse El Bosque, Valle de Bravo y Villa Victoria, el periodo comprendido para este estudio se acotó de 1994 al 2011, periodo en donde las tres presas ya trabajaban de forma constante y por ende se tienen los datos más confiables. Cabe mencionar que algunos valores recibieron un tratamiento matemático, es decir, se colocó la media histórica a los valores faltantes de los días en donde no se tomaron las mediciones, ya sean Gastos de Extracción, Evaporización en el vaso y Lluvia, con el fin de tener un registro completo y no alterar los valores totales.

Una vez completo el registro diario para las tres presas, se obtienen los promedios mensuales de cada año, tanto de gastos de extracción como de elevaciones. Enseguida, con la diferencia entre los datos de Evaporación y lluvia diarios, se determinan las láminas en milímetros de lluvia diaria, que servirán para determinar la Evaporación Neta, que están en función del área del embalse.

El funcionamiento del sistema se hizo con la ecuación de continuidad, que para el caso de un sistema de tres presas en paralelo (cabe mencionar que el análisis se hizo por subcuencas separadas) es el siguiente:

$$(V_{j,i+1} = V_{j,i} + E_{j,i} - S_{j,i}) \quad (1)$$

Dónde: i es el intervalo de tiempo considerado (en este caso meses), j es el subíndice que corresponde a cada presa; V_{i+1} es el volumen de almacenamiento final, V_i es el volumen de almacenamiento inicial; E_i son las entradas al embalse (se consideró la cuenca propia en cada embalse) y S_i las salidas totales obtenidas con la siguiente ecuación:

$$S_i = Evni + Vei \tag{2}$$

Donde $Evni$ es la evaporación neta obtenida con los valores históricos de precipitación menos evaporación; Vei es el volumen de extracción mensual obtenido a partir de la política de operación, denominada aquí curva Z (cabe señalar que aquí se consideró la extracción mensual a 1/12) como la mostrada en la Figura 9 y de las consideraciones de porcentajes anuales y mensuales para cada presa, según vayan resultando los valores.

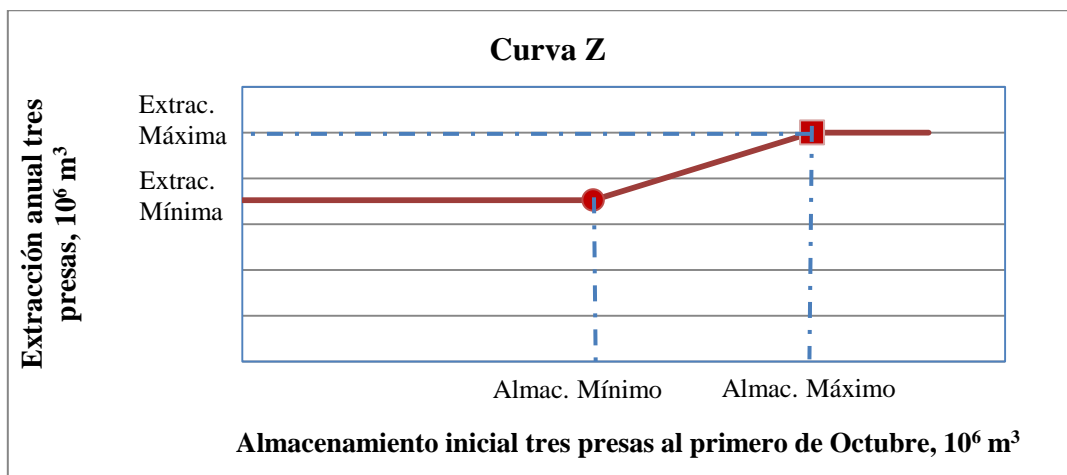


Figura 9 Gráfica Curva Z

La forma en que se determinó la Curva Z (Figura 9), fue obteniendo las extracciones históricas totales para cada año, de aquí que el promedio del porcentaje de extracción anual nos arroje el porcentaje total de extracción de cada presa para todo el sistema; lo mismo ocurre para los almacenamientos iniciales, considerando que el año comienza el primero de Octubre. La Tabla 6 indica los Almacenamientos Iniciales y Extracciones totales para cada año. La Figura 10 representa dicha tabla. Sí de estos datos se toman los valores máximos y mínimos de cada columna, fácilmente se obtendrán los puntos que conforman la Curva Z.

Tabla 6 Almacenamiento Inicial Total al 1° de Octubre y Extracciones Totales

Años	Almac. Inicial Total 1 Oct (Hm ³)	Extracciones Totales (Hm ³)
1994	657.597	520.054
1995	620.848	519.325
1996	609.156	600.945
1997	541.178	497.623
1998	577.267	352.657
1999	687.515	356.374
2000	646.739	397.337
2001	718.805	353.316
2002	651.419	415.873
2003	747.206	423.959
2004	733.063	537.793
2005	581.702	518.346
2006	552.481	435.264
2007	648.582	422.456
2008	531.362	447.134
2009	459.807	365.984
2010	722.601	357.342
2011	631.765	406.254

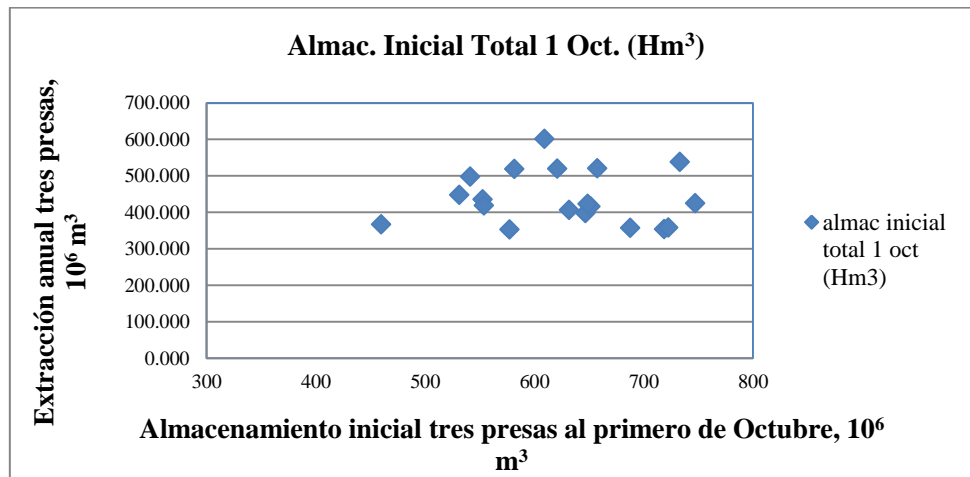


Figura 10 Gráfica valores totales de Almacenamiento y Extracciones Históricas

Por consiguiente los valores que caracterizan la curva Z se muestran en la Tabla 7, estos datos están en m³/s, y con ellos se puede comenzar a hacer la simulación para optimizar las extracciones, obligando a que los resultados caigan sobre la pendiente positiva.

Tabla 7 Valores de almacenamiento y Extracciones que forman la Curva Z

AL 1 DE OCTUBRE			
	ALMAC TOTAL 3 PRESAS (m³/s)	EXTRACCIÓN TOTAL ANUAL (m³/s)	
Vol. Almac. Mín. inferior	0.00	11.18	Extrac. Mín. inferior
Vol. Almac. Mín. superior	14.58	11.18	Extrac. Mín. superior
Vol. Almac. Máx. inferior	23.69	15.85	Extrac. Máx. inferior
Vol. Almac. Máx. superior	28.54	15.85	Extrac. Máx. superior

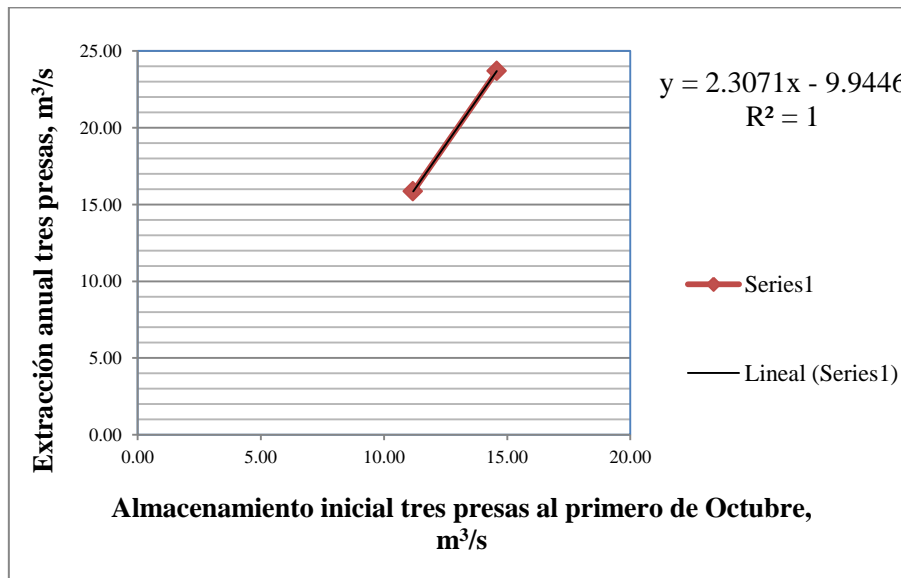


Figura 11 Curva Z característica de Almacenamientos y Extracciones Históricos

La pendiente que se observa en la Figura 11, determina los almacenamientos máximos y mínimos de todo el periodo histórico en cuestión, lo mismo para las extracciones, es decir que todas las políticas que caigan sobre dicha pendiente, serán los óptimos.

En este caso particular se consideró una asignación mensual de la extracción total anual para cada presa igual a 1/12 en todos los meses, esto quiere decir que el porcentaje de extracción es constante en todos los meses para todas las presas. El alcance de este estudio no determina el porcentaje de extracción mensual, por consiguiente los resultados arrojados serán anuales para cada presa.

2.2 Datos Considerados

Para la simulación del funcionamiento histórico del sistema se consideraron los volúmenes de ingreso por cuenca propia a las presas El bosque, Valle de Bravo y Villa Victoria en el periodo común de años de registro de 1994 al 2011, como se ve en las Figuras 12, 13 y 14, donde se grafica el promedio mensual a cada una de las presas antes mencionadas. En el ANEXO A de la presente tesina se muestran los valores de Entrada Mensual, Salidas Mensuales y Elevaciones Mensuales; estos son registros históricos que se tienen de cada presa y que dan origen a las gráficas siguientes. Los datos que se presentan en el ANEXO A fueron proporcionadas por CONAGUA.

Se hizo una revisión de la operación histórica para contar con los porcentajes aproximados de la extracción que se han asignado anualmente a cada una de las presas del sistema; los resultados de esta revisión pueden ser consultados en el ANEXO B. Se obtuvieron, además, los valores de evaporación neta promedio mensual con los años y meses disponibles en función de la cantidad de lluvia en cada almacenamiento. Con los datos de la curva elevaciones-capacidades-áreas de los embalses se obtuvieron líneas de tendencia de tipo potencial para obtener las variables Almacenamiento y Área en función de su elevación (ver Tabla 8). Con base en estos datos se pueden graficar dichas curvas, como las mostradas en las Figuras 12, 13 y 14, pero sobre todo determinar la ecuación que represente la curva para cuando se haga la simulación, y los cálculos se hagan lo más exactos posibles.

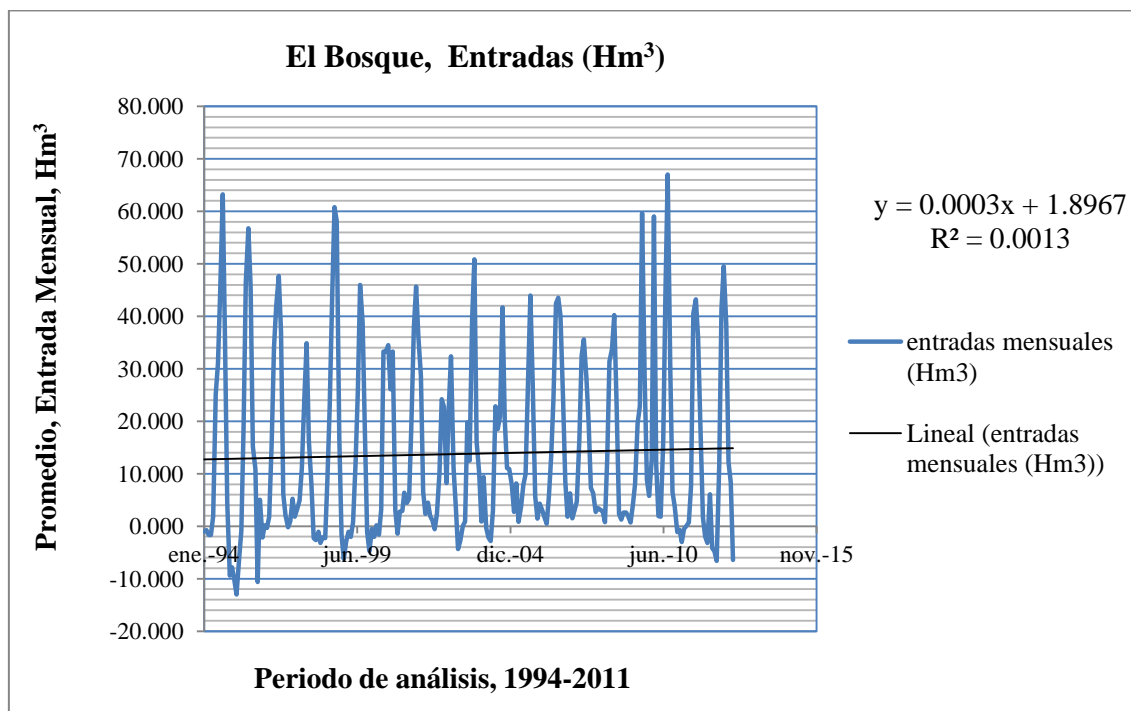


Figura 12 Promedio Histórico de Entradas a El Bosque

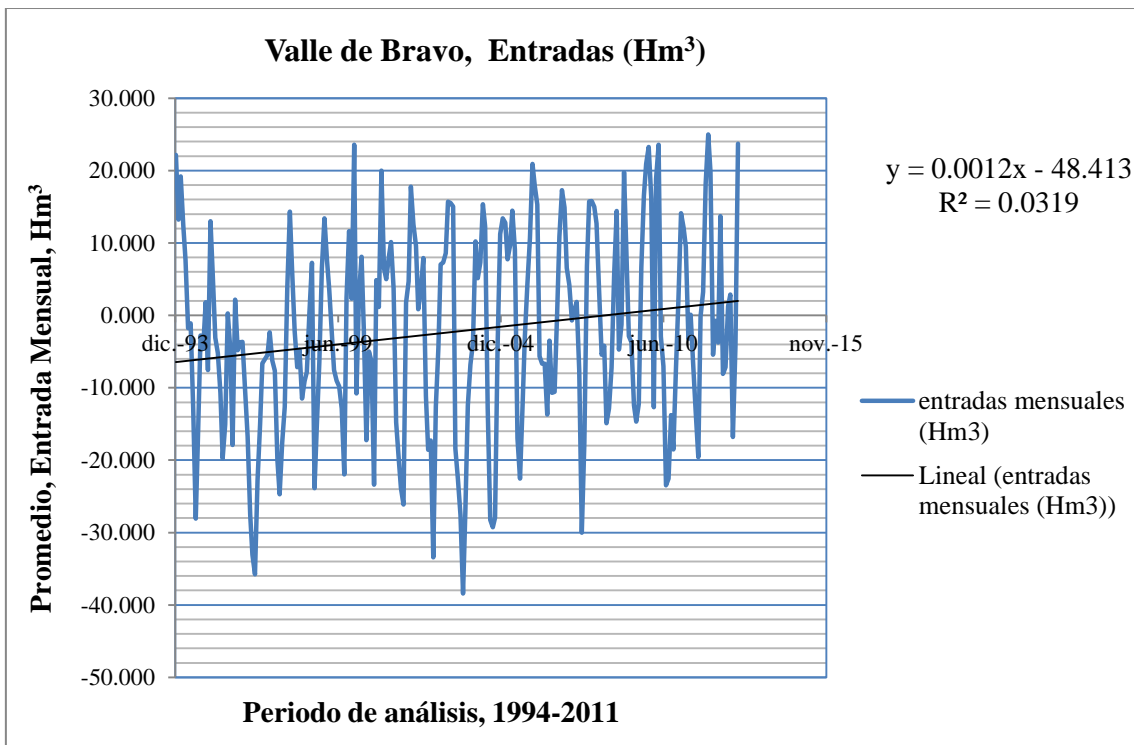


Figura 13 Promedio Histórico de Entradas a Valle de Bravo

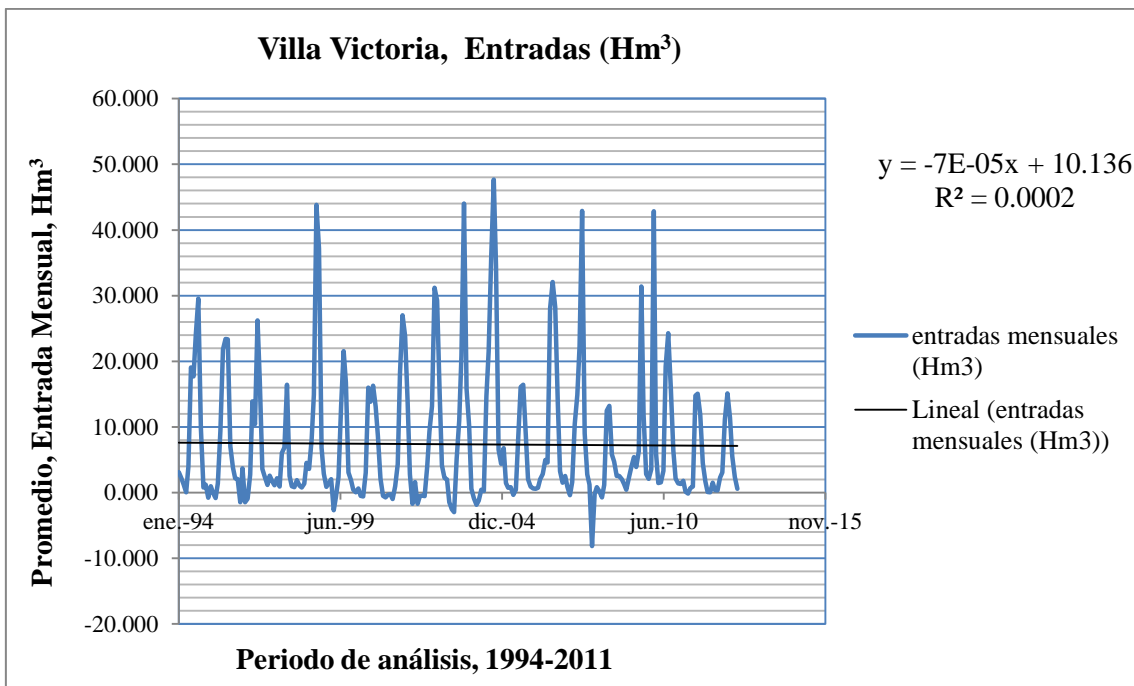


Figura 14 Promedio Histórico de Entradas a Villa Victoria

De las figuras anteriores se concluye que la presa El Bosque ha tenido mayores y los mejores ingresos por cuenca propia esto es debido a que su cuenca también es grande, Valle de Bravo presenta valores negativos bastante considerables y no muy buenas entradas promedio, aunque la pendiente que representa el comportamiento es claramente positiva se asocian estos valores a la descarga directa a las plantas de bombeo y a que se debe cumplir con el nivel de elevación comercial de la zona, por ultimo Villa Victoria se ha mantenido prácticamente constante en este periodo de análisis, aunque con pendiente negativa.

En la Tabla 8 se muestran los datos proporcionados por la CONAGUA de la batimetría de los tres embalses en cuestión, con ellos es fácil obtener dichas curvas elevaciones-capacidades-áreas y la expresión matemática que las representa. Las Figuras 15, 16 y 17 grafican dichos valores.

Tabla 8 Valores de batimetría en cada embalse de las principales presas del Sistema Cutzamala

<i>Presa El Bosque</i> <i>Elevaciones-Areas-Capacidades</i>			<i>Presa Valle de Bravo</i> <i>Elevaciones-Areas-Capacidades</i>			<i>Presa Villa Victoria</i> <i>Elevaciones-Areas-Capacidades</i>		
ELEVACIONES	AREAS (ha)	CAPACIDADES (MILL. M ³)	ELEVACIONES	AREAS (ha)	CAPACIDADES (MILL. M ³)	ELEVACIONES	AREAS (ha)	CAPACIDADES (MILL. M ³)
1,682.40	0.00	0.00	1,792.73	0.00	0.00	2,590.00	50.00	0.00
1,684.00	1.50	0.20	1,794.00	22.22	0.00	2,592.00	295.45	0.91
1,688.00	12.00	0.70	1,798.00	166.67	4.44	2,594.00	636.36	9.09
1,692.00	40.00	2.00	1,802.00	480.00	16.67	2,596.00	1,004.53	25.00
1,696.00	70.00	4.00	1,806.00	806.67	43.33	2,598.00	1,409.09	50.00
1,700.00	111.00	7.00	1,810.00	1,155.56	83.33	2,600.00	1,886.35	81.82
1,704.00	175.00	12.40	1,814.00	1,400.00	141.67	2,602.00	2,295.45	120.45
1,708.00	245.00	20.00	1,818.00	1,544.44	200.00	2,604.00	2,681.81	163.64
1,712.00	325.00	31.00	1,822.00	1,666.67	272.22	2,606.00	3,109.09	227.27
1,716.00	410.00	45.20	1,826.00	1,766.67	348.89	2,608.00	3,477.27	288.64
1,720.00	500.00	62.00	1,830.00	1,866.67	400.00	2,610.00	3,795.45	365.91
1,724.00	605.00	84.00	1,834.00	1,955.55	477.78	2,612.00	4,045.45	445.45
1,728.00	690.00	109.00	1,838.00	2,233.33	506.67			
1,732.00	785.00	142.00						
1,736.00	875.00	177.00						
1,740.00	975.00	213.00						
1,743.00	1,030.00	238.00						

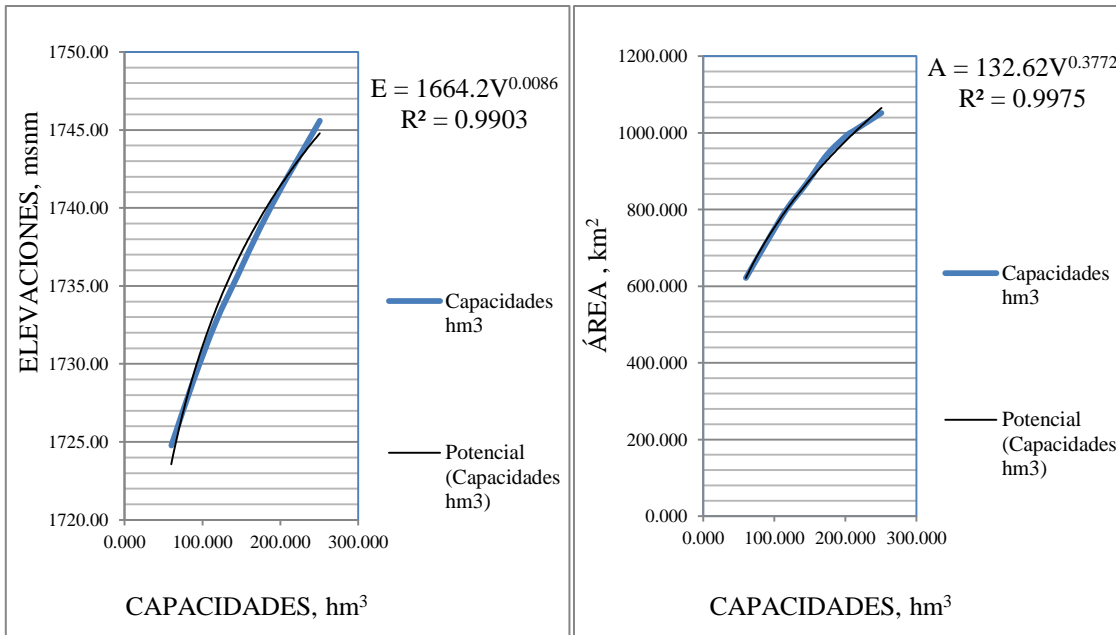


Figura 15 Curva Elevaciones-Capacidades-Áreas. Presa El Bosque

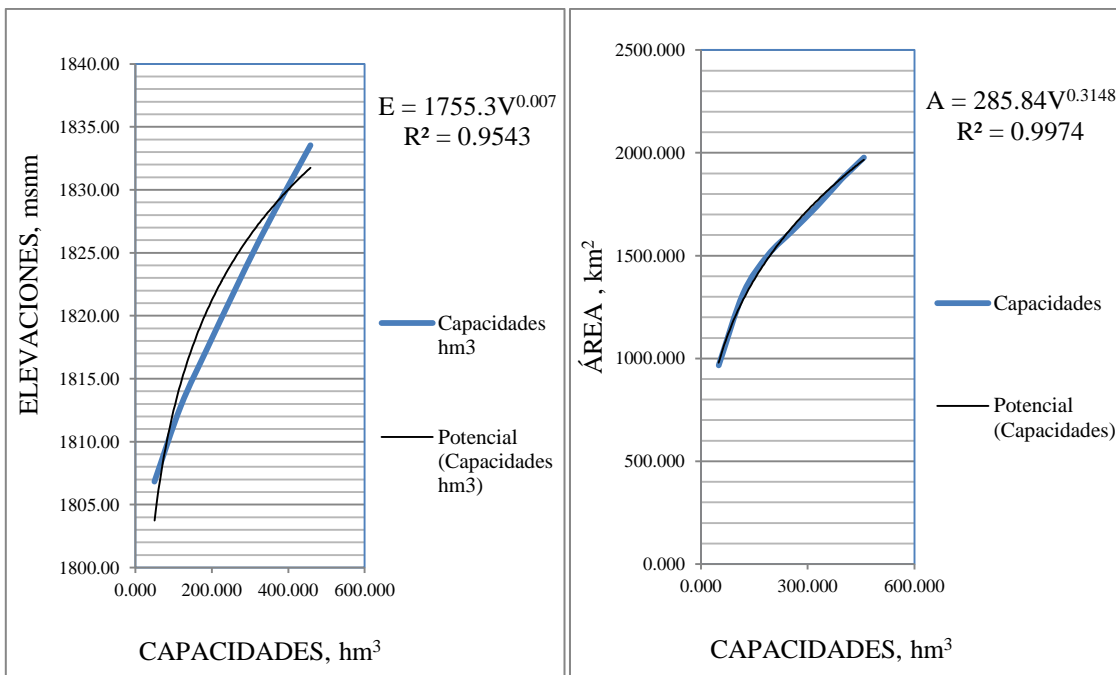


Figura 16 Curva Elevaciones-Capacidades-Áreas. Presa Valle de Bravo

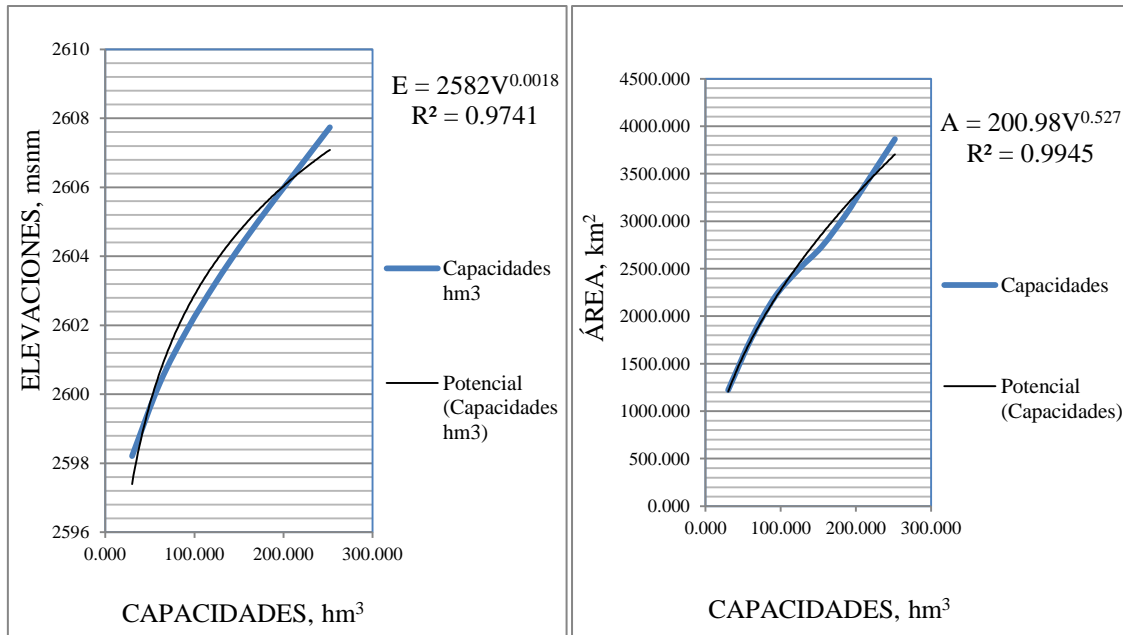


Figura 17 Curva Elevaciones-Capacidades-Áreas. Presa Villa Victoria

Ahora que se cuenta con todos los datos, se procede a hacer la simulación de los vasos; en un primer intento se utilizó una hoja de Excel, donde se programaron los pasos a seguir, a continuación se describe esta metodología. Hay que recordar que la simulación y el análisis histórico parte del supuesto de que las tres presas trabajan en paralelo y alimentan directamente a Los Berros, es decir son independientes y se consideran los volúmenes de entrada por cuenca propia, no hay trasvase en serie.

La primera suposición de cálculo es comenzar el 1° de Octubre de 1994 con el Almacenamiento Inicial al nivel del NAMO, es decir, la presa se encuentra llena. Entonces el siguiente cálculo consiste en obtener el Almacenamiento calculado, que con ayuda de la expresión de Continuidad (Ecuación 1), al Almacenamiento Inicial se le suma el ingreso por cuenca propia mensual, que ya se había obtenido previamente, después se le resta la extracción y le evaporación neta. (Ingresos menos salidas es igual al volumen almacenado)

A este valor se le impondrá una condicionante donde se afirme que si el valor se encuentra dentro del Volumen Útil, es decir entre el NAMO y el NAMINO, se considere como un Almacenamiento Final Real; por el contrario, si este valor está por debajo del NAMINO, se considerará como un déficit en la presa y si se supera el nivel del NAMO se supondrá que existen derrames, cabe mencionar que este derrame es hipotético, esto debido a que existe el NAME y aparte un Bordo Libre, niveles que conforman la altura total de una cortina.

Cuando se realizó el análisis de las extracciones históricas totales, se obtuvieron los porcentajes anuales que se han llevado a cabo a partir del periodo de 1994 al 2011; estos datos pueden ser consultados en el ANEXO B. La Tabla 9 muestra el resumen de estos porcentajes para cada presa; para determinar el Total Anual se supuso que estas tres presas alimentan a todo el Sistema Cutzamala, cabe señalar que hay otras cuatro presas derivadoras que aportan cierto porcentaje, pero debido a que no se cuentan con datos completos, se despreciaron.

Tabla 9 Porcentaje de Extracción Histórica para cada Presa del Sistema Cutzamala

EXTRACCION Histórica	% ANUAL
Villa Victoria	0.1825
Valle de Bravo	0.4265
El Bosque	0.3910
TOTAL ANUAL	1.0000

Para hallar las extracciones mensuales de cada presa, se definió a un 1/12 de la extracción total anual, como ya se había mencionado será constante dicha extracción, esto también es hipotético debido a que la extracción mensual real, se rige por la época de lluvias-sequias, y por tanto la extracción no puede ser constante. Entonces sabiendo el porcentaje que aporta cada presa anualmente y con la suma de la extracción de las tres presas anuales, se halla el valor mensual de extracción.

Por último, conociendo ya el Almacenamiento Final Real se obtienen las curvas elevaciones-capacidades-áreas con ayuda de las expresiones obtenidas anteriormente, que están en función del Volumen Inicial. La Tabla 10 muestra un ejemplo de cómo se fue estructurando la simulación de los vasos, importante es señalar que esto se hizo para cada presa por separado.

Tabla 10 Prueba de Política de Operación un Año de Simulación. Presa El Bosque

SIMULACIÓN CONJUNTA SISTEMA CUTZAMALA
PRESA: EL BOSQUE PRUEBA DE POLÍTICA DE OPERACIÓN UN AÑO DE SIMULACIÓN

***** ***** ***** ***** **1994** ***** ***** *****

MES	ALM. INICIAL	ALM. FINAL CALC.	ALM. FINAL REAL	INGRESO	EXTRACCIÓN	EVAP. NET.	DERRAME	DÉFICIT	ELEVACIÓN INIC.	ÁREA
	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	msnm	Km ²
01/10/1994	202.400	221.301	202.400	35.206	16.290	0.014	18.901	0.000	1741.963	982.905
01/11/1994	202.400	190.521	190.521	4.435	16.290	0.024	0.000	0.000	1741.963	982.905
01/12/1994	190.521	164.765	164.765	-9.437	16.290	0.028	0.000	0.000	1741.057	960.734
01/01/1995	164.765	140.617	140.617	-7.829	16.290	0.030	0.000	0.000	1738.884	909.517
01/02/1995	140.617	114.094	114.094	-10.206	16.290	0.026	0.000	0.000	1736.515	856.739
01/03/1995	114.094	84.752	84.752	-13.003	16.290	0.048	0.000	0.000	1733.397	791.787
01/04/1995	84.752	62.088	62.088	-6.317	16.290	0.056	0.000	0.000	1728.971	707.794
01/05/1995	62.088	44.894	59.997	-0.866	16.290	0.038	0.000	15.103	1724.350	629.409
01/06/1995	59.997	62.516	62.516	18.808	16.290	-0.001	0.000	0.000	1723.842	621.326
01/07/1995	62.516	92.772	92.772	46.527	16.290	-0.020	0.000	0.000	1724.452	631.039
01/08/1995	92.772	133.255	133.255	56.740	16.290	-0.033	0.000	0.000	1730.316	732.351
01/09/1995	133.255	162.632	162.632	45.652	16.290	-0.016	0.000	0.000	1735.712	839.536
TOTAL ANUAL	1510.177		1470.409	159.709	195.483	0.196	18.901	15.103		

Tabla 11 Simulación Conjunta. Presa El Bosque 1994-1995

SIMULACIÓN CONJUNTA SISTEMA CUTZAMALA
PRESA: EL BOSQUE PRUEBA DE POLÍTICA DE OPERACIÓN UN AÑO DE SIMULACIÓN

***** ***** ***** ***** **1995** ***** ***** *****

MES	ALM. INICIAL	ALM. FINAL CALC.	ALM. FINAL REAL	INGRESO	EXTRACCIÓN	EVAP. NET.	DERRAME	DÉFICIT	ELEVACIÓN INIC.	ÁREA
	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	MILL m ³	msnm	Km ²
01/10/1995	162.632	161.914	161.914	15.144	15.849	0.013	0.000	0.000	1738.689	905.057
01/11/1995	161.914	156.970	156.970	10.928	15.849	0.022	0.000	0.000	1738.623	903.548
01/12/1995	156.970	130.467	130.467	-10.629	15.849	0.026	0.000	0.000	1738.159	893.041
01/01/1996	130.467	119.624	119.624	5.034	15.849	0.027	0.000	0.000	1735.397	832.866
01/02/1996	119.624	101.595	101.595	-2.154	15.849	0.025	0.000	0.000	1734.102	806.050
01/03/1996	101.595	85.851	85.851	0.151	15.849	0.046	0.000	0.000	1731.668	757.882
01/04/1996	85.851	69.591	69.591	-0.354	15.849	0.057	0.000	0.000	1729.162	711.242
01/05/1996	69.591	55.472	59.997	1.770	15.849	0.040	0.000	4.525	1726.043	657.084
01/06/1996	59.997	60.425	60.425	16.276	15.849	-0.001	0.000	0.000	1723.842	621.326
01/07/1996	60.425	78.642	78.642	34.046	15.849	-0.020	0.000	0.000	1723.947	622.996
01/08/1996	78.642	104.818	104.818	41.995	15.849	-0.031	0.000	0.000	1727.858	688.098
01/09/1996	104.818	136.680	136.680	47.696	15.849	-0.014	0.000	0.000	1732.133	766.863
TOTAL ANUAL	1292.527		1266.574	159.904	190.192	0.190	0.000	4.525		

El Almacenamiento Final Real que se calculó para el primer mes, Octubre de 1994, se utilizara para iniciar el siguiente mes, Noviembre de 1994, y se volverá a repetir la simulación hasta cumplir un año; entonces siguiendo con la misma filosofía, cuando se termine el año, su Almacenamiento Final Real, será el Almacenamiento Inicial del siguiente año, y así hasta cumplir con el periodo de 1994 hasta el 2011, como lo muestra la Tabla 11 con el siguiente año a 1994.

Cuando se ha concluido la simulación para cada presa, se toma el total de Extracción Anual y se suman las tres presas, esto con el fin de obtener las extracciones históricas como se observa en la Tabla 12 y su grafica en la Figura 18.

Tabla 12 Extracciones Totales Anuales

	EXTRAC. TOTAL
AÑOS	ANUAL (10 ⁶ m ³)
1994	500.000
1995	486.466
1996	472.035
1997	434.927
1998	463.658
1999	452.325
2000	424.150
2001	444.500
2002	395.254
2003	459.113
2004	459.422
2005	440.281
2006	450.493
2007	461.396
2008	407.225
2009	386.451
2010	466.716
2011	406.703
2012	376.904
PROMEDIO	441.475

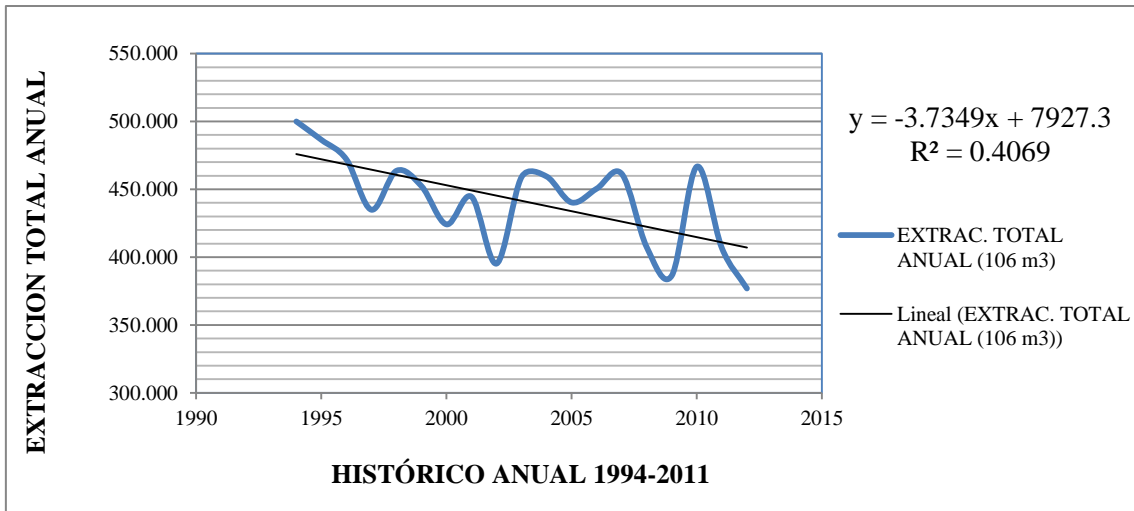


Figura 18 Gráfica Extracciones Históricas con Ajuste Lineal

Como se logra apreciar en la Figura 18 existe una tendencia negativa, es decir que se está extrayendo cada vez menos agua de las tres presas. Este primer resultado se obtuvo con los parámetros anteriormente descritos, si se quieren obtener más resultados cambiando algunos parámetros, es más fácil utilizar Algoritmos Genéticos. Las Tablas 13, 14 y 15 muestran el resumen del funcionamiento histórico con la primera consideración de tomar constante la extracción mensual a 1/12, aquí se presentan los datos de Derrame, Déficit, Ingreso y Extracción para cada una de las presas, y se considerarán como los históricos para el análisis.

Tabla 13 Resumen funcionamiento Histórico (Extracción 1/12). Presa El Bosque

EL BOSQUE	DERRAME	DÉFICIT	INGRESO	EXT RIEGO
	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
1994	18.90	15.10	159.71	195.48
1995	0.00	4.52	159.90	190.19
1996	0.00	4.99	131.82	184.55
1997	0.00	79.30	147.44	170.04
1998	0.00	0.00	184.87	181.27
1999	0.00	18.21	138.40	176.84
2000	0.00	0.00	195.22	165.83
2001	0.00	0.00	112.15	173.78
2002	0.00	4.12	186.10	154.53
2003	0.00	14.68	137.99	179.50
2004	0.00	22.40	155.63	179.62
2005	0.00	23.03	174.03	172.13
2006	0.00	0.00	203.28	176.13
2007	0.00	0.00	164.48	180.39

2008	0.00	0.00	149.63	159.21
2009	62.55	0.00	288.05	151.09
2010	0.00	0.00	132.93	182.47
2011	0.00	8.70	147.46	159.01
2012	0.00	0.00	14.06	36.84

Tabla 14 Resumen funcionamiento Histórico (Extracción 1/12). Presa Valle de Bravo

V. BRAVO	DERRAME	DÉFICIT	INGRESO C.P	EXT RIEGO
	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
1994	8.91	0.00	203.88	213.27
1995	108.98	0.00	335.57	207.50
1996	154.52	0.00	356.26	201.34
1997	6.82	0.00	187.40	185.51
1998	25.31	0.00	181.19	197.77
1999	0.00	0.00	174.41	192.94
2000	0.00	0.00	187.09	180.92
2001	0.00	0.00	166.53	189.60
2002	0.00	0.00	209.32	168.59
2003	0.00	0.00	223.84	195.83
2004	1.20	0.00	177.96	195.96
2005	0.00	0.00	175.76	187.80
2006	0.00	0.00	178.45	192.15
2007	0.00	0.00	156.59	196.80
2008	0.00	0.00	151.14	173.70
2009	0.00	0.00	190.76	164.84
2010	0.00	0.00	161.22	199.07
2011	0.00	0.00	141.69	173.48
2012	0.00	0.00	40.42	40.19

Tabla 15 Resumen funcionamiento Histórico (Extracción 1/12). Presa Villa Victoria

V. VICTORIA	DERRAME	DÉFICIT	INGRESO C.P	EXT RIEGO
	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
1994	2.14	0.00	90.48	91.25
1995	0.00	0.00	68.28	88.78
1996	0.00	0.00	62.08	86.14
1997	0.00	0.00	84.51	79.37
1998	0.00	0.00	101.79	84.61

1999	0.00	0.00	67.25	82.55
2000	0.00	0.00	82.42	77.40
2001	0.00	0.00	70.70	81.12
2002	5.41	0.00	126.60	72.13
2003	58.96	0.00	143.12	83.78
2004	27.45	0.00	95.71	83.84
2005	0.00	0.00	88.29	80.35
2006	50.88	0.00	141.88	82.21
2007	1.99	0.00	37.62	84.20
2008	0.00	0.00	66.82	74.32
2009	7.42	0.00	135.06	70.52
2010	0.00	0.00	56.48	85.17
2011	0.00	0.00	51.61	74.22
2012	0.00	0.00	8.50	17.20

2.3 Algoritmo Genético

Los algoritmos genéticos (AG) son una rama de la Computación Evolutiva, concebidos originalmente por John Holland (Holland, 1975[12]), forman parte de los algoritmos bio-inspirados y se volvieron una herramienta de optimización muy socorrida en el siglo XX a mediados de los años ochenta y a medida que las computadoras personales se han vuelto más veloces. Su aplicación en el caso de la hidrología y de la hidráulica se hizo más notable en la primera década del presente siglo.

La característica fundamental de los AG es el uso de un operador de recombinación o de cruce, como mecanismo principal de búsqueda, y de un algoritmo de reproducción proporcional al desempeño, se representa de manera general con la estructura presentada en la Figura 19, los operadores que utiliza en su aplicación son la selección, el intercambio o cruza y la mutación. La selección se puede hacer por el método de la ruleta, el estocástico universal o el de torneo (Goldberg, 1989[13]). El intercambio se hace a nivel de código binario aunque también puede hacerse a nivel de números reales; la mutación puede o no considerarse y permite que nuevos individuos aparezcan en una generación.

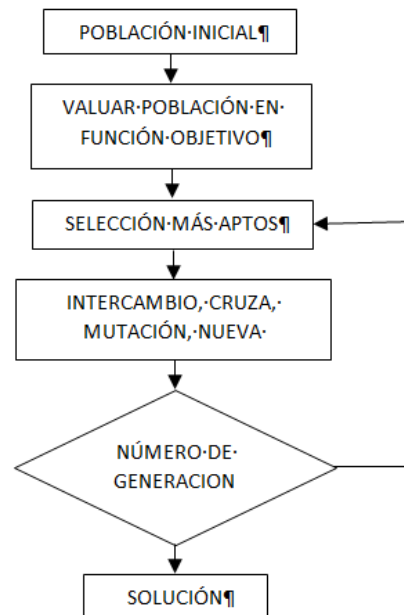


Figura 19 Diagrama de Bloques de un AG

“Los Algoritmos Genéticos son métodos adaptativos, generalmente usados en problemas de búsqueda y optimización de parámetros, basados en la reproducción sexual y en el principio de supervivencia del más apto.

Más formalmente, y siguiendo la definición dada por Goldberg, “los Algoritmos Genéticos son algoritmos de búsqueda basados en la mecánica de selección natural y de la genética natural. Combinan la supervivencia del más apto entre estructuras de secuencias con un intercambio de información estructurado, aunque aleatorizado, para constituir así un algoritmo de búsqueda que tenga algo de las genialidades de las búsquedas humanas” (Goldberg, 1989).

Para alcanzar la solución a un problema se parte de un conjunto inicial de individuos, llamado población, generado de manera aleatoria. Cada uno de estos individuos representa una posible solución al problema. Estos individuos evolucionarán tomando como base los esquemas propuestos por Darwin sobre la selección natural, y se adaptarán en mayor medida tras el paso de cada generación a la solución requerida.” (Gestal, M., et al., 2010 [14]).

En el presente estudio los individuos corresponden a conjuntos de cuatro parámetros que forman los puntos de la curva de extracciones anuales del sistema de presas analizados (llamada en este estudio Curva Z) la curva de extracciones muestra los almacenamientos anuales totales al mes de Octubre así como las extracciones para las tres presas en cuestión, se realizaron pruebas con diversos parámetros para analizar el comportamiento del sistema. En un primer análisis se realizaron tres ensayos donde se

fije el porcentaje de extracción anual a priori en función de la extracción histórica para cada presa, dejando como variables los cuatro puntos de la Curva Z.

En un segundo análisis se consideraran además de estos parámetros, los porcentajes de extracción anual que deberán de asignarse a cada presa, es decir el algoritmo obliga a que los porcentajes de extracción sumen 100% para todo el sistema. Por tanto para estos cuatro ensayos se tendrán 7 incógnitas (3 variables más por considerar el porcentaje de extracción asignado a cada una de las tres presas). El objetivo de este problema es optimizar las extracciones para cada presa disminuyendo los derrames y evitando los déficits que se lleguen a presentar, e identificar cual es el porcentaje de extracción anual que cumpla con las aseveraciones anteriores.

2.4 Función Objetivo

En los ensayos 1 a 3 la función objetivo (FO) consistió en maximizar las extracciones imponiendo penalizaciones en caso de presentarse condiciones de derrame y déficit en el sistema, esto es:

$$FO = \text{Max} \{ c_e * V_e - c_{der} V_{derr} - c_{def} V_{def} \} \quad (3)$$

Donde, para el periodo de simulación de n años, V_e es el volumen total de las extracciones en las tres presas, V_{derr} es volumen total de los derrames de las tres presas, V_{def} es el volumen total de los déficit de las tres presas; c_e es un coeficiente de peso para las extracciones, c_{der} es un coeficiente de penalización para el caso de derrame, c_{def} es un coeficiente de penalización para el evento de déficit.

Debido a que en los ensayos 4 a 7 se dejaron libres los porcentajes de extracción de cada presa, a la FO se le añadió la restricción de que la suma de los porcentajes de extracción anuales de las tres presas deben sumar 1, para ello se penalizó la diferencia respecto a uno de la suma de los porcentajes de extracción anual, quedando con ello la ecuación para la FO de la siguiente forma:

$$FO = \text{Max} \{ c_e * V_e - c_{der} V_{derr} - c_{def} V_{def} - c_{err} Err \} \quad (4)$$

Dónde: $Err = 1 - \sum_{i=1}^3 p_i$, p_i es el porcentaje anual asignado a la presa i , $i=1,2,3$; c_{err} es un factor de penalización para minimizar el valor de Err .

El programa para la simulación del sistema se codificó en Fortran y el programa ejecutable es llamado por el algoritmo genético para evaluar la función objetivo con cada individuo en cada generación. A continuación se muestra la introducción al manual SIMEPPAR.FOR, que ayudó a hacer las corridas de las simulaciones en la plataforma del software Matlab:

“El programa SIMEPPAR está escrito en lenguaje FORTRAN y compilado con la versión de Microsoft Developer Studio del paquete Fortran PowerStation 4.0 versión 1994-1995. Se puede compilar y ejecutar desde la ventana del paquete o desde MSDOS. Tiene como objetivo el simular el funcionamiento de un sistema de tres presas en paralelo que tienen una política de operación determinada. Se aplica a tres presas del sistema Cutzamala, a saber: El Bosque, Valle de Bravo y Villa Victoria.

Consta de un programa principal, que es el encargado de la ejecución de la secuencia del algoritmo, 3 subrutinas y una función:

- 1. Subrutina LEE_DATOS: es la encargada de leer el archivo que contiene los datos generales para las tres presas.*
- 2. Subrutina MESBUENO: se usa para ajustar el índice del inicio del mes en el proceso de simulación (se inicia en octubre) a la secuencia que se tiene normalmente en el año.*
- 3. Subrutina INTERLIN: en ella se realiza el proceso de interpolación lineal para los datos de las curvas elevaciones-capacidades-áreas.*
- 4. Función CAR: se encarga de transformar un entero de dos dígitos en una cadena de caracteres.*

En el cuerpo principal del programa se designan las unidades para la escritura de los resultados del proceso de simulación de cada presa, los archivos se nombraron como: SIMEPRE1, SIMEPRE2 y SIMEPRE3, el primero corresponde a El bosque, el segundo a Valle de Bravo y el tercero a Villa Victoria. También aquí se abren para lectura tres archivos que contienen los factores mensuales en los que se repartirá la extracción en cada presa, a saber: FACTOBOS, FACTOVBR y FACTOVVI, todos con extensión TXT.” (Mendoza, R., 2012 [15]).

Para realizar los ensayos con el algoritmo genético se tomaron en cuenta 200 individuos y 500 generaciones. Los límites del intervalo de búsqueda para los parámetros de la curva Z aparecen en la Tabla 16, donde para el Ensayo 1 se probó dejar fijo el volumen de almacenamiento inicial y la extracción inicial en 100 Hm³, un volumen de almacenamiento final de 400 Hm³ y su extracción final de 200 Hm³, para formar con estos valores el límite inferior; mientras que para el límite superior se utilizaron los valores que se obtuvieron con la simulación histórica dejando como volumen de almacenamiento inicial 459.8 Hm³, de extracción inicial 352.7 Hm³, volumen de almacenamiento final 747.2 Hm³ y una extracción final de 500 Hm³.

Partiendo de los resultados del Ensayo 1 se decidió ampliar la extracción inicial con 250 Hm³ y la extracción final con 350 Hm³, en el límite inferior, tratando de maximizar así las políticas de extracción anual, esto se aplicó a los Ensayos del 2 al 7.

Tabla 16 Límites de parámetros inferiores y superiores

Hm ³	Límite inferior (10 ⁶ m ³)				Límite superior (10 ⁶ m ³)			
	Vol alm inic	Extrac inic	Vol alm final	Extrac final	Vol alm inic	Extrac inic	Vol alm final	Extrac final
Ensayo 1	100	100	400	200	459.8	352.7	747.2	500
Ensayo 2 al 7	100	250	400	350	459.8	352.7	747.2	500

Como el objetivo es maximizar las extracciones y reducir al mínimo los déficits y derrames, se le inserta a la función objetivo, Ecuación (4), coeficientes de penalización que ayuden al algoritmo genético a encontrar los valores óptimos que cumplan con las aseveraciones de dicha ecuación. Estos coeficientes de penalización se muestran en la Tabla 17, cabe señalar que mientras mayor sea la penalización, menor será el rango de valores a escoger como óptimos.

Tabla 17 Coeficientes de penalización

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayo 7
C _e (por extracc)	1	1	1	1	1	1	1
C _{derr}	10	10	100	100	100	100	1,000
C _{def}	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
C _{err}				1,000	10,000	100,000	100,000

A continuación se muestra el Algoritmo Genético codificado en Matlab, en un primer ensamble, se abre el programa “*Obj2cutz.m*” donde se evalúa la función objetivo tomando los valores de la curva Z que previamente fueron alimentados, en seguida se llama al programa de simulación llamado '*SIMEPPAR.exe*' y por ultimo abre archivos de resultados de la simulación para evaluar la función objetivo, todo esto se muestra a continuación en su código fuente:

```
function ObjVal= Objrieg(Chrom)  
  
[Nind,NVAR] = size (Chrom);  
  
k=1e9;  
  
for j=1:Nind  
  
%CURVAEX=Chrom(j,:);  
  
CURVAEX=[Chrom(j,1) Chrom(j,2) Chrom(j,3) Chrom(j,4)];  
save CURVAEX.TXT CURVAEX -ASCII  
  
PORCEPRE=[Chrom(j,5) Chrom(j,6) Chrom(j,7)];  
  
save PORCEPRE.TXT PORCEPRE -ASCII  
  
% llama al programa de simulacion  
  
dos('SIMEPPAR.exe');  
  
% abre archivos de resultados de la simulacion para evaluar funcion  
objetivo
```


load ('EXT01');

load ('DER01');

load ('DEF01');

load ('EXT02');

load ('DER02');

load ('DEF02');

load ('EXT03');

load ('DER03');

load ('DEF03');

RESP11=EXT01;

RESP12=DER01;

RESP13=DEF01;

RESP21=EXT02;

RESP22=DER02;

RESP23=DEF02;

RESP31=EXT03;

RESP32=DER03;

RESP33=DEF03;

cr=1.0;

cderr=100.0;

%cdef=10.0; % pol 6

%cdef=100; % pol 7

%rpol 8 a 11

%pol14 a 21

%cdef=10000;

%pol22

cdef=1000;

cerr=100000;

%evalua a la funcion objetivo

P(j)= Chrom(j,5)+Chrom(j,6)+Chrom(j,7);

err=(1-P(j));

ObjVal(j)=[-0.01(cr*(RESP11+RESP21+RESP31)-
cderr*(RESP12+RESP22+RESP32)-
cdef*(RESP13+RESP23+RESP33))]+[cerr*err*err];*

end

% Build field descriptor

*%rpol cutzamala l, almac inicialtotal min , extrac min, almac inic
 max, extrac tot anual max,%p1, %p2,*p3*

*FieldD = [rep([PRECI],[1, NVAR]); 100. 250. 783. 350. 0.0 0.0 0.0;
 459.8 352.7 784.0 600. 1.0 1.0 1.0;...*

rep([1; 0; 1 ;1], [1, NVAR]);

% Initialise population

*Chrom = crtbp(NIND, NVAR*PRECI);*

% Reset counters

*Best = NaN*ones(MAXGEN,1); % best in current population*

gen = 0; % generational counter

% Evaluate initial population

ObjV = Obj2cutz(bs2rv(Chrom,FieldD));

ObjV=ObjV';

% Track best individual and display convergence

Best(gen+1) = min(ObjV);

plot((Best),'ro');xlabel('generation'); ylabel('(f(x))');

text(0.5,0.95,['Best = ', num2str(Best(gen+1))], 'Units', 'normalized');

drawnow;

```

% Generational loop
while gen < MAXGEN,

    % Assign fitness-value to entire population
    FitnV = ranking(ObjV);

    % Select individuals for breeding
    SelCh = select('rws', Chrom, FitnV, GGAP);

    % Recombine selected individuals (crossover)
    SelCh = recomb('xovsp',SelCh,0.7);

    % Perform mutation on offspring
    SelCh = mut(SelCh);

    % Evaluate offspring, call objective function
    ObjVSel = Obj2cutz(bs2rv(SelCh,FieldD));
    ObjVSel=ObjVSel';

    % Reinsert offspring into current population
    [Chrom ObjV]=reins(Chrom,SelCh,1,1,ObjV,ObjVSel);

    % Increment generational counter
    gen = gen+1;

    gen

    % Update display and record current best individual
    Best(gen+1) = min(ObjV);
    
```

```
%impresion 3 feb 04

% ObjVSel

% Best(gen+1)


% termina prueba impresion 3 feb 04


plot((Best),'ro'); xlabel('generation'); ylabel('(f(x))');
text(0.5,0.95,['Best = ', num2str(Best(gen+1))], 'Units', 'normalized');
drawnow;


[a b]=min(ObjV);
Best=bs2rv(Chrom(b,:),FieldD);
Best=Best;
save solucion.txt Best -ascii;


end


% End of GA
```

Una vez que se cuenta con los datos ya procesados, los límites de la curva de extracciones y los coeficientes de penalización se procede a realizar las simulaciones de los siete ensayos con ayuda de Matlab. Este proceso se realiza ensayo por ensayo y en función de los resultados de cada uno se fueron modificando algunos parámetros como los coeficientes de penalización o los límites superior e inferior, para ir ajustando la Curva Z como mejor convenga.

3. APLICACIÓN Y RESULTADOS

Los resultados del algoritmo genético de cada ensayo, acoplándole un programa de simulación de funcionamiento para un sistema de tres presas que operan en paralelo, se presentan en las Tabla 18 y Tabla 19.

Para los resultados de los primeros 3 ensayos se dejó fijo el porcentaje de extracción histórico como se aprecia en la Tabla 9 (EB 39.10%, VB 42.65%, VV 18.25%). Los archivos que arroja Matlab al finalizar la corrida son extensión “.TXT” este tipo de archivos son fácilmente manipulables con casi cualquier paquetería.

Tabla 18 Resultados del algoritmo genético con los Ensayos de simulación del 1 al 7

Hm ³	Presa 1 El Bosque				Presa 2 Valle de Bravo			
	Extracción (10 ⁶ m ³)	Derrame (10 ⁶ m ³)	Déficit (10 ⁶ m ³)	Alm mín (10 ⁶ m ³)	Extracción (10 ⁶ m ³)	Derrame (10 ⁶ m ³)	Déficit (10 ⁶ m ³)	Alm mín (10 ⁶ m ³)
Ensayo 1	2822.19	181.38	0.00	60.00	2147.32	1404.59	0.00	375.18
Ensayo 2	2869.52	145.82	8.68	60.00	2183.33	1368.58	0.00	374.51
Ensayo 3	2898.10	122.18	12.89	60.00	2205.08	1346.83	0.00	374.51
Ensayo 4	2774.30	201.64	10.75	60.00	3613.70	275.05	10.91	50.00
Ensayo 5	3311.70	80.94	366.56	60.00	3549.00	310.21	0.00	81.35
Ensayo 6	2552.40	415.81	0.00	76.17	3295.80	409.28	0.00	230.07
Ensayo 7	2712.60	273.97	0.00	65.25	3324.60	392.86	0.00	217.83

Tabla 19 Continuación Tabla 14 y Total Tres Presas de los Ensayos 1 al 7

Hm ³	Presa 3 Villa Victoria				Total Tres Presas		
	Extracción (10 ⁶ m ³)	Derrame (10 ⁶ m ³)	Déficit (10 ⁶ m ³)	Alm mín (10 ⁶ m ³)	Extracción (10 ⁶ m ³)	Derrame (10 ⁶ m ³)	Déficit (10 ⁶ m ³)
Ensayo 1	1165.69	423.40	0.00	127.41	6135.20	2009.37	0.00
Ensayo 2	1185.24	405.06	0.00	126.34	6238.09	1919.46	8.68
Ensayo 3	1197.04	393.53	0.00	126.31	6300.22	1862.54	12.89
Ensayo 4	1687.30	1.62	29.89	30.00	8075.30	478.31	51.55
Ensayo 5	1657.60	7.45	0.00	30.00	8518.30	398.60	366.56
Ensayo 6	1551.60	99.31	0.00	82.38	7399.80	924.40	0.00
Ensayo 7	1560.60	92.88	0.00	80.09	7597.80	759.71	0.00

De las tablas anteriores se observa que con la función objetivo de la Ecuación 1, para los ensayos del 1 al 3 se aumentan la extracción (6135.20, 6238.09, 6300.22 Hm³) respectivamente, disminuye el derrame (2009.37, 1919.46, 1862.54 Hm³) pero aumenta el déficit (0.00, 8.68, 12.89 Hm³). La gráfica de la Figura 20 muestra el resultado de las curvas de extracciones para cada caso.

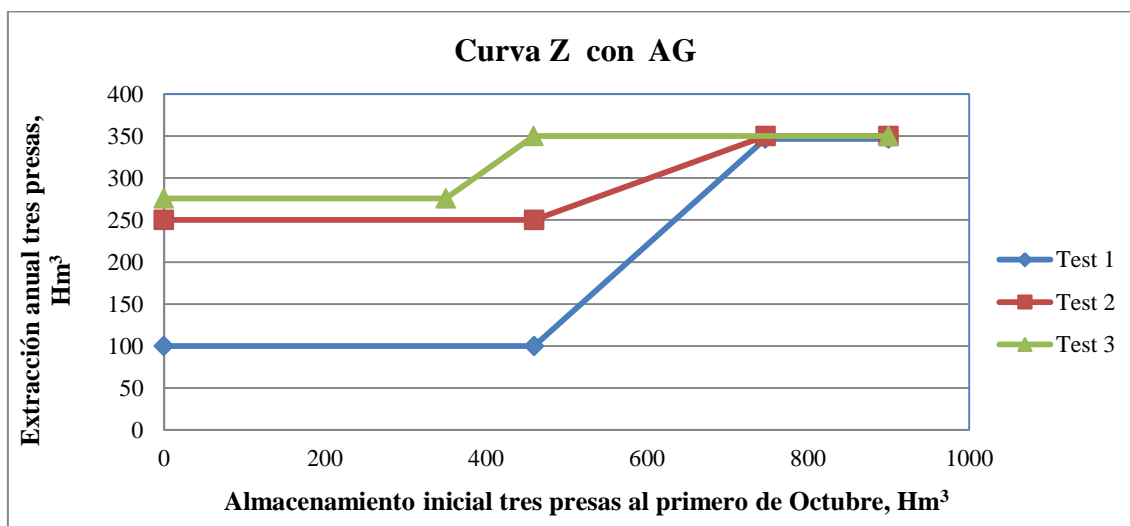


Figura 20 Curva Z con Algoritmo Genético. Ensayo 1-3

Como las extracciones están por debajo de los niveles históricos y los derrames son muy altos, se decide incluir la asignación de porcentaje de extracción, dejando de esta manera que el programa determine el porcentaje volviéndolo variable y a su vez dándole un peso por castigo, delimitando aún más los valores asignados a cada presa;

este procedimiento se realizó en los ensayos del 4 al 7 donde se aplica la función objetivo de la Ecuación 2.

Entonces, según los resultados de las Tablas 14 y 15, se tiene que los Ensayos 4 y 5 se comportan con la misma tendencia que los anteriores (del 1 al 3); se aumenta la extracción (8075.30, 8518.30 Hm³), disminuye el derrame (478.31, 398.60 Hm³) pero aumenta el déficit (51.55, 366.56 Hm³), es notorio que para estos ensayos se logran las máximas extracciones de todas las simulaciones, de hecho el Ensayo 5 presenta la más alta (8518.30 Hm³) pero a su vez se obtiene el mayor déficit en el total del sistema (366.56 Hm³), desechando también estos resultados como los mejores posibles.

Para tener un mejor cuadro de comparación, la Tabla 20 muestra los valores de Extracción, Derrame y Déficit Históricos tomados del periodo de 1994 al 2011.

Tabla 20 Funcionamiento Histórico total 3 presas, del periodo de 1994 al 2011

FUNCIONAMIENTO HISTÓRICO	(10 ⁶ m ³)
EXTRACCION TOTAL	8,011.11
DERRAME TOTAL	541.42
DEFICT TOTAL	195.05

Se aprecia que los valores de los ensayos 4 y 5 cumplen fácilmente con las expectativas aquí planteadas, pero la consigna ahora es llevar los déficits a ser casi nulos y a cumplir con un porcentaje de extracción igual a 1.

La Tabla 21 muestra los porcentajes de extracción de los 7 ensayos, se aprecia que los valores de los Ensayos 4 y 5 son muy cercanos a 1, de hecho el 5 es hasta el momento la mejor opción, con la intención de acercarnos lo más posible a la unidad se realizarán otros dos ensayos aumentando los coeficientes de penalización.

Tabla 21 Resultados de Porcentajes de Extracción Anual para cada Presa (Ensayos 1-7)

PRESAS	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayo 7
%P1 (EB)	0.39	0.39	0.39	0.37	0.34	0.35	0.37
%P2 (VB)	0.43	0.43	0.43	0.48	0.44	0.45	0.45
%P3 (VV)	0.18	0.18	0.18	0.22	0.21	0.21	0.21
SUMA	1.0000	1.0000	1.0000	1.0758	0.9854	1.0085	1.0324

Para el ensayo 6 se agrega una mayor penalización por error para disminuir los déficits hasta convertirlos en nulos, aunque no se logra obtener la máxima extracción (7399.80

Hm³), el derrame sigue siendo alto (924.40 Hm³). Enseguida se hace un ensayo 7 donde se aumenta el valor para penalizar el derrame con lo que se consiguen los valores óptimos con una mayor extracción (7597.80 Hm³) comparados con el anterior, un déficit nulo pero aún se tienen derrames altos comparados con los del 4 o 5 (759.71 Hm³) y sobre todo no se mejoraron los resultados comparados con los históricos salvo que los déficits son nulos.

En la figura 21 se muestra como quedan las curvas de extracciones para los ensayos del 4 al 7 donde se aplica la función objetivo de la Ecuación 2.

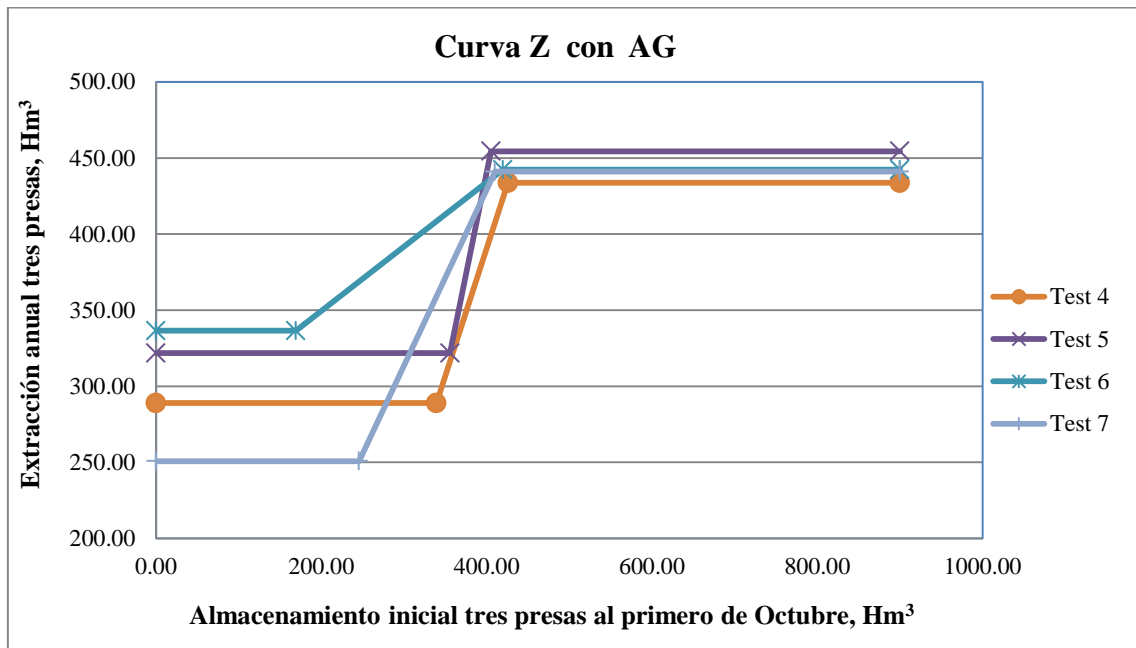


Figura 21 Curva Z con Algoritmo Genético. Ensayos 4-7

Debido a que los resultados de los últimos ensayos se han quedado por debajo de los valores históricos, se ha analizado cual es el almacenamiento máximo total histórico al primero de Octubre que fue de 782.52 Hm³, (Figura 21) curiosamente este valor se produce en el año de 1994 que es cuando se supone que los embalses están al NAMO, en otras palabras, esto es que las tres presas están completamente llenas y fue la primer suposición que se hizo en la simulación del funcionamiento de los vasos (capitulo 2.2 Datos Considerados).

Esta suposición está justificada por la Figura 22, que tiene como fuente la CONAGUA, donde se muestra que la capacidad máxima de almacenamiento es de 782.52 Hm³. En esta misma Figura 22 se presenta el Almacenamiento Promedio Mensual a partir de 1996 al 2013 y el promedio de almacenamiento más bajo que se presentó en el año 2009.

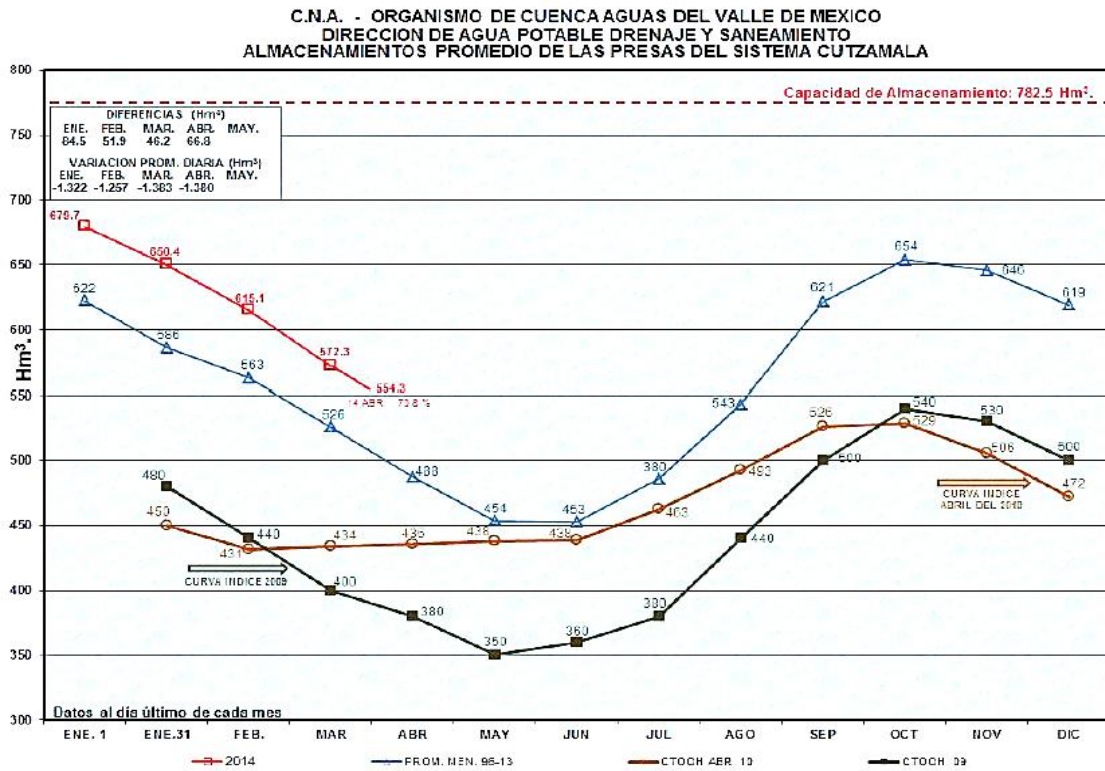


Figura 22 Almacenamientos Promedio de las presas del Sistema Cutzamala

Se descubrió que este valor es mucho mayor al máximo en Almacenamiento y Extracciones en los límites inferior y superior de las curvas Z calculadas en los ensayos anteriores, es decir, que para obtener las mejores extracciones se debe hacer que estos valores queden en el rango definido por la recta pendiente positiva que forma la curva Z, de esta manera se garantizaría una mayor extracción y con lo cual para los ensayos 6 y 7 se quedan muy por debajo del Almacenamiento Histórico del 1° de Octubre con menos de 500 Hm³, como se ve en la Figura 21.

Por consiguiente se hizo un nuevo ensayo 8 donde se ajustan los valores de Volumen de Almacenamiento Final en los límites inferior y superior, ver Tabla 22. Además de aumentar la penalización por coeficiente de derrame a 10,000; asegurando un menor derrame en este ensayo, ver Tabla 23.

Tabla 22 Nuevos Límites de parámetros inferiores y superiores (Ensayos 8 y 9)

Hm ³	Límite inferior (10 ⁶ m ³)				Límite superior (10 ⁶ m ³)			
	Vol alm inic	Extrac inic	Vol alm final	Extrac final	Vol alm inic	Extrac inic	Vol alm final	Extrac final
Ensayo 8	100	250	783	350	459.8	352.7	782.52	500
Ensayo 9	100	250	783	350	459.8	352.7	782.52	500

Tabla 23 Nuevos Coeficientes de penalización (Ensayo 8 y 9)

	Ensayo 8	Ensayo 9
C_r (por extracc)	1	1
C_{derr}	10,000	100
C_{def}	1,000	1,000
C_{err}	100,000	100,000

Por tanto los resultados arrojados, son los que se muestran en las Tablas 24, 25 y 26 respectivamente.

Tabla 24 Resultados del algoritmo genético con los Ensayos de simulación 8 y 9

Hm³	Presa 1 El Bosque				Presa 2 Valle de Bravo			
	Extracción (10⁶ m³)	Derrame (10⁶ m³)	Déficit (10⁶ m³)	Alm mín (10⁶ m³)	Extracción (10⁶ m³)	Derrame (10⁶ m³)	Déficit (10⁶ m³)	Alm mín (10⁶ m³)
Ensayo 8	2873.20	156.27	43.86	60.00	3594.60	264.83	0.00	76.49
Ensayo 9	2873.20	156.27	43.86	60.00	3594.60	264.83	0.00	76.49

Tabla 25 Continuación Tabla 20 y Total Tres Presas de los Ensayos 8 y 9

Hm³	Presa 3 Villa Victoria				Total		
	Extracción (10⁶ m³)	Derrame (10⁶ m³)	Déficit (10⁶ m³)	Alm mín (10⁶ m³)	Extracción (10⁶ m³)	Derrame (10⁶ m³)	Déficit (10⁶ m³)
Ensayo 8	1752.10	0.81	51.00	30.00	8219.90	421.91	94.86
Ensayo 9	1752.10	0.81	51.00	30.00	8219.90	421.91	94.86

Tabla 26 Resultados de Porcentajes de Extracción Anual para cada Presa (Ensayos 8 y 9)

PRESAS	Ensayo 8	Ensayo 9
%P1 (EB)	0.43	0.35
%P2 (VB)	0.61	0.44
%P3 (VV)	0.24	0.21
SUMA	1.2772	1.0011

Los resultados de Extracción (8219.90 Hm³), Derrame (421.91 Hm³) y Déficit (94.86 Hm³) son los óptimos puesto que comparados con los históricos tienen el mejor

comportamiento, solo que el porcentaje de extracción no es nada exacto de hecho presenta un excedente del 27% y este valor representaría extracciones físicas con las que no se cuenta, así que se procede a hacer la corrección ajustando los datos de penalización.

Para determinar cuáles son los valores de porcentaje de extracción óptimos, entre los primeros 7 ensayos, se decidió elegir al ensayo donde la suma de los porcentajes de extracción fueran los más cercanos a 1, y para el caso práctico corresponde al ensayo 6 con un total de 1.0085%. De esta manera se propone utilizar los mismos valores de coeficientes de penalización utilizados en el Ensayo 6 y aplicarlos a un nuevo Ensayo 9, donde, con la modificación a la pendiente de la curva Z (se hizo más tendida la recta, es decir se incrementaron los valores de almacenamiento final) se obtienen los mejores resultados. En las Tablas 21 22 y 23 se muestran los resultados arrojados.

Curiosamente las tres presas tienen los valores idénticos en los ensayo 8 y 9 esto nos garantiza que por fin se obtuvieron los resultados óptimos esperados, solo que ahora para el Ensayo 9 se ajustó el porcentaje de extracción prácticamente al valor de 1. La grafica de la Figura 23, muestra las curvas Z de estos dos ensayos.

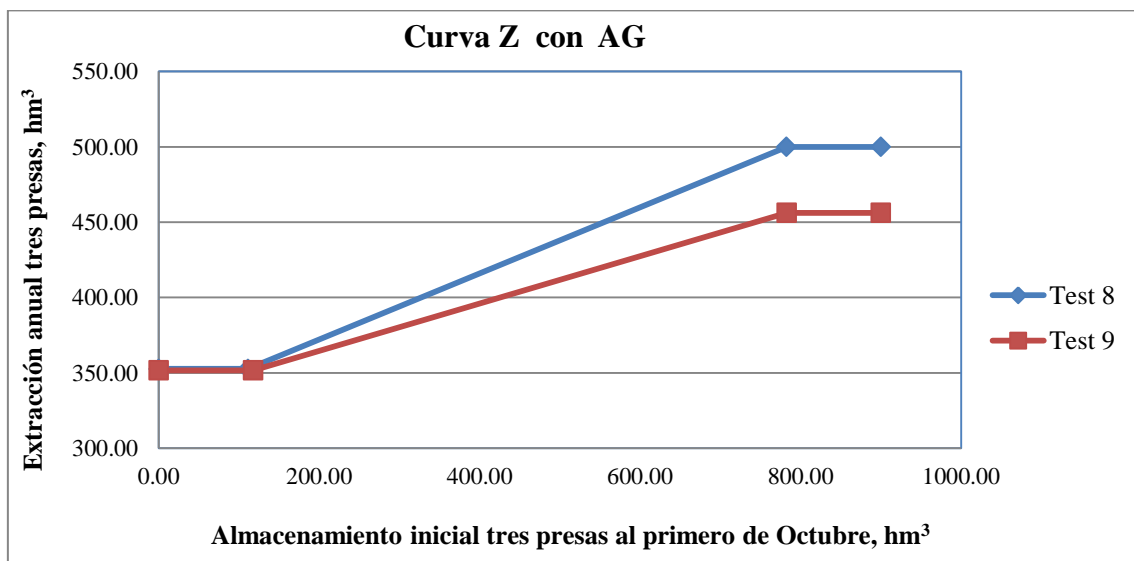


Figura 23 Curva Z con Algoritmo Genético. Ensayos 8 y 9

El programa de simulación, que se realizó en cada iteración, arroja los valores mensuales del Funcionamiento del Vaso, estas Tablas pueden ser consultadas en el ANEXO C de la presente Tesina, en ellas aparece mes a mes el resultado final del Almacenamiento Inicial, el Ingreso por cuenca propia, el Volumen Evaporado, el

resultado de la Política de Extracción, el Derrame y por último el Déficit, todo esto para el periodo que comprende los años de 1994 al 2011, recordando que el análisis es para un sistema en paralelo.

Al terminar la corrida en Matlab se guardan en archivos “.TXT” los resúmenes anuales para cada una de las presas, esto se ilustra en las siguientes Tablas 27, 28 y 29 y en las Figuras 24, 25 y 26 se grafica el comportamiento de elevación-almacenamiento de las tres presas en cuestión.

Estos resúmenes son la suma de los doce valores mensuales que se presentan año con año, cabe señalar que se partió de una extracción constante a 1/12 mensual, estas extracciones varían según los datos con los que se fue alimentando el programa como son el Ingreso y la Evaporación.

Para hallar estos resultados se utilizaron los registros históricos y los valores óptimos de la curva Z calculada con la extracción mensual constante como ya se había mencionado. Es decir que si históricamente se ocuparan los valores del Ensayo 9 se obtendrían los siguientes resultados:

Tabla 27 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa El Bosque

*****	*****	*****	RESUMEN ANUAL	*****	*****	*****
AÑO	DERRAME	DÉFICIT	ING HIST	EXT TOTAL	ALMAC PRO	ELEV PRO
	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	(MSNM)
1994	20.55	3.59	159.71	175.7	126.79	1733.71
1995	0	0	159.9	170	121.18	1733.11
1996	0	0	131.82	168.4	129.18	1733.96
1997	0	40.27	147.44	162.5	88.61	1728.96
1998	0	0	184.87	161.6	145.35	1735.69
1999	0	0	138.4	161.4	121.78	1733.17
2000	0	0	195.22	155.8	135.88	1734.68
2001	0	0	112.15	159.6	156.19	1736.84
2002	0	0	186.1	152.2	136.68	1734.76
2003	0	0	137.99	158.7	136.89	1734.79
2004	0	0	155.63	162.5	130.66	1734.12
2005	0	0	174.03	159.7	122.24	1733.22
2006	0.9	0	203.28	158.2	173.99	1738.72
2007	6.04	0	164.48	163.5	168.32	1738.12
2008	5.92	0	149.63	154.7	157.72	1737
2009	122.86	0	288.05	148.5	195.94	1740.79

2010	0	0	132.93	153.5	148.47	1736.02
2011	0	0	147.46	146.7	141.18	1735.24
TOTAL	156.27	43.86	2969.09	2873.2		

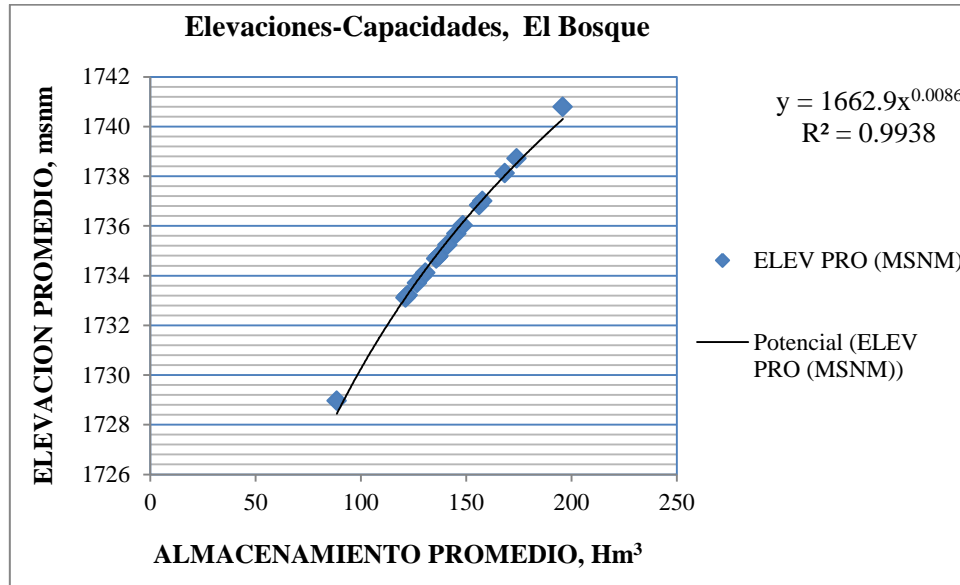


Figura 24 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa El Bosque

Tabla 28 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa Valle de Bravo

*****	*****	*****	RESUMEN ANUAL	*****	*****	*****
AÑO	DERRAME	DÉFICIT	ING HIST	EXT TOTAL	ALMAC PRO	ELEV PRO
	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	(MSNM)
1994	8.36	0	203.88	219.9	360.39	1828.06
1995	97.72	0	335.57	212.7	391.5	1829.84
1996	145.17	0	356.26	210.7	390.83	1829.8
1997	5.34	0	187.4	203.3	362.3	1828.17
1998	8.24	0	181.19	202.2	357.67	1827.9
1999	0	0	174.41	201.9	320.29	1825.75
2000	0	0	187.09	194.9	296.02	1824.24
2001	0	0	166.53	199.6	276.31	1823.02
2002	0	0	209.32	190.4	270.87	1822.68
2003	0	0	223.84	198.6	304.07	1824.74
2004	0	0	177.96	203.3	302.31	1824.63
2005	0	0	175.76	199.8	265.89	1822.37
2006	0	0	178.45	198	250.96	1821.43
2007	0	0	156.59	204.5	208.12	1818.69
2008	0	0	151.14	193.5	167.74	1816.06

2009	0	0	190.76	185.8	139.41	1814.18
2010	0	0	161.22	192	140.03	1814.22
2011	0	0	141.69	183.5	97.59	1810.97
TOTAL	264.83	0	3559.06	3594.6		

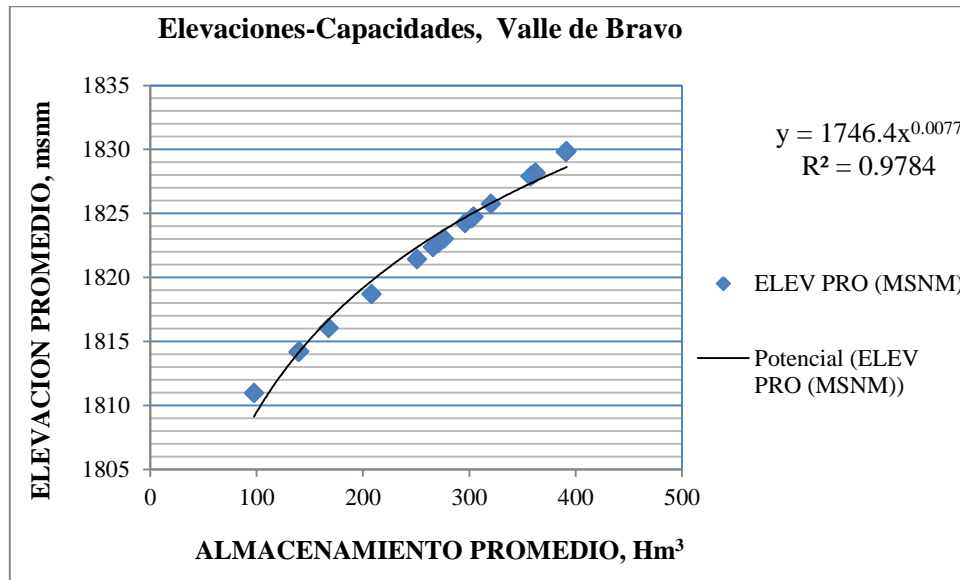


Figura 25 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa Valle de Bravo

Tabla 29 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa Villa Victoria

*****	*****	*****	RESUMEN ANUAL	*****	*****	*****
AÑO	DERRAME	DÉFICIT	ING HIST	EXT TOTAL	ALMAC PRO	ELEV PRO
	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	(MSNM)
1994	0.81	0	90.48	107.2	152.69	2604.33
1995	0	0	68.28	103.7	133.77	2603.61
1996	0	0	62.08	102.7	107.97	2602.56
1997	0	0	84.51	99.1	56.05	2599.98
1998	0	0	101.79	98.6	78.89	2601.22
1999	0	8.52	67.25	98.4	48.61	2599.47
2000	0	31.66	82.42	95	42.59	2599.06
2001	0	10.82	70.7	97.3	49.19	2599.51
2002	0	0	126.6	92.8	66.61	2600.6
2003	0	0	143.12	96.8	83.89	2601.47
2004	0	0	95.71	99.1	142.09	2603.93
2005	0	0	88.29	97.4	107.39	2602.53
2006	0	0	141.88	96.5	135.19	2603.66

2007	0	0	37.62	99.7	129.49	2603.45
2008	0	0	66.82	94.3	78.32	2601.19
2009	0	0	135.06	90.5	95.11	2602.01
2010	0	0	56.48	93.6	93.65	2601.95
2011	0	0	51.61	89.4	54.77	2599.89
TOTAL	0.81	51	1570.7	1752.1		

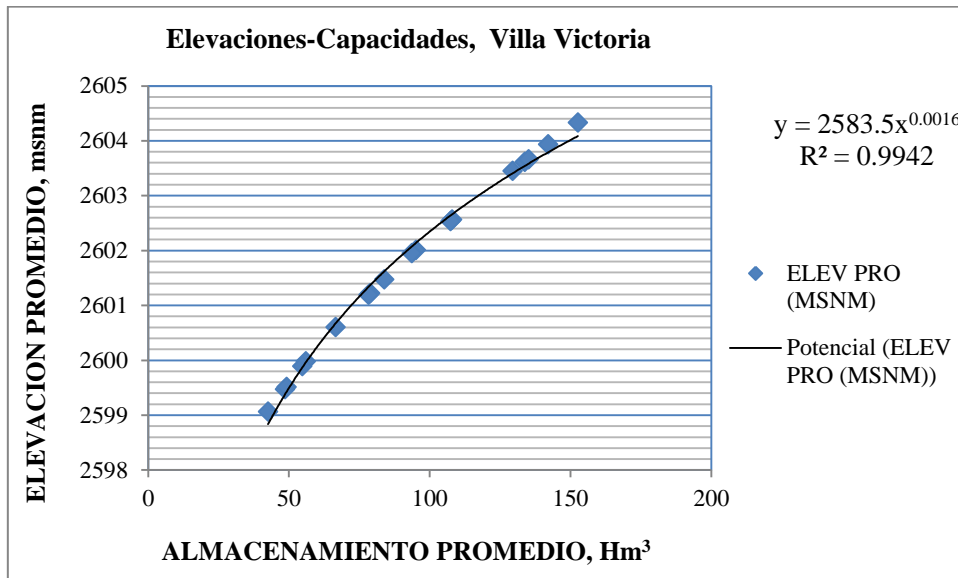


Figura 26 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa Villa Victoria

Una vez que se revisaron los resultados del ensayo 9 con el histórico, se hará una comparación año con año para analizar en qué proporción mejoró la situación del Sistema Cutzamala con respecto al histórico, a continuación la Tabla 30 muestra los grandes totales de todo el sistema, y la Tabla 31 muestra la comparación de porcentajes de extracción. En el ANEXO B se pueden consultar las comparaciones año con año de cada una de las presas del histórico contra el Ensayo 9, en los conceptos de Extracción, Derrame y Déficit.

Tabla 30 Comparación Análisis Histórico contra Resultados Óptimos

	HISTÓRICO (Hm³)	Ensayo 9 (Hm³)	% de Variación
EXTR TOT	8011.11	8219.90	102.61%
DERR TOT	541.42	421.91	77.93%
DEFIC TOT	195.05	94.86	48.63%

De la Tabla anterior se concluye que se mejoran las Extracciones con un 2.61%, mientras que el Derrame disminuye en un 22.07% y el Déficit también se logra disminuir en un 51.37%. Se sabe que para lograr una mejor Extracción es necesario realizar un análisis más detallado, entrando a obtener resultados de extracción mensual que están en función de las temporadas de sequía y avenidas de las cuencas en cuestión.

Por tanto el porcentaje de Extracción asociado a cada una de las presas del Sistema Cutzamala, se muestra en la siguiente Tabla 31:

Tabla 31 Comparación de Porcentajes de Extracciones Históricas-Óptimas

PRESAS	Histórico	Ensayo 9	% de Variación
%P1 (EB)	0.39	0.35	88.81%
%P2 (VB)	0.43	0.44	103.43%
%P3 (VV)	0.18	0.21	116.54%
SUMA	1.0000	1.0011	----

De la Tabla anterior se puede concluir que para la presa El Bosque se reduce la Extracción en un 11.19%, para Valle de Bravo se aumenta en un 3.43% y para la presa de Villa Victoria también se aumenta la Extracción en un 16.54% comparado con lo que se viene haciendo actualmente en campo.

Por ultimo en las Figuras 27 a 35 se presenta una comparación del comportamiento de la extracción, del derrame y del déficit por presa de la operación histórica respecto a la simulada con la política 9 (La tabulación correspondiente a esta comparación puede ser consultada en el ANEXO D).

Cabe recordar que en la revisión del funcionamiento histórico del periodo de 18 años analizado se encontraron extracciones totales en el sistema de 8011.11 millones de m³, derrames totales de 541.42 millones de m³ y un déficit total de 195.05 millones de m³, por lo que de haberse usado la política de operación 9, se habría obtenido una operación más adecuada, con ella la extracción es ligeramente mayor (8219.90 millones de m³) los derrames disminuyen (421.91 millones de m³) y el déficit disminuye prácticamente la mitad (94.86 millones de m³).

Tabla 32 Comparación Análisis Histórico contra Simulación Política 9. El Bosque

EL BOSQUE						
TOTALES ANUALES	EXTRACCIÓN (10 ⁶ m ³)	EXT TOTAL (10 ⁶ m ³)	DERRAME (10 ⁶ m ³)	DERRAME (10 ⁶ m ³)	DÉFICIT (10 ⁶ m ³)	DÉFICIT (10 ⁶ m ³)
Hm ³	HISTÓRICA	ÓPTIMO (9)	HISTÓRICO	ÓPTIMO (9)	HISTÓRICO	ÓPTIMO (9)
1994	195.48	175.70	18.90	20.55	15.10	3.59
1995	190.19	170.00	0.00	0.00	4.52	0.00
1996	184.55	168.40	0.00	0.00	4.99	0.00
1997	170.04	162.50	0.00	0.00	79.30	40.27
1998	181.27	161.60	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	176.84	161.40	0.00	0.00	18.21	0.00
2000	165.83	155.80	0.00	0.00	0.00	0.00
2001	173.78	159.60	0.00	0.00	0.00	0.00
2002	154.53	152.20	0.00	0.00	4.12	0.00
2003	179.50	158.70	0.00	0.00	14.68	0.00
2004	179.62	162.50	0.00	0.00	22.40	0.00
2005	172.13	159.70	0.00	0.00	23.03	0.00
2006	176.13	158.20	0.00	0.90	0.00	0.00
2007	180.39	163.50	0.00	6.04	0.00	0.00
2008	159.21	154.70	0.00	5.92	0.00	0.00
2009	151.09	148.50	62.55	122.86	0.00	0.00
2010	182.47	153.50	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	159.01	146.70	0.00	0.00	8.70	0.00

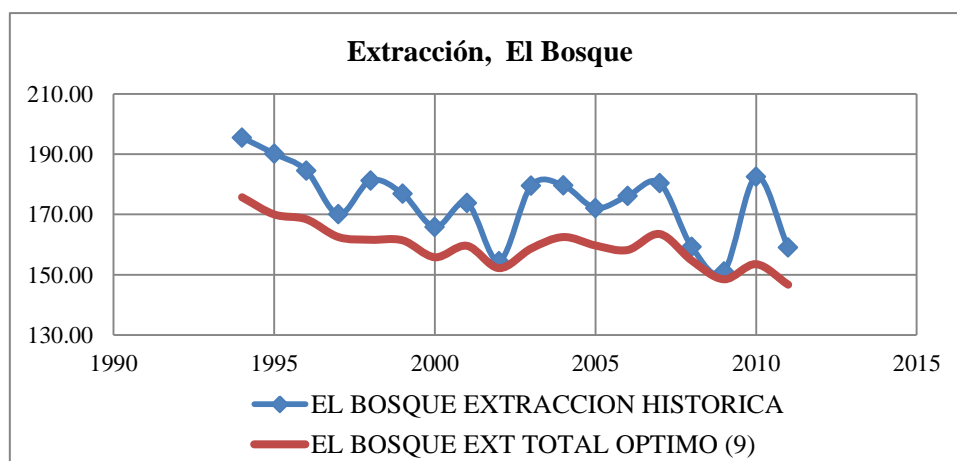


Figura 27 Extracción histórica y simulada con la política 9. Presa El Bosque

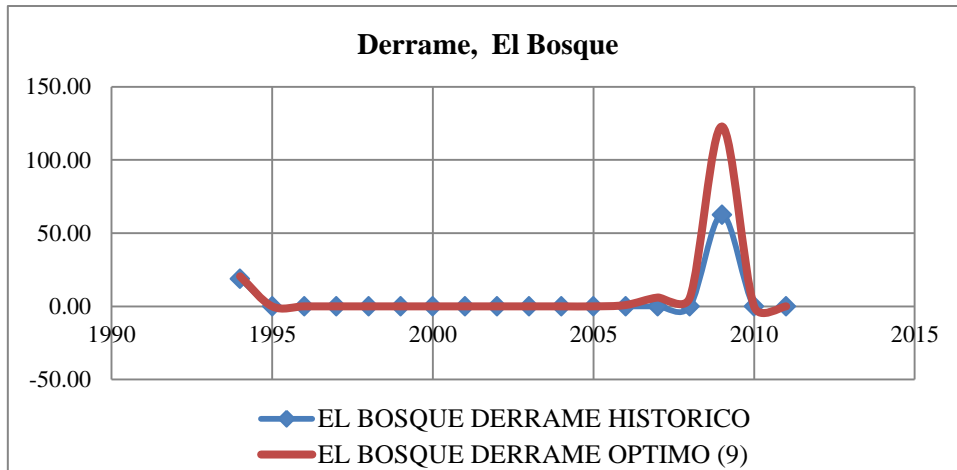


Figura 28 Derrame histórico y simulado con la política 9. Presa El Bosque

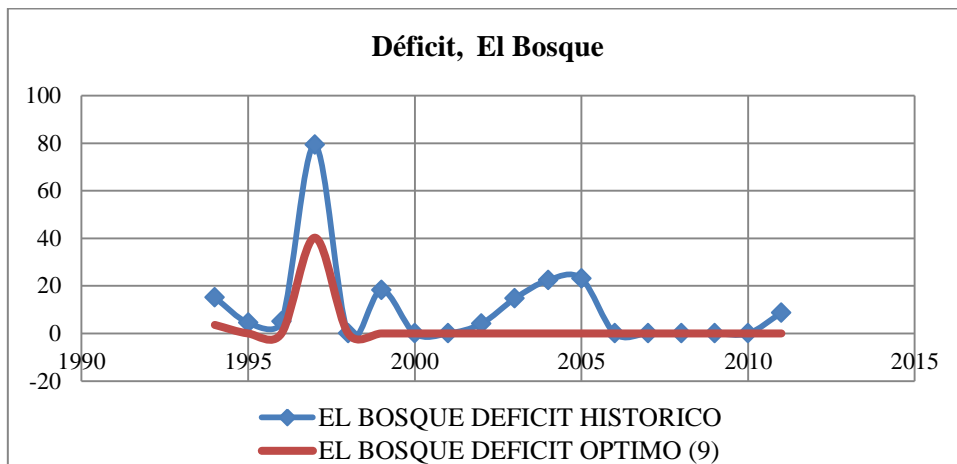


Figura 29 Déficit histórico y simulado con la política 9. Presa El Bosque

Tabla 33 Comparación Análisis Histórico contra Simulación Política 9. Valle de Bravo.

VALLE DE BRAVO						
TOTALES ANUALES	EXTRACCIÓN (10 ⁶ m ³)	EXT TOTAL (10 ⁶ m ³)	DERRAME (10 ⁶ m ³)	DERRAME (10 ⁶ m ³)	DÉFICIT (10 ⁶ m ³)	DÉFICIT (10 ⁶ m ³)
Hm ³	HISTÓRICA	ÓPTIMO (9)	HISTÓRICO	ÓPTIMO (9)	HISTÓRICO	ÓPTIMO (9)
1994	213.27	219.90	8.91	8.36	0.00	0.00
1995	207.50	212.70	108.98	97.72	0.00	0.00
1996	201.34	210.70	154.52	145.17	0.00	0.00
1997	185.51	203.30	6.82	5.34	0.00	0.00
1998	197.77	202.20	25.31	8.24	0.00	0.00
1999	192.94	201.90	0.00	0.00	0.00	0.00

2000	180.92	194.90	0.00	0.00	0.00	0.00
2001	189.60	199.60	0.00	0.00	0.00	0.00
2002	168.59	190.40	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	195.83	198.60	0.00	0.00	0.00	0.00
2004	195.96	203.30	1.20	0.00	0.00	0.00
2005	187.80	199.80	0.00	0.00	0.00	0.00
2006	192.15	198.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2007	196.80	204.50	0.00	0.00	0.00	0.00
2008	173.70	193.50	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	164.84	185.80	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	199.07	192.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	173.48	183.50	0.00	0.00	0.00	0.00

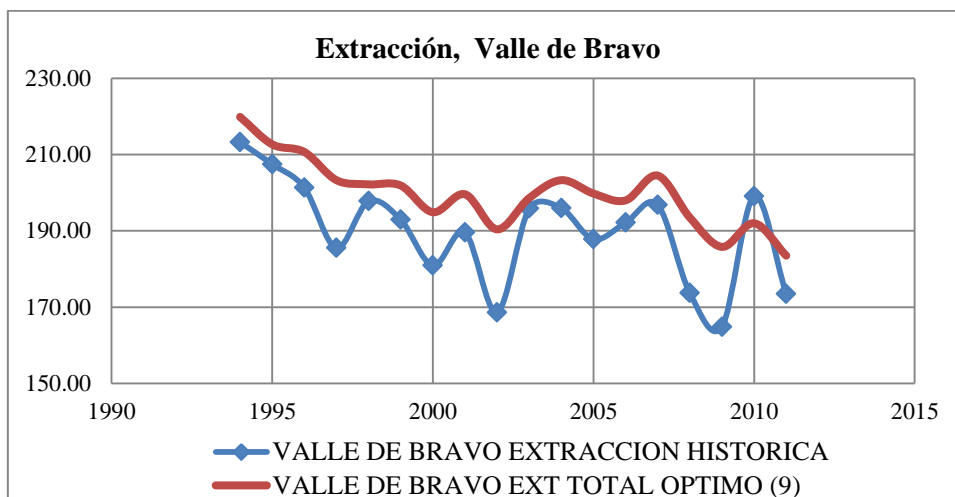


Figura 30 Extracción histórica y simulada con la política 9. Presa Valle de Bravo

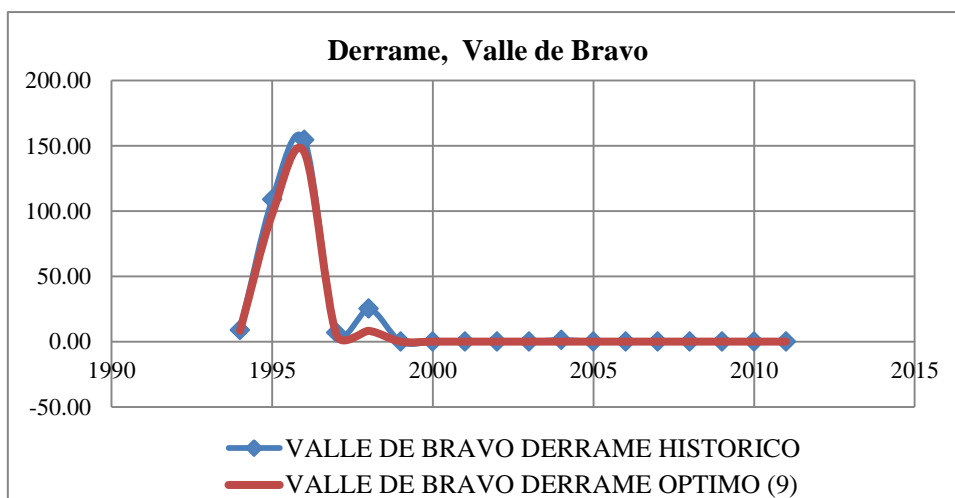


Figura 31 Derrame histórico y simulado con la política 9. Presa Valle de Bravo

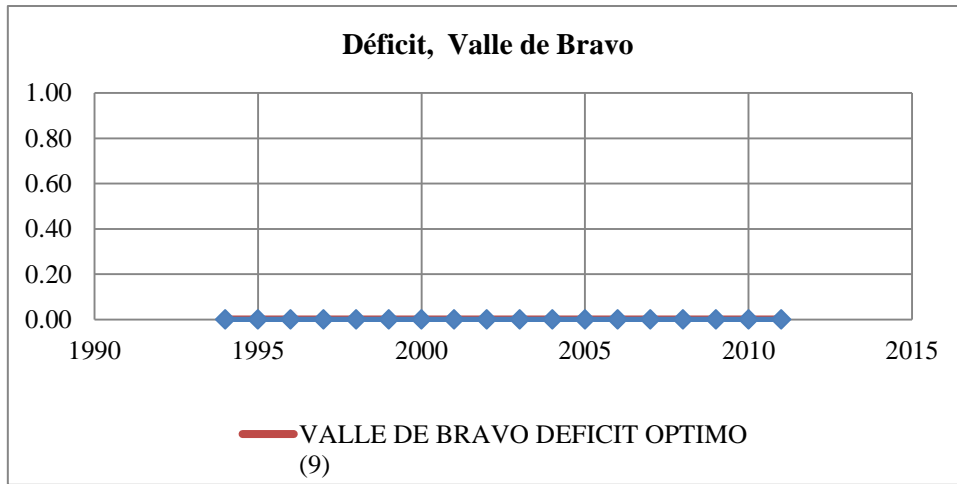


Figura 32 Déficit histórico y simulado con la política 9. Presa Valle de Bravo

Tabla 34 Comparación Análisis Histórico contra Simulación Política 9. Villa Victoria.

VILLA VICTORIA						
TOTALES ANUALES	EXTRACCIÓN (10 ⁶ m ³)	EXT TOTAL (10 ⁶ m ³)	DERRAME (10 ⁶ m ³)	DERRAME (10 ⁶ m ³)	DÉFICIT (10 ⁶ m ³)	DÉFICIT (10 ⁶ m ³)
Hm ³	HISTÓRICA	ÓPTIMO (9)	HISTÓRICO	ÓPTIMO (9)	HISTÓRICO	ÓPTIMO (9)
1994	91.25	107.20	2.14	0.81	0.00	0.00
1995	88.78	103.70	0.00	0.00	0.00	0.00
1996	86.14	102.70	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	79.37	99.10	0.00	0.00	0.00	0.00
1998	84.61	98.60	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	82.55	98.40	0.00	0.00	0.00	8.52
2000	77.40	95.00	0.00	0.00	0.00	31.66
2001	81.12	97.30	0.00	0.00	0.00	10.82
2002	72.13	92.80	5.41	0.00	0.00	0.00
2003	83.78	96.80	58.96	0.00	0.00	0.00
2004	83.84	99.10	27.45	0.00	0.00	0.00
2005	80.35	97.40	0.00	0.00	0.00	0.00
2006	82.21	96.50	50.88	0.00	0.00	0.00
2007	84.20	99.70	1.99	0.00	0.00	0.00
2008	74.32	94.30	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	70.52	90.50	7.42	0.00	0.00	0.00
2010	85.17	93.60	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	74.22	89.40	0.00	0.00	0.00	0.00

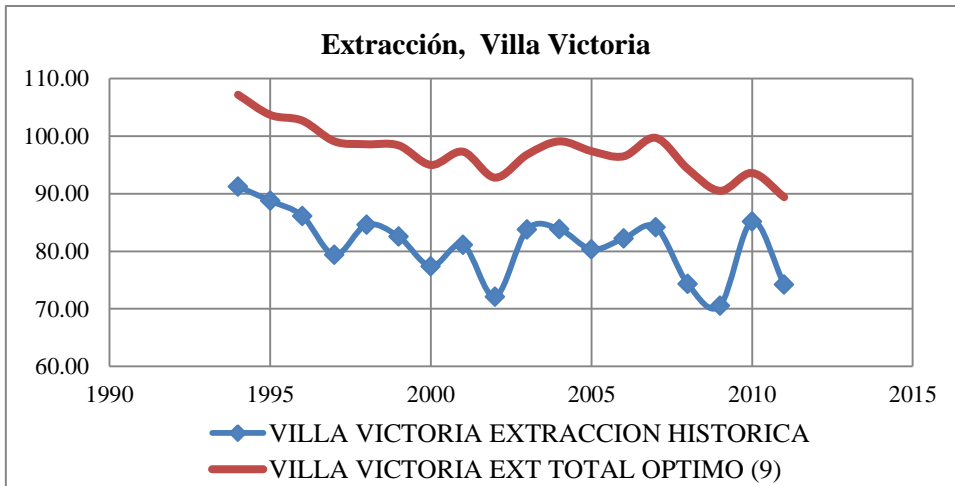


Figura 33 Extracción histórica y simulada con la política 9. Presa Villa Victoria

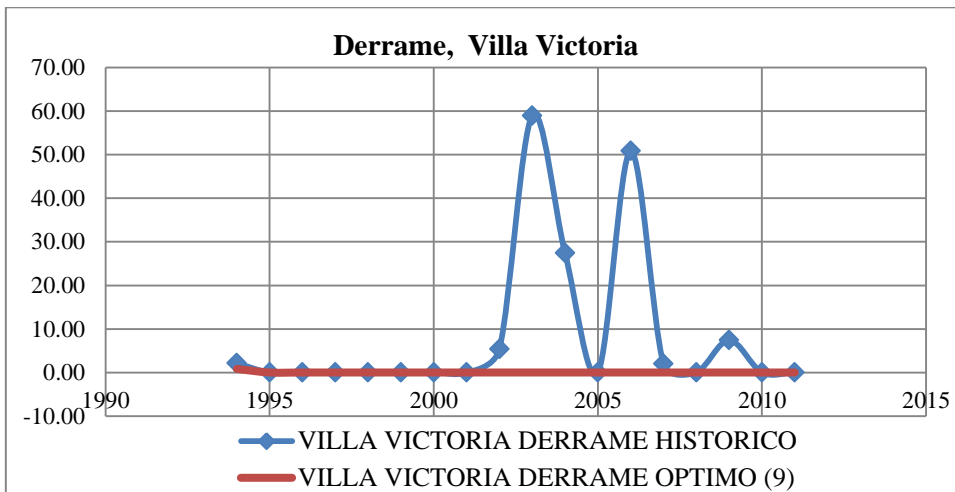


Figura 34 Derrame histórico y simulado con la política 9. Presa Villa Victoria

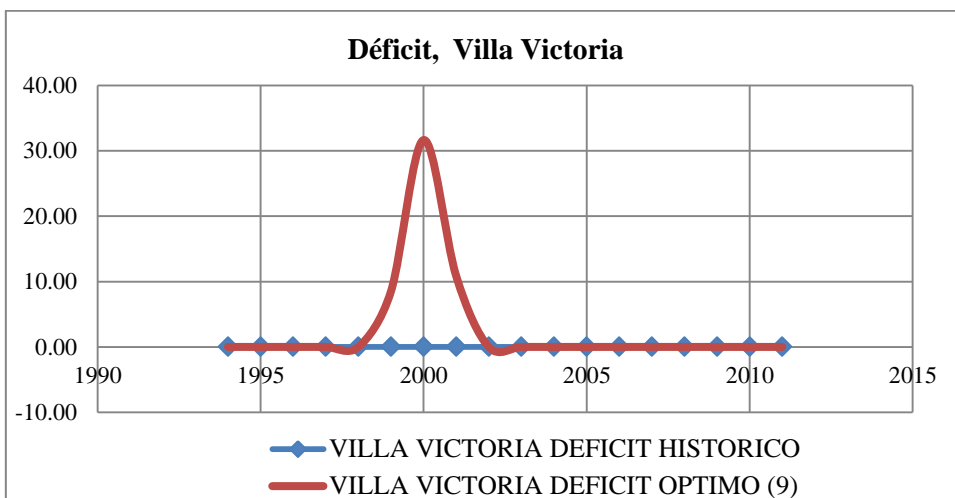


Figura 35 Déficit histórico y simulado con la política 9. Presa Villa Victoria

De esta manera los resultados obtenidos que forman la curva Z óptima son los que se muestran en la Tabla 32 y Figura 36 que se determinaron con los valores del Ensayo 9.

Tabla 35 Valores óptimos que conforman la Curva Z

Ensayo 9	
Almacenamiento	Extracción
10^6 m^3	10^6 m^3
0.00	351.61
117.71	351.61
782.77	456.22
900.00	456.22

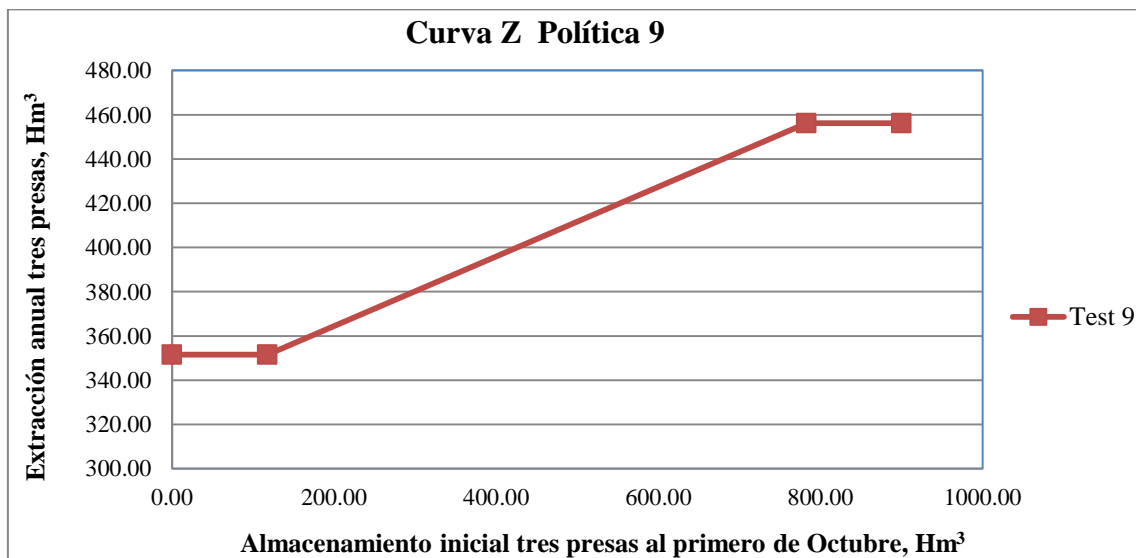


Figura 36 Curva Z con política de operación 9

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Sistema Cutzamala es la obra de infraestructura hidráulica más importante que tiene la región centro de México; tiene como objetivo abastecer con al menos $16 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua a la capital del país desde 1982. El sistema está formado por las presas Tuxpan y el Bosque, ubicadas en el Estado de Michoacán, así como las de Ixtapan del Oro, Villa Victoria, Valle de Bravo, Chilesdo y Colorines, en el Estado de México; cada una de ellas forma parte del Sistema del Río Cutzamala.

En este estudio se obtuvieron políticas de operación anual para satisfacer la creciente demanda de agua potable utilizando tres de las presas más importantes del sistema: El Bosque, Valle de Bravo y Villa Victoria, suponiendo que operan como un sistema en paralelo, esto es debido a que no se conocen los datos de las presas derivadoras. Se usaron Algoritmos Evolutivos, concretamente Algoritmos Genéticos, para evaluar una función objetivo en la que se busca maximizar las extracciones y minimizar, imponiendo penalizaciones, la presencia de derrames y déficit en las principales presas del sistema. El funcionamiento del conjunto con las reglas de operación así definidas se simuló usando el registro histórico de volúmenes de ingreso del año 1994 al 2011.

El uso de algoritmos genéticos, acoplándole un programa de simulación del funcionamiento de un sistema de tres presas en paralelo, llevó a la determinación de políticas de extracción óptimas, con fines de agua potable en el sistema de tres presas del río Cutzamala. La política óptima encontrada logró conciliar los objetivos planteados satisfactoriamente.

Así que una vez analizados los datos históricos, realizando un funcionamiento de vasos para hallar la extracción total del sistema que fue de 8011.11 millones de m^3 , con

derrames totales de 541.42 millones de m^3 y un déficit total de 195.05 millones de m^3 , y compararlos con la corrida del Ensayo 9 utilizando los parámetros de la Curva Z (Tablas 22 y 23) se establece que las extracciones totales anuales de un año (Cabe señalar que se considera un año para las tres presas del sistema, al total del almacenamiento al primero de Octubre), utilizando la política de operación 9, se cumple con una extracción más adecuada que es ligeramente mayor con 8219.90 millones de m^3 , los derrames disminuyen considerablemente a 421.91 millones de m^3 , mientras que el déficit prácticamente se reduce a la mitad 94.86 millones de m^3 .

De esta manera se determina que para la presa El Bosque se debe extraer un 35% del total de extracción anual, para Valle de Bravo un 44% y Villa Victoria debe cumplir con un 21%. Si bien es una política en que la extracción es mayor solo en un 2.61% comparado con la extracción total histórica, se cumple con el objetivo de obtener el menor derrame posible así mismo con el déficit, que se logró llevar a prácticamente la mitad para las tres presas del Sistema Cutzamala.

Es importante disponer de la información de los otros embalses del sistema para, en un futuro, obtener políticas que consideren el funcionamiento completo del sistema y desarrollar también la variación mes a mes de los porcentajes de extracción del agua que entregan las presas. Un ejemplo de la necesidad de obtener estos datos se muestra en la Tabla 1 donde se comparan los registros reales del periodo de 1991 a 2006, aquí es evidente que los resultados no son los mismos comparados con el análisis histórico hecho en esta tesina, esto es debido a que no se cuenta con los datos completos de las presas derivadoras.

Los resultados aquí obtenidos son simulando que las tres presas analizadas trabajan independientes y alimentan a la planta potabilizadora Los Berros, es decir, se analizó como un sistema en paralelo, esto es un caso hipotético debido a que realmente El Bosque y Valle de Bravo pueden trabajar en cascada, mientras que Villa Victoria si alimenta directamente a la planta potabilizadora.

Sería importante conocer y analizar cómo son realmente las políticas de operación, para que con ayuda de las herramientas aquí planteadas, se logre operar más eficientemente el sistema y poder cubrir la demanda de la Zona Conurbada de la Ciudad de México; por tanto estos datos pudiesen ser bien tomados por las dependencias encargadas en suministrar el agua y aplicar esta nueva política de operación.

5. REFERENCIAS

- [1] Oscar A. Escolero Fuentes, Sandra E. Martínez, Stefanie Kralisch, Maria Perevochtchikova (2009). “Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto de cambio climático”, Ciudad de México, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- [2] INE, Instituto Nacional de Ecología (2009) “Priorización y recomendaciones de acciones de conservación en las subcuencas del Sistema Cutzamala”, Dirección de Manejo Integral de Cuencas”, Dirección general de investigación de ordenamiento ecológico y conservación de ecosistemas
- [3] Libro Blanco CONAGUA-04 (2012) “Sustentabilidad del Sistema Cutzamala”, Comisión Nacional del Agua. Páginas 93-95
- [4] Cecilia Tortajada and Enrique Castelán (2003) “Water Management for a Megacity: Mexico City Metropolitan Area”. Article *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32(2):124-129. 2003.
- [5] Tortajada, C. (1999). “Environmental Sustainability of Water Management in Mexico”. *Third World Centre for Water Management, Mexico*, 155 pp.
- [6] CNA-SEMARNAT, (2005) “Sistema Cutzamala. Agua para millones de mexicanos”, Documento de trabajo de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. México. Páginas 3-31
- [7] Bunge, V., Martínez, J. y Ruiz-Bedolla, K. (2012) “Escenarios de la dinámica hídrica de la región de aporte del sistema Cutzamala”. Documento de Trabajo de la Dirección General de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- [8] Huang, Wen-Cheng, Yuan, Lun-Chin, Lee, Chi-Ming (2002). “Linking genetic algorithms with stochastic dynamic programming to the long-term operation of a multireservoir system *Water Resources Research*”, 38, Pages 401-409.
- [9] Zhang X., Srinivasan R, Bosch D. (2009). “Calibration and uncertainty analysis of the SWAT model using Genetic Algorithms and Bayesian Model Averaging”. *Journal of Hydrology. Volume 374, Issues 3–4, Pages 307–317*.
- [10] Domínguez, M. R., Arganis, J. M. L. (2012). “Validation of methods to estimate design discharge flow rates for dam spillways with large regulating capacity”. *Hydrological Sciences Journal* 57 (3), Pages 460-478.
- [11] Francisco J. Aparicio Mijares (1992). “Fundamentos de Hidrología de Superficie”, México.
- [12] Holland, J. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. MIT Press.
- [13] Goldberg, D.E. (1989). “Genetic algorithms in search, optimization and machine learning”, Boston, MA. Addison-Wesley.
- [14] Marcos Gestal, Daniel Rivero, Juan Ramón Rabuñal, Julián Dorado, Alejandro Pazos (2010). “Introducción a los Algoritmos Genéticos y la Programación Genética”, Coruña, Páginas 11-18.
- [15] Rosalva Mendoza Ramírez. (2013). “Manual del Programa: SIMEPPAR.FOR”, Morelia, Mich., Instituto de Ingeniería, UNAM.
- [16] The MathWorks (1992). *MATLAB Reference Guide*. The MathWorks, Inc.

6. ANEXOS

ANEXO A

Tabla 36 Registro histórico de las presas del Sistema Cutzamala. Fuente: CONAGUA

EL BOSQUE				VALLE DE BRAVO				VILLA VICTORIA			
MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)	MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)	MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)
ene-94	-1.02	24.33	1734.80	ene-94	22.15	21.29	1828.21	ene-94	3.12	4.16	2604.75
feb-94	-0.77	19.14	1732.31	feb-94	13.24	18.66	1827.36	feb-94	2.21	4.26	2604.62
mar-94	-1.65	22.91	1729.56	mar-94	19.21	20.74	1826.45	mar-94	1.25	5.92	2604.37
abr-94	-1.69	15.32	1726.51	abr-94	12.45	20.74	1825.47	abr-94	0.05	11.39	2603.88
may-94	1.84	12.11	1724.60	may-94	7.65	21.16	1824.48	may-94	3.93	12.97	2603.32
jun-94	25.16	13.18	1724.43	jun-94	-1.77	12.59	1824.09	jun-94	19.06	18.77	2603.16
jul-94	31.02	15.96	1727.12	jul-94	-1.08	10.71	1824.55	jul-94	17.72	19.75	2603.24
ago-94	44.82	11.80	1730.21	ago-94	-12.84	10.58	1825.20	ago-94	23.96	18.44	2603.30
sep-94	63.22	6.78	1735.98	sep-94	-28.06	10.27	1826.44	sep-94	29.53	17.55	2603.74
oct-94	35.21	10.09	1740.47	oct-94	-16.61	15.92	1827.67	oct-94	9.78	10.78	2603.82
nov-94	4.44	13.00	1740.92	nov-94	-2.76	11.24	1828.09	nov-94	0.78	15.92	2603.47
dic-94	-9.44	8.00	1739.52	dic-94	-4.58	20.78	1827.92	dic-94	1.20	12.86	2602.82
ene-95	-7.83	11.47	1737.71	ene-95	1.80	21.42	1827.18	ene-95	-0.77	10.87	2602.29
feb-95	-10.21	0.00	1736.56	feb-95	-7.56	19.26	1826.45	feb-95	0.96	9.94	2601.78
mar-95	-13.00	16.81	1734.15	mar-95	13.02	21.38	1825.64	mar-95	-0.07	11.62	2601.15
abr-95	-6.32	10.90	1731.71	abr-95	5.70	20.51	1824.68	abr-95	-0.82	12.75	2600.30
may-95	-0.87	9.72	1729.58	may-95	-3.09	21.35	1823.81	may-95	1.40	11.07	2599.44
jun-95	18.81	10.74	1729.50	jun-95	-5.20	20.41	1823.36	jun-95	9.47	9.61	2599.09
jul-95	46.53	11.79	1732.67	jul-95	-10.70	21.37	1823.52	jul-95	21.80	6.60	2599.77
ago-95	56.74	14.30	1736.91	ago-95	-19.75	21.31	1824.10	ago-95	23.42	3.28	2600.74
sep-95	45.65	22.27	1740.47	sep-95	-15.07	19.95	1825.10	sep-95	23.34	3.06	2601.95
oct-95	15.14	24.30	1741.00	oct-95	0.27	21.40	1825.63	oct-95	7.05	5.01	2602.32
nov-95	10.93	22.21	1740.18	nov-95	-4.71	20.73	1825.79	nov-95	3.87	6.07	2602.28
dic-95	-10.63	17.12	1738.31	dic-95	-17.89	21.42	1826.31	dic-95	2.19	7.29	2602.04
ene-96	5.03	33.81	1735.60	ene-96	2.19	21.42	1826.96	ene-96	2.07	9.32	2601.76
feb-96	-2.15	23.72	1732.41	feb-96	-4.81	19.68	1827.38	feb-96	-1.49	9.91	2601.30
mar-96	0.15	24.14	1729.27	mar-96	-3.72	28.13	1827.52	mar-96	3.72	5.93	2600.78
abr-96	-0.35	16.38	1726.39	abr-96	-3.67	23.43	1827.09	abr-96	-1.47	10.03	2600.19
may-96	1.77	4.61	1724.86	may-96	-10.26	27.39	1826.43	may-96	-0.91	7.51	2599.34
jun-96	16.28	0.00	1726.17	jun-96	-16.69	31.04	1825.66	jun-96	2.72	2.38	2599.06
jul-96	34.05	0.00	1730.01	jul-96	-27.52	31.78	1825.29	jul-96	13.87	1.26	2599.68
ago-96	41.99	0.00	1734.20	ago-96	-33.08	30.71	1825.07	ago-96	10.42	1.12	2600.17
sep-96	47.70	13.64	1739.00	sep-96	-35.75	31.69	1825.62	sep-96	26.23	0.00	2601.16
oct-96	37.02	33.07	1740.79	oct-96	-22.78	33.74	1826.90	oct-96	17.04	0.00	2602.27
nov-96	6.12	27.06	1739.84	nov-96	-15.01	31.26	1827.76	nov-96	3.60	2.69	2602.53
dic-96	2.08	30.72	1737.31	dic-96	-6.62	31.78	1828.17	dic-96	2.35	1.60	2602.48
ene-97	-0.18	32.07	1734.19	ene-97	-6.05	35.25	1828.25	ene-97	1.18	0.28	2602.47
feb-97	0.93	29.12	1730.73	feb-97	-5.47	34.19	1828.29	feb-97	2.59	0.00	2602.46
mar-97	5.22	28.64	1726.84	mar-97	-2.34	37.94	1827.88	mar-97	1.69	0.01	2602.44
abr-97	1.83	5.23	1725.09	abr-97	-6.25	38.11	1826.76	abr-97	1.13	0.00	2602.39
may-97	3.42	0.00	1725.34	may-97	-7.67	37.65	1824.87	may-97	2.21	0.00	2602.39
jun-97	4.91	0.00	1726.17	jun-97	-19.95	28.59	1823.69	jun-97	0.92	8.56	2602.25
jul-97	11.00	0.00	1727.47	jul-97	-24.70	30.53	1823.27	jul-97	6.06	4.53	2602.13
ago-97	24.62	6.84	1729.51	ago-97	-17.60	6.91	1823.60	ago-97	6.87	16.44	2601.99
sep-97	34.84	16.42	1731.97	sep-97	-12.65	2.43	1825.03	sep-97	16.45	7.30	2602.06
oct-97	16.21	26.23	1732.76	oct-97	3.94	0.00	1826.48	oct-97	2.55	4.05	2602.23
nov-97	7.97	27.53	1730.87	nov-97	14.33	0.73	1827.46	nov-97	1.00	3.06	2601.99
dic-97	-2.29	15.92	1728.05	dic-97	6.19	11.10	1827.73	dic-97	0.82	1.97	2601.97

EL BOSQUE				VALLE DE BRAVO				VILLA VICTORIA			
MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)	MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)	MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)
ene-98	-2.64	7.68	1726.19	ene-98	-2.21	17.10	1827.35	ene-98	1.91	3.86	2601.80
feb-98	-1.07	0.00	1725.55	feb-98	-7.16	30.45	1826.29	feb-98	1.09	0.00	2601.72
mar-98	-3.21	2.96	1724.96	mar-98	-4.73	35.98	1824.68	mar-98	0.80	0.73	2601.62
abr-98	-2.09	0.00	1724.46	abr-98	-11.47	20.45	1823.23	abr-98	1.38	15.25	2601.09
may-98	-2.29	0.00	1724.15	may-98	-9.07	19.91	1822.26	may-98	4.54	17.66	2600.12
jun-98	9.11	4.12	1724.38	jun-98	-7.81	17.33	1821.52	jun-98	3.61	6.25	2599.47
jul-98	22.72	15.60	1725.41	jul-98	0.34	7.04	1821.70	jul-98	8.11	1.36	2599.80
ago-98	44.21	24.23	1727.75	ago-98	7.26	2.11	1822.68	ago-98	14.90	0.29	2600.47
sep-98	60.81	28.84	1731.09	sep-98	-23.89	0.00	1824.97	sep-98	43.82	0.03	2601.78
oct-98	58.14	27.39	1735.06	oct-98	-15.49	0.00	1828.04	oct-98	37.18	0.00	2604.07
nov-98	16.93	14.25	1736.83	nov-98	-6.54	4.96	1829.64	nov-98	6.84	0.25	2604.65
dic-98	-1.60	17.03	1736.05	dic-98	6.56	8.96	1829.97	dic-98	2.88	0.60	2604.72
ene-99	-6.25	18.90	1733.66	ene-99	13.40	9.50	1829.76	ene-99	0.87	0.00	2604.69
feb-99	-2.74	12.44	1731.17	feb-99	7.62	11.62	1829.47	feb-99	1.47	0.00	2604.63
mar-99	-1.06	10.94	1729.57	mar-99	3.54	20.95	1828.65	mar-99	2.03	0.46	2604.55
abr-99	-2.04	6.34	1727.68	abr-99	-2.41	16.95	1827.74	abr-99	-2.66	7.42	2604.20
may-99	0.72	0.42	1727.09	may-99	-7.58	19.14	1826.96	may-99	-0.65	12.19	2603.60
jun-99	12.23	0.97	1727.54	jun-99	-9.00	25.83	1826.16	jun-99	2.38	4.19	2603.14
jul-99	25.85	3.46	1730.53	jul-99	-9.81	26.75	1825.27	jul-99	13.14	0.00	2603.51
ago-99	45.98	10.61	1733.46	ago-99	-12.85	14.48	1825.25	ago-99	21.53	0.92	2604.13
sep-99	38.71	3.93	1738.26	sep-99	-21.98	8.60	1826.28	sep-99	16.79	7.02	2604.96
oct-99	17.89	29.43	1738.88	oct-99	2.45	0.00	1827.59	oct-99	3.07	4.29	2604.96
nov-99	-1.12	27.17	1736.58	nov-99	11.62	1.40	1828.77	nov-99	1.93	6.51	2604.73
dic-99	-4.70	11.97	1734.75	dic-99	2.29	21.59	1828.45	dic-99	0.42	0.00	2604.61
ene-00	-0.51	29.65	1731.19	ene-00	23.57	5.02	1828.31	ene-00	0.05	0.00	2604.55
feb-00	-2.04	0.00	1729.31	feb-00	-10.79	33.42	1827.39	feb-00	0.64	0.00	2604.45
mar-00	0.15	8.57	1728.67	mar-00	3.07	28.53	1825.82	mar-00	-0.47	0.64	2604.33
abr-00	-1.63	14.12	1726.59	abr-00	8.09	13.19	1824.87	abr-00	-0.58	6.33	2603.98
may-00	3.22	6.45	1724.33	may-00	-1.95	21.19	1824.16	may-00	3.01	8.35	2603.59
jun-00	33.30	0.00	1726.93	jun-00	-17.24	14.54	1823.91	jun-00	15.97	14.53	2603.67
jul-00	33.24	12.24	1731.38	jul-00	-4.99	3.43	1824.18	jul-00	13.85	14.78	2603.69
ago-00	34.51	15.70	1733.34	ago-00	-6.35	6.91	1825.33	ago-00	16.27	2.87	2604.10
sep-00	26.09	5.51	1735.87	sep-00	-23.37	16.14	1825.96	sep-00	13.10	4.42	2604.47
oct-00	33.26	28.26	1736.99	oct-00	4.87	12.86	1826.69	oct-00	8.62	4.66	2604.75
nov-00	3.01	16.11	1736.72	nov-00	1.18	8.50	1827.10	nov-00	2.14	5.75	2604.65
dic-00	-1.43	27.98	1734.19	dic-00	20.01	3.76	1827.42	dic-00	-0.46	2.92	2604.45
ene-01	2.80	15.47	1731.77	ene-01	6.52	11.92	1827.39	ene-01	-0.71	3.69	2604.28
feb-01	2.90	12.23	1730.31	feb-01	5.00	16.28	1826.86	feb-01	-0.33	4.55	2604.01
mar-01	6.40	16.28	1729.06	mar-01	8.01	16.38	1826.28	mar-01	-0.22	5.59	2603.76
abr-01	4.44	16.07	1727.05	abr-01	10.13	14.41	1825.62	abr-01	-0.98	7.22	2603.42
may-01	5.23	13.19	1725.34	may-01	3.79	15.46	1825.19	may-01	0.98	7.33	2603.02
jun-01	18.96	4.75	1725.62	jun-01	-14.77	14.47	1825.29	jun-01	4.34	3.77	2602.88
jul-01	37.79	4.56	1729.33	jul-01	-19.76	17.45	1825.55	jul-01	18.20	3.39	2603.19
ago-01	45.64	4.68	1733.93	ago-01	-23.87	13.35	1826.14	ago-01	27.01	2.45	2604.17
sep-01	36.23	2.47	1738.08	sep-01	-26.13	11.46	1827.23	sep-01	23.85	2.37	2604.96
oct-01	28.65	24.16	1740.19	oct-01	1.78	-13.02	1828.88	oct-01	13.64	17.24	2605.25
nov-01	6.54	16.40	1739.70	nov-01	4.69	9.35	1829.75	nov-01	2.76	4.10	2605.01
dic-01	2.38	25.94	1737.73	dic-01	17.77	4.21	1829.87	dic-01	-1.69	3.70	2604.80
ene-02	4.50	20.90	1735.59	ene-02	12.58	7.93	1829.90	ene-02	1.61	3.56	2604.64
feb-02	1.94	15.16	1734.03	feb-02	9.60	14.33	1829.57	feb-02	-1.73	3.20	2604.45
mar-02	1.07	9.08	1732.65	mar-02	0.86	24.07	1828.78	mar-02	-0.55	5.46	2604.15
abr-02	-0.57	13.58	1731.47	abr-02	3.44	24.51	1827.59	abr-02	-0.43	3.09	2603.79
may-02	2.30	16.23	1729.31	may-02	7.91	23.61	1826.51	may-02	-0.55	1.10	2603.58
jun-02	10.20	0.00	1729.60	jun-02	-11.12	31.10	1825.54	jun-02	3.97	6.47	2603.57
jul-02	24.20	0.00	1731.63	jul-02	-18.56	31.56	1824.61	jul-02	9.29	6.61	2603.60
ago-02	22.72	2.85	1734.73	ago-02	-17.29	18.09	1824.13	ago-02	13.14	5.25	2603.96
sep-02	8.23	0.48	1735.94	sep-02	-33.42	2.54	1825.29	sep-02	31.23	6.16	2604.62
oct-02	22.57	14.58	1736.43	oct-02	-12.62	6.55	1826.77	oct-02	29.24	18.79	2605.35
nov-02	32.35	13.78	1738.62	nov-02	-4.47	3.46	1827.73	nov-02	15.00	20.29	2605.27
dic-02	11.07	20.56	1738.90	dic-02	7.05	13.39	1828.10	dic-02	4.13	7.53	2605.18

EL BOSQUE				VALLE DE BRAVO				VILLA VICTORIA			
MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)	MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)	MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)
ene-03	3.69	18.03	1737.61	ene-03	7.31	12.19	1827.88	ene-03	2.22	12.97	2604.90
feb-03	-4.34	17.14	1735.93	feb-03	8.60	12.32	1827.56	feb-03	2.01	7.80	2604.48
mar-03	-2.77	24.76	1733.36	mar-03	15.69	12.48	1827.10	mar-03	-1.46	7.73	2604.08
abr-03	0.04	24.11	1730.16	abr-03	15.52	10.98	1826.72	abr-03	-2.53	8.65	2603.59
may-03	0.91	21.41	1726.68	may-03	15.05	23.58	1826.07	may-03	-2.95	2.70	2603.16
jun-03	19.82	0.00	1727.39	jun-03	-18.41	27.92	1825.11	jun-03	5.12	0.00	2603.30
jul-03	12.46	0.00	1729.47	jul-03	-22.66	28.79	1824.89	jul-03	10.93	0.03	2603.82
ago-03	39.43	0.00	1732.76	ago-03	-27.59	18.47	1825.02	ago-03	20.88	6.33	2604.37
sep-03	50.88	0.00	1738.10	sep-03	-38.42	-14.03	1827.06	sep-03	44.02	20.46	2605.57
oct-03	16.10	10.76	1740.78	oct-03	-27.46	10.31	1829.41	oct-03	15.78	19.52	2605.60
nov-03	10.17	8.28	1741.10	nov-03	-12.43	20.16	1830.00	nov-03	10.19	16.24	2605.46
dic-03	0.87	5.79	1741.04	dic-03	-6.82	24.84	1829.54	dic-03	0.59	3.21	2605.23
ene-04	9.37	8.84	1740.98	ene-04	-3.78	18.64	1828.85	ene-04	-0.87	2.87	2605.09
feb-04	-0.35	21.13	1740.03	feb-04	10.20	12.33	1828.79	feb-04	-1.84	3.43	2604.90
mar-04	-2.17	17.83	1737.90	mar-04	5.13	20.23	1828.26	mar-04	-1.21	5.71	2604.56
abr-04	-2.82	18.86	1736.09	abr-04	7.29	25.74	1827.42	abr-04	0.45	2.97	2604.28
may-04	2.93	27.35	1733.37	may-04	15.36	27.20	1826.29	may-04	0.26	0.04	2604.19
jun-04	22.85	27.95	1731.89	jun-04	12.29	20.48	1825.76	jun-04	14.70	12.57	2604.32
jul-04	18.51	6.55	1732.08	jul-04	-12.76	21.43	1825.61	jul-04	21.49	20.14	2604.46
ago-04	20.81	0.00	1734.20	ago-04	-28.25	16.42	1825.66	ago-04	35.88	29.91	2604.71
sep-04	41.73	0.00	1737.54	sep-04	-29.28	-2.38	1827.11	sep-04	47.70	33.70	2605.24
oct-04	20.19	5.83	1740.87	oct-04	-27.93	-1.45	1829.38	oct-04	34.47	37.92	2605.55
nov-04	11.10	11.58	1741.22	nov-04	-4.13	16.56	1829.98	nov-04	6.52	14.65	2605.29
dic-04	10.89	21.62	1740.76	dic-04	11.22	11.00	1829.86	dic-04	4.40	20.16	2604.81
ene-05	7.86	22.79	1739.38	ene-05	13.39	10.37	1829.76	ene-05	6.75	19.70	2604.23
feb-05	2.75	19.49	1737.71	feb-05	12.78	17.47	1829.37	feb-05	1.44	9.03	2603.76
mar-05	8.14	17.72	1736.11	mar-05	7.72	22.74	1828.58	mar-05	0.72	10.48	2603.34
abr-05	0.83	21.16	1734.57	abr-05	9.67	24.21	1827.56	abr-05	0.82	5.90	2602.90
may-05	3.79	21.93	1731.89	may-05	14.46	25.50	1826.43	may-05	-0.35	2.44	2602.60
jun-05	7.86	16.67	1729.91	jun-05	9.05	24.89	1825.17	jun-05	0.46	6.98	2602.32
jul-05	9.95	0.01	1730.44	jul-05	-16.96	26.65	1824.67	jul-05	7.96	11.29	2602.10
ago-05	28.34	0.00	1732.39	ago-05	-22.56	25.58	1820.97	ago-05	16.07	10.29	2602.25
sep-05	43.93	13.44	1736.43	sep-05	-12.43	18.31	1824.57	sep-05	16.44	2.42	2602.74
oct-05	27.89	17.37	1738.43	oct-05	-2.99	16.49	1824.87	oct-05	8.82	1.06	2603.16
nov-05	5.73	16.62	1738.15	nov-05	4.31	17.63	1824.82	nov-05	2.05	2.25	2603.23
dic-05	1.47	20.47	1736.61	dic-05	10.68	18.20	1824.18	dic-05	0.92	0.77	2603.16
ene-06	4.33	30.55	1733.85	ene-06	20.94	11.43	1823.83	ene-06	0.63	0.73	2603.10
feb-06	3.02	25.95	1730.83	feb-06	17.92	10.68	1823.59	feb-06	0.57	0.66	2603.03
mar-06	1.86	27.17	1727.39	mar-06	15.32	18.07	1823.06	mar-06	0.72	0.93	2602.89
abr-06	0.45	3.99	1725.05	abr-06	-5.63	20.66	1822.19	abr-06	2.03	13.48	2602.46
may-06	5.84	2.92	1724.75	may-06	-6.69	23.83	1821.18	may-06	2.83	12.36	2601.94
jun-06	13.35	0.64	1726.00	jun-06	-6.69	23.10	1820.38	jun-06	4.96	12.98	2601.50
jul-06	24.18	9.77	1728.37	jul-06	-13.71	16.30	1820.20	jul-06	4.59	12.00	2601.22
ago-06	42.41	23.88	1730.14	ago-06	-3.48	-3.53	1821.33	ago-06	28.07	8.48	2601.43
sep-06	43.52	15.74	1733.46	sep-06	-10.70	0.87	1823.32	sep-06	32.10	7.79	2602.77
oct-06	40.10	18.34	1736.20	oct-06	-10.56	-6.69	1825.20	oct-06	28.23	19.20	2603.51
nov-06	24.45	18.03	1737.73	nov-06	0.35	-0.36	1826.75	nov-06	13.71	17.60	2603.56
dic-06	8.63	21.24	1737.18	dic-06	10.89	10.83	1827.10	dic-06	3.25	5.64	2603.35
ene-07	1.80	25.45	1735.12	ene-07	17.30	6.17	1826.94	ene-07	1.53	5.68	2603.20
feb-07	6.28	21.87	1733.01	feb-07	14.91	4.42	1827.18	feb-07	2.54	7.80	2602.92
mar-07	1.50	14.50	1730.78	mar-07	6.55	25.84	1826.55	mar-07	0.87	0.75	2602.71
abr-07	3.04	9.69	1729.39	abr-07	4.20	31.54	1825.11	abr-07	-0.38	0.88	2602.57
may-07	4.68	12.25	1728.23	may-07	-0.69	32.01	1823.44	may-07	1.61	0.77	2602.52
jun-07	16.48	14.36	1727.55	jun-07	0.74	17.32	1822.45	jun-07	10.47	4.43	2602.68
jul-07	32.40	18.04	1728.67	jul-07	1.85	9.62	1822.72	jul-07	14.88	5.70	2602.95
ago-07	35.59	11.60	1731.56	ago-07	-7.63	0.21	1823.72	ago-07	22.28	7.80	2603.57
sep-07	28.32	0.95	1734.95	sep-07	-30.03	-3.10	1825.48	sep-07	42.90	17.11	2604.55
oct-07	19.67	2.00	1737.02	oct-07	-17.56	18.11	1826.60	oct-07	9.04	10.31	2604.84
nov-07	7.33	18.85	1737.49	nov-07	6.81	15.48	1826.21	nov-07	2.77	9.22	2604.61
dic-07	6.32	25.20	1735.66	dic-07	15.76	12.31	1825.99	dic-07	1.20	7.30	2604.38

EL BOSQUE				VALLE DE BRAVO				VILLA VICTORIA			
MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)	MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)	MENSUAL	ENTRADA (Hm ³)	SALIDA (Hm ³)	ELEVACIO N (msnm)
ene-08	2.71	22.77	1733.33	ene-08	15.79	14.26	1825.67	ene-08	-8.12	5.03	2603.80
feb-08	3.45	19.60	1731.03	feb-08	14.99	16.34	1825.12	feb-08	-0.26	6.43	2603.45
mar-08	3.17	18.96	1728.72	mar-08	12.69	18.53	1824.35	mar-08	0.81	7.70	2603.04
abr-08	2.86	13.00	1726.52	abr-08	3.47	22.74	1823.45	abr-08	0.21	8.25	2602.59
may-08	0.75	2.80	1725.58	may-08	-5.46	29.29	1822.09	may-08	-0.71	7.50	2602.14
jun-08	12.81	2.78	1725.87	jun-08	-4.19	25.94	1820.78	jun-08	1.18	3.92	2601.85
jul-08	31.37	3.46	1729.01	jul-08	-14.89	18.83	1820.27	jul-08	12.46	2.82	2602.12
ago-08	33.79	12.55	1732.20	ago-08	-12.87	12.44	1820.53	ago-08	13.23	4.16	2602.67
sep-08	40.24	21.91	1734.49	sep-08	-7.24	3.51	1821.83	sep-08	5.79	1.01	2602.95
oct-08	24.07	24.56	1735.51	oct-08	5.52	2.85	1823.41	oct-08	4.74	9.48	2602.97
nov-08	2.29	24.84	1734.21	nov-08	14.41	2.77	1824.13	nov-08	2.52	15.63	2602.47
dic-08	1.29	4.32	1732.65	dic-08	-4.73	19.48	1824.04	dic-08	2.55	16.69	2601.80
ene-09	2.58	10.50	1732.04	ene-09	-1.29	19.31	1823.27	ene-09	2.04	12.71	2601.11
feb-09	2.63	27.85	1729.48	feb-09	19.76	7.56	1822.97	feb-09	1.34	5.21	2600.73
mar-09	1.99	18.34	1726.01	mar-09	9.22	16.70	1822.64	mar-09	0.45	6.80	2600.30
abr-09	0.73	3.93	1724.71	abr-09	-2.86	27.72	1821.40	abr-09	2.26	6.33	2599.85
may-09	3.92	1.54	1724.27	may-09	-3.70	20.93	1820.07	may-09	3.95	14.01	2599.35
jun-09	8.03	0.00	1724.98	jun-09	-12.41	26.22	1819.20	jun-09	5.41	5.32	2598.86
jul-09	19.64	0.00	1727.60	jul-09	-14.68	25.00	1818.29	jul-09	3.90	4.22	2598.97
ago-09	22.85	4.13	1729.66	ago-09	-12.23	11.96	1817.98	ago-09	6.27	3.53	2599.06
sep-09	59.61	34.80	1732.92	sep-09	6.64	-19.46	1819.91	sep-09	31.40	0.10	2600.29
oct-09	28.28	32.72	1734.29	oct-09	16.54	-9.12	1822.41	oct-09	11.86	0.00	2601.55
nov-09	8.82	31.73	1732.42	nov-09	20.90	-2.71	1823.57	nov-09	2.84	0.00	2601.80
dic-09	5.79	32.37	1728.96	dic-09	23.28	0.83	1824.23	dic-09	2.08	0.00	2601.87
ene-10	12.66	24.45	1725.97	ene-10	16.23	2.97	1824.64	ene-10	3.58	0.00	2601.96
feb-10	59.03	11.18	1730.31	feb-10	-12.67	3.75	1825.52	feb-10	42.87	0.00	2603.56
mar-10	11.79	28.48	1731.31	mar-10	18.85	1.32	1825.87	mar-10	5.95	5.40	2604.01
abr-10	1.95	29.98	1727.34	abr-10	23.58	-0.76	1826.25	abr-10	1.46	10.39	2603.67
may-10	1.81	3.03	1725.24	may-10	-2.90	18.19	1825.84	may-10	1.56	16.07	2603.24
jun-10	16.08	2.87	1725.72	jun-10	-7.03	13.40	1825.19	jun-10	3.29	16.81	2602.49
jul-10	44.69	0.00	1729.62	jul-10	-23.47	2.50	1825.65	jul-10	19.23	17.30	2601.99
ago-10	67.04	7.56	1737.14	ago-10	-22.56	5.76	1827.42	ago-10	24.28	6.12	2602.73
sep-10	30.09	23.31	1740.08	sep-10	-13.81	7.16	1829.35	sep-10	16.05	1.60	2603.44
oct-10	6.49	3.62	1740.47	oct-10	-18.54	25.24	1829.91	oct-10	6.39	0.05	2603.80
nov-10	3.70	6.14	1740.45	nov-10	-7.57	25.48	1829.49	nov-10	2.15	0.77	2603.84
dic-10	-1.14	13.21	1739.68	dic-10	2.40	23.07	1828.66	dic-10	1.41	0.91	2603.83
ene-11	-0.67	25.50	1737.29	ene-11	14.10	13.51	1828.09	ene-11	1.31	0.00	2603.80
feb-11	-2.98	21.64	1734.45	feb-11	12.12	15.21	1827.73	feb-11	1.82	0.00	2603.77
mar-11	-0.53	19.03	1731.43	mar-11	9.50	22.59	1827.00	mar-11	0.16	0.49	2603.68
abr-11	0.12	3.70	1730.07	abr-11	-3.21	25.12	1825.74	abr-11	-0.13	8.08	2603.41
may-11	0.73	7.58	1729.12	may-11	0.09	24.14	1824.66	may-11	0.71	11.10	2602.91
jun-11	7.66	3.99	1728.37	jun-11	-6.79	21.39	1823.56	jun-11	0.92	8.46	2602.39
jul-11	40.56	2.24	1731.65	jul-11	-13.49	14.74	1823.49	jul-11	14.78	5.86	2602.52
ago-11	43.20	1.48	1736.24	ago-11	-19.60	15.22	1823.73	ago-11	15.06	6.18	2603.08
sep-11	35.79	21.98	1739.97	sep-11	-0.12	-3.02	1824.89	sep-11	11.91	3.83	2603.50
oct-11	19.47	20.37	1739.71	oct-11	3.23	3.92	1826.07	oct-11	4.47	5.65	2603.56
nov-11	1.69	27.93	1738.44	nov-11	18.23	2.37	1826.30	nov-11	1.69	5.95	2603.38
dic-11	-1.99	32.10	1735.14	dic-11	25.01	1.06	1826.67	dic-11	0.10	6.85	2603.12
ene-12	-3.16	26.24	1731.21	ene-12	19.82	5.98	1826.85	ene-12	0.05	7.05	2602.77
feb-12	6.09	2.55	1730.37	feb-12	-5.44	22.13	1826.28	feb-12	1.50	7.41	2602.47
mar-12	-4.18	4.11	1730.41	mar-12	-0.73	31.31	1825.15	mar-12	0.38	5.42	2602.12
abr-12	-4.79	6.24	1729.70	abr-12	-3.75	27.46	1823.51	abr-12	0.35	8.94	2601.71
may-12	-6.63	24.82	1726.88	may-12	13.72	16.89	1822.52	may-12	2.30	4.43	2601.26
jun-12	11.66	2.62	1725.21	jun-12	-8.09	23.75	1821.69	jun-12	3.09	7.67	2600.98
jul-12	41.44	13.33	1728.58	jul-12	-7.15	12.80	1821.58	jul-12	11.19	1.75	2601.25
ago-12	49.49	18.77	1732.21	ago-12	1.26	2.24	1822.49	ago-12	15.09	3.41	2601.75
sep-12	38.37	21.61	1735.43	sep-12	2.90	1.84	1824.01	sep-12	11.41	1.36	2602.35
oct-12	12.17	0.22	1737.22	oct-12	-16.80	28.17	1824.10	oct-12	5.54	0.00	2602.70
nov-12	8.32	9.53	1738.15	nov-12	-4.33	26.42	1823.12	nov-12	2.38	0.00	2602.81
dic-12	-6.43	33.25	1735.81	dic-12	23.71	7.17	1822.64	dic-12	0.58	1.33	2602.78

ANEXO B

Tabla 37 Resumen Anual Extracciones y Almacenamientos Históricos. Determinación Porcentaje de Extracción Anual

Extracciones Históricas

Totales (Hm ³)	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Promedio
Villa Victoria	152.77	97.18	51.76	46.18	46.28	43.01	65.26	65.40	87.52	105.64	184.07	82.62	111.86	77.76	88.60	45.52	75.41	62.47	48.78	80.95
Valle de Bravo	194.67	250.50	342.05	263.43	164.28	176.80	167.49	131.72	201.16	188.03	186.20	248.06	125.18	169.93	186.98	108.61	128.09	156.25	206.17	189.24
El Bosque	172.61	171.64	207.14	188.02	142.10	136.57	164.58	156.20	127.19	130.29	167.53	187.67	198.22	174.76	171.56	211.86	153.84	187.53	163.29	169.08
Total Suma	520.05	519.32	600.94	497.62	352.66	356.37	397.34	353.32	415.87	423.96	537.79	518.35	435.26	422.46	447.13	365.98	357.34	406.25	418.24	439.28
% vs total suma																				
Villa Victoria	0.294	0.187	0.086	0.093	0.131	0.121	0.164	0.185	0.210	0.249	0.342	0.159	0.257	0.184	0.198	0.124	0.211	0.154	0.117	0.182
Valle de Bravo	0.374	0.482	0.569	0.529	0.466	0.496	0.422	0.373	0.484	0.444	0.346	0.479	0.288	0.402	0.418	0.297	0.358	0.385	0.493	0.427
El Bosque	0.332	0.331	0.345	0.378	0.403	0.383	0.414	0.442	0.306	0.307	0.312	0.362	0.455	0.414	0.384	0.579	0.431	0.462	0.390	0.391
																				suma
																				1.000

Almacenamiento Inicial

Al 1° de Octubre (Hm ³)	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Promedio
Villa Victoria	139.85	102.54	91.00	100.66	120.52	170.65	161.02	178.62	174.07	189.88	187.51	117.74	123.57	168.17	118.99	78.17	136.04	131.97	107.92	136.78
Valle de Bravo	343.94	316.03	327.71	319.70	334.89	335.75	331.20	355.17	326.16	366.10	360.55	300.26	290.93	331.02	270.24	250.46	394.75	313.93	294.31	324.37
El Bosque	173.80	202.29	190.44	120.82	121.86	181.12	154.52	185.01	151.19	191.23	185.01	163.70	137.98	149.39	142.13	131.18	191.81	185.87	151.46	163.73
Almac. Inicial Total	657.60	620.85	609.16	541.18	577.27	687.52	646.74	718.81	651.42	747.21	733.06	581.70	552.48	648.58	531.36	459.81	722.60	631.77	553.69	624.88

ANEXO C

Tabla 38 Simulación del Funcionamiento de Vaso de la presa El Bosque con Ensayo 9

EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 1994	*****	*****	*****
OCT	202.4	35.21	0.014	14.64	20.55	0
NOV	202.4	4.44	0.024	14.64	0	0
DIC	192.17	-9.44	0.028	14.64	0	0
ENE	168.06	-7.83	0.03	14.64	0	0
FEB	145.55	-10.21	0.027	14.64	0	0
MAR	120.68	-13	0.049	14.64	0	0
ABR	92.98	-6.32	0.058	14.64	0	0
MAY	71.96	-0.87	0.04	14.64	0	3.59
JUN	60	18.81	-0.001	14.64	0	0
JUL	64.16	46.53	-0.02	14.64	0	0
AGO	96.07	56.74	-0.033	14.64	0	0
SEP	138.2	45.65	-0.016	14.64	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 1995	*****	*****	*****
OCT	169.22	15.14	0.013	14.17	0	0
NOV	170.18	10.93	0.023	14.17	0	0
DIC	166.92	-10.63	0.027	14.17	0	0
ENE	142.1	5.03	0.028	14.17	0	0
FEB	132.94	-2.15	0.026	14.17	0	0
MAR	116.59	0.15	0.049	14.17	0	0
ABR	102.53	-0.35	0.06	14.17	0	0
MAY	87.95	1.77	0.043	14.17	0	0
JUN	75.51	16.28	-0.001	14.17	0	0
JUL	77.62	34.05	-0.021	14.17	0	0
AGO	97.52	41.99	-0.033	14.17	0	0
SEP	125.38	47.7	-0.015	14.17	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 1996	*****	*****	*****
OCT	158.93	37.02	0.013	14.03	0	0
NOV	181.9	6.12	0.024	14.03	0	0
DIC	173.96	2.08	0.027	14.03	0	0

***	*****	*****	**** 1999	*****	*****	*****
OCT	170.19	17.89	0.014	13.45	0	0
NOV	174.61	-1.12	0.023	13.45	0	0
DIC	160.02	-4.7	0.026	13.45	0	0
ENE	141.84	-0.51	0.028	13.45	0	0
FEB	127.86	-2.04	0.025	13.45	0	0
MAR	112.35	0.15	0.048	13.45	0	0
ABR	99.01	-1.63	0.059	13.45	0	0
MAY	83.88	3.22	0.042	13.45	0	0
JUN	73.6	33.3	-0.001	13.45	0	0
JUL	93.46	33.24	-0.023	13.45	0	0
AGO	113.27	34.51	-0.035	13.45	0	0
SEP	134.37	26.09	-0.016	13.45	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2000	*****	*****	*****
OCT	147.03	33.26	0.013	12.98	0	0
NOV	167.3	3.01	0.023	12.98	0	0
DIC	157.3	-1.43	0.026	12.98	0	0
ENE	142.86	2.8	0.028	12.98	0	0
FEB	132.66	2.9	0.026	12.98	0	0
MAR	122.55	6.4	0.049	12.98	0	0
ABR	115.91	4.44	0.063	12.98	0	0
MAY	107.31	5.23	0.047	12.98	0	0
JUN	99.51	18.96	-0.002	12.98	0	0
JUL	105.49	37.79	-0.024	12.98	0	0
AGO	130.32	45.64	-0.037	12.98	0	0
SEP	163.02	36.23	-0.017	12.98	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2001	*****	*****	*****
OCT	186.29	28.65	0.014	13.3	0	0
NOV	201.63	6.54	0.024	13.3	0	0
DIC	194.85	2.38	0.029	13.3	0	0
ENE	183.9	4.5	0.031	13.3	0	0
FEB	175.07	1.94	0.029	13.3	0	0
MAR	163.69	1.07	0.056	13.3	0	0
ABR	151.4	-0.57	0.07	13.3	0	0
MAY	137.46	2.3	0.052	13.3	0	0
JUN	126.41	10.2	-0.002	13.3	0	0
JUL	123.32	24.2	-0.026	13.3	0	0

AGO	134.25	22.72	-0.038	13.3	0	0
SEP	143.71	8.23	-0.016	13.3	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2002	*****	*****	*****
OCT	138.66	22.57	0.012	12.68	0	0
NOV	148.53	32.35	0.022	12.68	0	0
DIC	168.18	11.07	0.027	12.68	0	0
ENE	166.54	3.69	0.03	12.68	0	0
FEB	157.51	-4.34	0.028	12.68	0	0
MAR	140.46	-2.77	0.052	12.68	0	0
ABR	124.95	0.04	0.065	12.68	0	0
MAY	112.24	0.91	0.048	12.68	0	0
JUN	100.42	19.82	-0.002	12.68	0	0
JUL	107.55	12.46	-0.024	12.68	0	0
AGO	107.36	39.43	-0.035	12.68	0	0
SEP	134.13	50.88	-0.016	12.68	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2003	*****	*****	*****
OCT	172.35	16.1	0.014	13.22	0	0
NOV	175.2	10.17	0.023	13.22	0	0
DIC	172.12	0.87	0.027	13.22	0	0
ENE	159.74	9.37	0.03	13.22	0	0
FEB	155.85	-0.35	0.028	13.22	0	0
MAR	142.25	-2.17	0.052	13.22	0	0
ABR	126.81	-2.82	0.065	13.22	0	0
MAY	110.7	2.93	0.047	13.22	0	0
JUN	100.35	22.85	-0.002	13.22	0	0
JUL	109.98	18.51	-0.025	13.22	0	0
AGO	115.28	20.81	-0.036	13.22	0	0
SEP	122.91	41.73	-0.015	13.22	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2004	*****	*****	*****
OCT	151.43	20.19	0.013	13.54	0	0
NOV	158.07	11.1	0.022	13.54	0	0
DIC	155.61	10.89	0.026	13.54	0	0
ENE	152.93	7.86	0.029	13.54	0	0
FEB	147.23	2.75	0.027	13.54	0	0

MAR	136.41	8.14	0.051	13.54	0	0
ABR	130.95	0.83	0.066	13.54	0	0
MAY	118.18	3.79	0.049	13.54	0	0
JUN	108.38	7.86	-0.002	13.54	0	0
JUL	102.7	9.95	-0.024	13.54	0	0
AGO	99.13	28.34	-0.033	13.54	0	0
SEP	113.96	43.93	-0.015	13.54	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2005	*****	*****	*****
OCT	144.37	27.89	0.013	13.31	0	0
NOV	158.93	5.73	0.022	13.31	0	0
DIC	151.32	1.47	0.026	13.31	0	0
ENE	139.46	4.33	0.028	13.31	0	0
FEB	130.45	3.02	0.026	13.31	0	0
MAR	120.13	1.86	0.049	13.31	0	0
ABR	108.63	0.45	0.062	13.31	0	0
MAY	95.7	5.84	0.045	13.31	0	0
JUN	88.19	13.35	-0.001	13.31	0	0
JUL	88.23	24.18	-0.022	13.31	0	0
AGO	99.13	42.41	-0.033	13.31	0	0
SEP	128.26	43.52	-0.015	13.31	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2006	*****	*****	*****
OCT	158.48	40.1	0.013	13.19	0	0
NOV	185.38	24.45	0.024	13.19	0	0
DIC	196.62	8.63	0.029	13.19	0	0
ENE	192.04	1.8	0.032	13.19	0	0
FEB	180.62	6.28	0.029	13.19	0	0
MAR	173.68	1.5	0.057	13.19	0	0
ABR	161.94	3.04	0.072	13.19	0	0
MAY	151.72	4.68	0.054	13.19	0	0
JUN	143.16	16.48	-0.002	13.19	0	0
JUL	146.46	32.4	-0.027	13.19	0	0
AGO	165.7	35.59	-0.041	13.19	0	0
SEP	188.15	28.32	-0.018	13.19	0.9	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2007	*****	*****	*****

OCT	202.4	19.67	0.014	13.62	6.04	0
NOV	202.4	7.33	0.024	13.62	0	0
DIC	196.08	6.32	0.029	13.62	0	0
ENE	188.75	2.71	0.032	13.62	0	0
FEB	177.8	3.45	0.029	13.62	0	0
MAR	167.61	3.17	0.056	13.62	0	0
ABR	157.1	2.86	0.071	13.62	0	0
MAY	146.26	0.75	0.053	13.62	0	0
JUN	133.34	12.81	-0.002	13.62	0	0
JUL	132.54	31.37	-0.026	13.62	0	0
AGO	150.31	33.79	-0.039	13.62	0	0
SEP	170.52	40.24	-0.017	13.62	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2008	*****	*****	*****
OCT	197.16	24.07	0.014	12.89	5.92	0
NOV	202.4	2.29	0.024	12.89	0	0
DIC	191.78	1.29	0.028	12.89	0	0
ENE	180.15	2.58	0.031	12.89	0	0
FEB	169.8	2.63	0.029	12.89	0	0
MAR	159.51	1.99	0.055	12.89	0	0
ABR	148.55	0.73	0.07	12.89	0	0
MAY	136.32	3.92	0.051	12.89	0	0
JUN	127.3	8.03	-0.002	12.89	0	0
JUL	122.44	19.64	-0.026	12.89	0	0
AGO	129.22	22.85	-0.037	12.89	0	0
SEP	139.22	59.61	-0.016	12.89	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2009	*****	*****	*****
OCT	185.95	28.28	0.014	12.38	0	0
NOV	201.84	8.82	0.024	12.38	0	0
DIC	198.26	5.79	0.029	12.38	0	0
ENE	191.64	12.66	0.032	12.38	0	0
FEB	191.9	59.03	0.03	12.38	36.13	0
MAR	202.4	11.79	0.06	12.38	0	0
ABR	201.76	1.95	0.079	12.38	0	0
MAY	191.26	1.81	0.059	12.38	0	0
JUN	180.64	16.08	-0.002	12.38	0	0
JUL	184.35	44.69	-0.03	12.38	14.29	0
AGO	202.4	67.04	-0.045	12.38	54.71	0

SEP	202.4	30.09	-0.018	12.38	17.74	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2010	*****	*****	*****
OCT	202.4	6.49	0.014	12.79	0	0
NOV	196.08	3.7	0.024	12.79	0	0
DIC	186.97	-1.14	0.028	12.79	0	0
ENE	173.01	-0.67	0.031	12.79	0	0
FEB	159.52	-2.98	0.028	12.79	0	0
MAR	143.73	-0.53	0.053	12.79	0	0
ABR	130.35	0.12	0.066	12.79	0	0
MAY	117.62	0.73	0.049	12.79	0	0
JUN	105.51	7.66	-0.002	12.79	0	0
JUL	100.39	40.56	-0.024	12.79	0	0
AGO	128.19	43.2	-0.037	12.79	0	0
SEP	158.64	35.79	-0.017	12.79	0	0
EL BOSQUE	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2011	*****	*****	*****
OCT	181.66	19.47	0.014	12.22	0	0
NOV	188.89	1.69	0.024	12.22	0	0
DIC	178.34	-1.99	0.028	12.22	0	0
ENE	164.09	-3.16	0.03	12.22	0	0
FEB	148.67	6.09	0.027	12.22	0	0
MAR	142.51	-4.18	0.052	12.22	0	0
ABR	126.06	-4.79	0.065	12.22	0	0
MAY	108.97	-6.63	0.047	12.22	0	0
JUN	90.08	11.66	-0.002	12.22	0	0
JUL	89.52	41.44	-0.023	12.22	0	0
AGO	118.76	49.49	-0.036	12.22	0	0
SEP	156.06	38.37	-0.017	12.22	0	0

Tabla 39 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa El Bosque

*****	*****	*****	RESUMEN ANUAL	*****	*****	*****
AÑO	DERRAME	DÉFICIT	ING HIST	EXT TOTAL	ALMAC PRO	ELEV PRO
	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	(MSNM)
1994	20.55	3.59	159.71	175.7	126.79	1733.71
1995	0	0	159.9	170	121.18	1733.11
1996	0	0	131.82	168.4	129.18	1733.96
1997	0	40.27	147.44	162.5	88.61	1728.96
1998	0	0	184.87	161.6	145.35	1735.69
1999	0	0	138.4	161.4	121.78	1733.17
2000	0	0	195.22	155.8	135.88	1734.68
2001	0	0	112.15	159.6	156.19	1736.84
2002	0	0	186.1	152.2	136.68	1734.76
2003	0	0	137.99	158.7	136.89	1734.79
2004	0	0	155.63	162.5	130.66	1734.12
2005	0	0	174.03	159.7	122.24	1733.22
2006	0.9	0	203.28	158.2	173.99	1738.72
2007	6.04	0	164.48	163.5	168.32	1738.12
2008	5.92	0	149.63	154.7	157.72	1737
2009	122.86	0	288.05	148.5	195.94	1740.79
2010	0	0	132.93	153.5	148.47	1736.02
2011	0	0	147.46	146.7	141.18	1735.24
TOTAL	156.27	43.86	2969.09	2873.2		

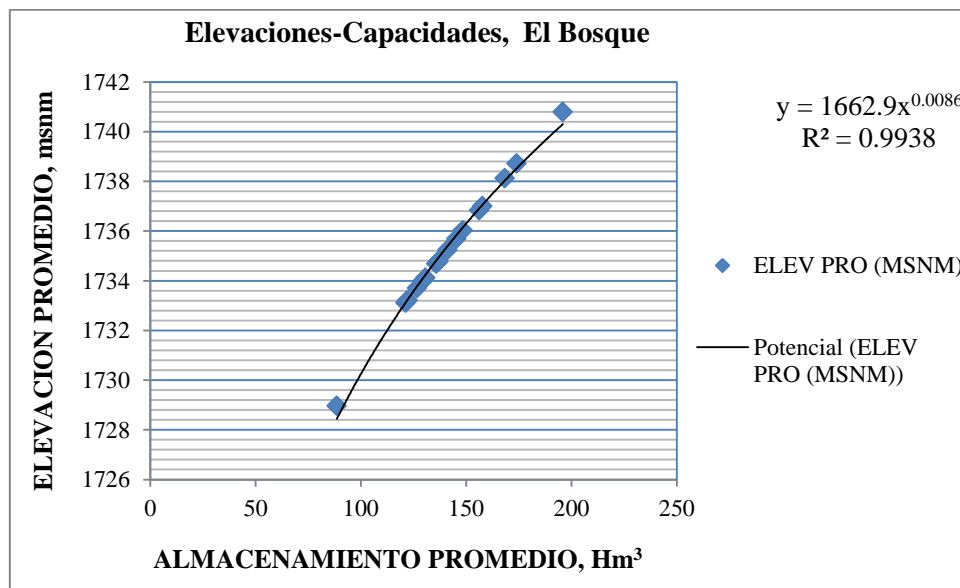


Figura 37 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa El Bosque

Tabla 40 Simulación del Funcionamiento de Vaso de la presa Valle de Bravo con Ensayo 9

V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³
***	*****	*****	**** 1994	*****	*****	*****
OCT	394.39	26.7	0.016	18.32	8.36	0
NOV	394.39	15.76	0.046	18.32	0	0
DIC	391.78	12.58	0.048	18.32	0	0
ENE	385.98	9.66	0.055	18.32	0	0
FEB	377.27	7.56	0.078	18.32	0	0
MAR	366.42	3.79	0.113	18.32	0	0
ABR	351.78	5.21	0.119	18.32	0	0
MAY	338.55	12.81	0.089	18.32	0	0
JUN	332.94	15.94	-0.027	18.32	0	0
JUL	330.58	22.48	-0.04	18.32	0	0
AGO	334.78	34.06	-0.055	18.32	0	0
SEP	350.57	37.34	-0.049	18.32	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³
***	*****	*****	**** 1995	*****	*****	*****
OCT	369.64	24.04	0.016	17.73	0	0
NOV	375.94	26.92	0.045	17.73	0	0
DIC	385.09	35.01	0.048	17.73	7.94	0
ENE	394.39	31.62	0.056	17.73	13.84	0
FEB	394.39	28.53	0.079	17.73	10.73	0
MAR	394.39	27.86	0.116	17.73	10.01	0
ABR	394.39	20.05	0.124	17.73	2.2	0
MAY	394.39	14.87	0.095	17.73	0	0
JUN	391.44	16.69	-0.028	17.73	0	0
JUL	390.43	27.52	-0.042	17.73	5.88	0
AGO	394.39	33.08	-0.059	17.73	15.41	0
SEP	394.39	49.39	-0.051	17.73	31.72	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³
***	*****	*****	**** 1996	*****	*****	*****
OCT	394.39	55.84	0.016	17.56	38.27	0
NOV	394.39	42.07	0.046	17.56	24.47	0
DIC	394.39	37.33	0.048	17.56	19.73	0
ENE	394.39	38.12	0.056	17.56	20.51	0

FEB	394.39	34.59	0.079	17.56	16.96	0
MAR	394.39	30.98	0.116	17.56	13.31	0
ABR	394.39	11.48	0.124	17.56	0	0
MAY	388.19	7.67	0.094	17.56	0	0
JUN	378.21	19.95	-0.028	17.56	0	0
JUL	380.63	24.7	-0.042	17.56	0	0
AGO	387.82	24.45	-0.059	17.56	0.37	0
SEP	394.39	29.07	-0.051	17.56	11.57	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 1997	*****	*****	*****
OCT	394.39	22.3	0.016	16.94	5.34	0
NOV	394.39	13.19	0.046	16.94	0	0
DIC	390.59	9.73	0.048	16.94	0	0
ENE	383.33	9.89	0.055	16.94	0	0
FEB	376.22	7.16	0.078	16.94	0	0
MAR	366.36	7.69	0.113	16.94	0	0
ABR	357	11.47	0.119	16.94	0	0
MAY	351.4	9.07	0.091	16.94	0	0
JUN	343.44	11.93	-0.027	16.94	0	0
JUL	338.46	15.26	-0.04	16.94	0	0
AGO	336.82	16.97	-0.055	16.94	0	0
SEP	336.9	52.73	-0.048	16.94	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 1998	*****	*****	*****
OCT	372.73	42.87	0.016	16.85	4.35	0
NOV	394.39	20.79	0.046	16.85	3.89	0
DIC	394.39	10.47	0.048	16.85	0	0
ENE	387.96	5.5	0.055	16.85	0	0
FEB	376.55	4.81	0.078	16.85	0	0
MAR	364.43	7.4	0.112	16.85	0	0
ABR	354.86	8.75	0.119	16.85	0	0
MAY	346.63	7.99	0.09	16.85	0	0
JUN	337.68	9.97	-0.027	16.85	0	0
JUL	330.83	13.27	-0.04	16.85	0	0
AGO	327.28	23.46	-0.055	16.85	0	0
SEP	333.95	25.9	-0.048	16.85	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	****	*****	*****	*****

			1999			
OCT	343.04	26.99	0.015	16.82	0	0
NOV	353.19	15.56	0.044	16.82	0	0
DIC	351.88	9.67	0.046	16.82	0	0
ENE	344.68	6.07	0.053	16.82	0	0
FEB	333.88	10.79	0.074	16.82	0	0
MAR	327.77	5.5	0.108	16.82	0	0
ABR	316.34	6.03	0.114	16.82	0	0
MAY	305.43	8.4	0.086	16.82	0	0
JUN	296.92	17.24	-0.026	16.82	0	0
JUL	297.37	17.23	-0.039	16.82	0	0
AGO	297.81	22.04	-0.053	16.82	0	0
SEP	303.08	28.88	-0.047	16.82	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2000	*****	*****	*****
OCT	315.18	23.39	0.015	16.24	0	0
NOV	322.32	14.94	0.042	16.24	0	0
DIC	320.97	7.96	0.045	16.24	0	0
ENE	312.65	8.96	0.051	16.24	0	0
FEB	305.31	7.24	0.072	16.24	0	0
MAR	296.23	8.26	0.105	16.24	0	0
ABR	288.15	5.95	0.111	16.24	0	0
MAY	277.74	9.4	0.084	16.24	0	0
JUN	270.82	19.52	-0.025	16.24	0	0
JUL	274.13	24.32	-0.038	16.24	0	0
AGO	282.25	28.55	-0.052	16.24	0	0
SEP	294.61	28.6	-0.046	16.24	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2001	*****	*****	*****
OCT	307.01	22.38	0.015	16.64	0	0
NOV	312.74	11.71	0.042	16.64	0	0
DIC	307.77	8.17	0.044	16.64	0	0
ENE	299.26	8.32	0.05	16.64	0	0
FEB	290.89	5.57	0.071	16.64	0	0
MAR	279.75	8.22	0.103	16.64	0	0
ABR	271.23	10.13	0.109	16.64	0	0
MAY	264.62	8.31	0.083	16.64	0	0
JUN	256.21	11.12	-0.025	16.64	0	0
JUL	250.72	18.56	-0.037	16.64	0	0

AGO	252.68	20.15	-0.051	16.64	0	0
SEP	256.24	33.9	-0.044	16.64	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2002	*****	*****	*****
OCT	273.55	27.2	0.014	15.87	0	0
NOV	284.87	18.25	0.041	15.87	0	0
DIC	287.21	13.51	0.043	15.87	0	0
ENE	284.8	10.72	0.05	15.87	0	0
FEB	279.61	8.55	0.07	15.87	0	0
MAR	272.21	9.07	0.102	15.87	0	0
ABR	265.31	8.59	0.109	15.87	0	0
MAY	257.92	6.36	0.082	15.87	0	0
JUN	248.33	18.41	-0.024	15.87	0	0
JUL	250.89	22.66	-0.037	15.87	0	0
AGO	257.71	27.59	-0.051	15.87	0	0
SEP	269.48	38.42	-0.045	15.87	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2003	*****	*****	*****
OCT	292.08	38.23	0.015	16.55	0	0
NOV	313.74	20.71	0.042	16.55	0	0
DIC	317.87	12.6	0.045	16.55	0	0
ENE	313.88	12.62	0.051	16.55	0	0
FEB	309.9	10.93	0.073	16.55	0	0
MAR	304.21	12.69	0.106	16.55	0	0
ABR	300.25	11.57	0.113	16.55	0	0
MAY	295.16	11.99	0.085	16.55	0	0
JUN	290.52	15.66	-0.026	16.55	0	0
JUL	289.66	19.31	-0.038	16.55	0	0
AGO	292.46	28.25	-0.053	16.55	0	0
SEP	304.21	29.28	-0.047	16.55	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2004	*****	*****	*****
OCT	316.99	33.75	0.015	16.94	0	0
NOV	333.79	15.71	0.043	16.94	0	0
DIC	332.51	10.4	0.045	16.94	0	0
ENE	325.93	9.4	0.052	16.94	0	0
FEB	318.33	6.72	0.073	16.94	0	0

MAR	308.04	9.99	0.106	16.94	0	0
ABR	300.99	11.49	0.113	16.94	0	0
MAY	295.42	7.47	0.085	16.94	0	0
JUN	285.87	7.62	-0.025	16.94	0	0
JUL	276.57	16.97	-0.038	16.94	0	0
AGO	276.63	22.56	-0.052	16.94	0	0
SEP	282.31	25.87	-0.046	16.94	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2005	*****	*****	*****
OCT	291.28	20.35	0.015	16.65	0	0
NOV	294.96	12.31	0.041	16.65	0	0
DIC	290.58	9.79	0.043	16.65	0	0
ENE	283.67	9.61	0.05	16.65	0	0
FEB	276.57	8.04	0.07	16.65	0	0
MAR	267.88	11.85	0.102	16.65	0	0
ABR	262.98	9.62	0.108	16.65	0	0
MAY	255.83	9.61	0.082	16.65	0	0
JUN	248.71	7.33	-0.024	16.65	0	0
JUL	239.41	23.47	-0.036	16.65	0	0
AGO	246.26	27.36	-0.05	16.65	0	0
SEP	257.02	26.43	-0.044	16.65	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2006	*****	*****	*****
OCT	266.84	28.91	0.014	16.5	0	0
NOV	279.23	17.68	0.041	16.5	0	0
DIC	280.38	10.36	0.043	16.5	0	0
ENE	274.19	8.15	0.049	16.5	0	0
FEB	265.79	6.96	0.069	16.5	0	0
MAR	256.18	7.94	0.1	16.5	0	0
ABR	247.53	5.49	0.107	16.5	0	0
MAY	236.42	12.93	0.08	16.5	0	0
JUN	232.77	13.63	-0.024	16.5	0	0
JUL	229.93	16.19	-0.036	16.5	0	0
AGO	229.66	19.23	-0.05	16.5	0	0
SEP	232.44	30.97	-0.043	16.5	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2007	*****	*****	*****

OCT	246.96	19.57	0.014	17.04	0	0
NOV	249.47	12.04	0.039	17.04	0	0
DIC	244.42	9.45	0.041	17.04	0	0
ENE	236.79	6.98	0.047	17.04	0	0
FEB	226.67	4.62	0.067	17.04	0	0
MAR	214.18	6.27	0.096	17.04	0	0
ABR	203.31	9.53	0.101	17.04	0	0
MAY	195.69	8.25	0.077	17.04	0	0
JUN	186.83	6.97	-0.023	17.04	0	0
JUL	176.78	18.35	-0.034	17.04	0	0
AGO	178.11	25.43	-0.046	17.04	0	0
SEP	186.54	29.15	-0.041	17.04	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2008	*****	*****	*****
OCT	198.69	19.03	0.013	16.13	0	0
NOV	201.58	10.43	0.037	16.13	0	0
DIC	195.85	9.05	0.039	16.13	0	0
ENE	188.73	11.79	0.045	16.13	0	0
FEB	184.34	8.09	0.063	16.13	0	0
MAR	176.24	9.12	0.091	16.13	0	0
ABR	169.14	6.79	0.096	16.13	0	0
MAY	159.7	5.25	0.072	16.13	0	0
JUN	148.75	12.41	-0.021	16.13	0	0
JUL	145.05	14.68	-0.032	16.13	0	0
AGO	143.63	16.36	-0.044	16.13	0	0
SEP	143.9	28.16	-0.038	16.13	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2009	*****	*****	*****
OCT	155.97	16.18	0.012	15.48	0	0
NOV	156.65	10.83	0.035	15.48	0	0
DIC	151.97	9.09	0.036	15.48	0	0
ENE	145.54	8.22	0.041	15.48	0	0
FEB	138.23	23.85	0.058	15.48	0	0
MAR	146.54	9.63	0.086	15.48	0	0
ABR	140.61	6.4	0.091	15.48	0	0
MAY	131.43	5.94	0.068	15.48	0	0
JUN	121.81	9.9	-0.02	15.48	0	0
JUL	116.25	23.47	-0.03	15.48	0	0
AGO	124.27	30.12	-0.042	15.48	0	0

SEP	138.95	37.12	-0.038	15.48	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2010	*****	*****	*****
OCT	160.62	22.16	0.012	16	0	0
NOV	166.77	13.72	0.035	16	0	0
DIC	164.45	10.82	0.037	16	0	0
ENE	159.23	11.4	0.042	16	0	0
FEB	154.6	9.51	0.06	16	0	0
MAR	148.05	9.53	0.086	16	0	0
ABR	141.49	6.91	0.091	16	0	0
MAY	132.3	7.49	0.068	16	0	0
JUN	123.73	10.77	-0.02	16	0	0
JUL	118.52	15.73	-0.03	16	0	0
AGO	118.28	21.08	-0.041	16	0	0
SEP	123.4	22.1	-0.036	16	0	0
V. BRAVO	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2011	*****	*****	*****
OCT	129.54	17.14	0.012	15.3	0	0
NOV	131.37	9.7	0.033	15.3	0	0
DIC	125.74	7.08	0.035	15.3	0	0
ENE	117.5	6.42	0.039	15.3	0	0
FEB	108.59	7.99	0.054	15.3	0	0
MAR	101.23	4.85	0.076	15.3	0	0
ABR	90.71	9.99	0.078	15.3	0	0
MAY	85.32	11.09	0.058	15.3	0	0
JUN	81.06	10.71	-0.017	15.3	0	0
JUL	76.49	20.48	-0.025	15.3	0	0
AGO	81.71	17.51	-0.036	15.3	0	0
SEP	83.96	18.71	-0.031	15.3	0	0

Tabla 41 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa Valle de Bravo

****	****	*****	RESUMEN ANUAL	*****	*****	*****
AÑO	DERRAME	DÉFICIT	ING HIST	EXT TOTAL	ALMAC PRO	ELEV PRO
	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³
1994	8.36	0	203.88	219.9	360.39	1828.06
1995	97.72	0	335.57	212.7	391.5	1829.84
1996	145.17	0	356.26	210.7	390.83	1829.8
1997	5.34	0	187.4	203.3	362.3	1828.17
1998	8.24	0	181.19	202.2	357.67	1827.9
1999	0	0	174.41	201.9	320.29	1825.75
2000	0	0	187.09	194.9	296.02	1824.24
2001	0	0	166.53	199.6	276.31	1823.02
2002	0	0	209.32	190.4	270.87	1822.68
2003	0	0	223.84	198.6	304.07	1824.74
2004	0	0	177.96	203.3	302.31	1824.63
2005	0	0	175.76	199.8	265.89	1822.37
2006	0	0	178.45	198	250.96	1821.43
2007	0	0	156.59	204.5	208.12	1818.69
2008	0	0	151.14	193.5	167.74	1816.06
2009	0	0	190.76	185.8	139.41	1814.18
2010	0	0	161.22	192	140.03	1814.22
2011	0	0	141.69	183.5	97.59	1810.97
TOTAL	264.83	0	3559.06	3594.6		

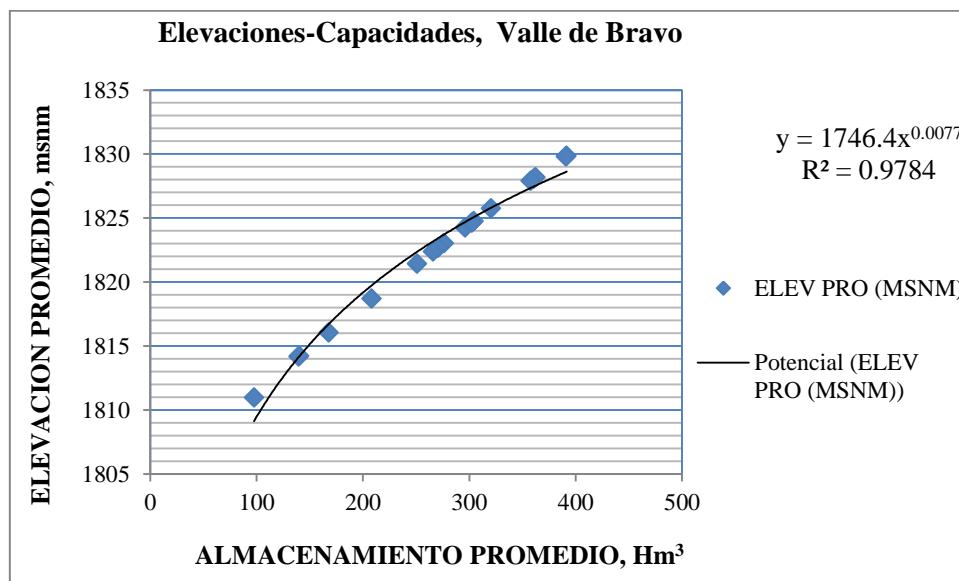


Figura 38 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa Valle de Bravo

Tabla 42 Simulación del Funcionamiento de Vaso de la presa Villa Victoria con Ensayo 9

V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 1994	*****	*****	*****
OCT	185.73	9.78	0.035	8.93	0.81	0
NOV	185.73	0.78	0.058	8.93	0	0
DIC	177.53	1.2	0.051	8.93	0	0
ENE	169.75	-0.77	0.051	8.93	0	0
FEB	159.99	0.96	0.076	8.93	0	0
MAR	151.95	-0.07	0.124	8.93	0	0
ABR	142.82	-0.82	0.114	8.93	0	0
MAY	132.96	1.4	0.068	8.93	0	0
JUN	125.36	9.47	-0.041	8.93	0	0
JUL	125.94	21.8	-0.07	8.93	0	0
AGO	138.89	23.42	-0.057	8.93	0	0
SEP	153.43	23.34	-0.047	8.93	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 1995	*****	*****	*****
OCT	167.89	7.05	0.033	8.64	0	0
NOV	166.27	3.87	0.054	8.64	0	0
DIC	161.45	2.19	0.048	8.64	0	0
ENE	154.95	2.07	0.048	8.64	0	0
FEB	148.34	-1.49	0.073	8.64	0	0
MAR	138.14	3.72	0.119	8.64	0	0
ABR	133.11	-1.47	0.111	8.64	0	0
MAY	122.89	-0.91	0.066	8.64	0	0
JUN	113.28	2.72	-0.04	8.64	0	0
JUL	107.39	13.87	-0.066	8.64	0	0
AGO	112.69	10.42	-0.052	8.64	0	0
SEP	114.52	26.23	-0.041	8.64	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 1996	*****	*****	*****
OCT	132.16	17.04	0.03	8.56	0	0
NOV	140.62	3.6	0.05	8.56	0	0
DIC	135.61	2.35	0.044	8.56	0	0
ENE	129.36	1.18	0.044	8.56	0	0

FEB	121.94	2.59	0.067	8.56	0	0
MAR	115.9	1.69	0.11	8.56	0	0
ABR	108.92	1.13	0.102	8.56	0	0
MAY	101.39	2.21	0.061	8.56	0	0
JUN	94.98	0.92	-0.037	8.56	0	0
JUL	87.38	6.06	-0.06	8.56	0	0
AGO	84.94	6.87	-0.046	8.56	0	0
SEP	83.31	16.45	-0.036	8.56	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	****	*****	*****	*****
			1997			
OCT	91.23	2.55	0.025	8.26	0	0
NOV	85.5	1	0.04	8.26	0	0
DIC	78.2	0.82	0.034	8.26	0	0
ENE	70.72	1.91	0.033	8.26	0	0
FEB	64.35	1.09	0.049	8.26	0	0
MAR	57.13	0.8	0.078	8.26	0	0
ABR	49.59	1.38	0.068	8.26	0	0
MAY	42.64	4.54	0.038	8.26	0	0
JUN	38.88	3.61	-0.023	8.26	0	0
JUL	34.26	8.11	-0.036	8.26	0	0
AGO	34.15	14.9	-0.028	8.26	0	0
SEP	40.82	43.82	-0.024	8.26	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	****	*****	*****	*****
			1998			
OCT	76.41	37.18	0.023	8.21	0	0
NOV	105.35	6.84	0.044	8.21	0	0
DIC	103.93	2.88	0.039	8.21	0	0
ENE	98.55	0.87	0.04	8.21	0	0
FEB	91.17	1.47	0.06	8.21	0	0
MAR	84.37	2.03	0.095	8.21	0	0
ABR	78.1	-2.66	0.087	8.21	0	0
MAY	67.14	-0.65	0.049	8.21	0	0
JUN	58.22	2.38	-0.028	8.21	0	0
JUL	52.41	13.14	-0.045	8.21	0	0
AGO	57.38	21.53	-0.037	8.21	0	0
SEP	70.73	16.79	-0.033	8.21	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	****	*****	*****	*****

			1999			
OCT	79.34	3.07	0.023	8.2	0	0
NOV	74.19	1.93	0.037	8.2	0	0
DIC	67.88	0.42	0.032	8.2	0	0
ENE	60.07	0.05	0.031	8.2	0	0
FEB	51.9	0.64	0.044	8.2	0	0
MAR	44.29	-0.47	0.067	8.2	0	0
ABR	35.56	-0.58	0.057	8.2	0	3.28
MAY	30	3.01	0.045	8.2	0	5.24
JUN	30	15.97	-0.028	8.2	0	0
JUL	37.8	13.85	-0.038	8.2	0	0
AGO	43.49	16.27	-0.032	8.2	0	0
SEP	51.59	13.1	-0.027	8.2	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³
***	*****	*****	**** 2000	*****	*****	*****
OCT	56.52	8.62	0.02	7.91	0	0
NOV	57.2	2.14	0.032	7.91	0	0
DIC	51.39	-0.46	0.027	7.91	0	0
ENE	42.99	-0.71	0.025	7.91	0	0
FEB	34.34	-0.33	0.035	7.91	0	3.95
MAR	30	-0.22	0.077	7.91	0	8.21
ABR	30	-0.98	0.072	7.91	0	8.97
MAY	30	0.98	0.044	7.91	0	6.98
JUN	30	4.34	-0.027	7.91	0	3.55
JUL	30	18.2	-0.046	7.91	0	0
AGO	40.33	27.01	-0.031	7.91	0	0
SEP	59.45	23.85	-0.03	7.91	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³
***	*****	*****	**** 2001	*****	*****	*****
OCT	75.41	13.64	0.023	8.11	0	0
NOV	80.93	2.76	0.039	8.11	0	0
DIC	75.55	-1.69	0.034	8.11	0	0
ENE	65.72	1.61	0.032	8.11	0	0
FEB	59.19	-1.73	0.047	8.11	0	0
MAR	49.31	-0.55	0.071	8.11	0	0
ABR	40.58	-0.43	0.061	8.11	0	0
MAY	31.98	-0.55	0.033	8.11	0	6.71
JUN	30	3.97	-0.027	8.11	0	4.11
JUL	30	9.29	-0.045	8.11	0	0

AGO	31.23	13.14	-0.027	8.11	0	0
SEP	36.3	31.23	-0.023	8.11	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2002	*****	*****	*****
OCT	59.44	29.24	0.02	7.73	0	0
NOV	80.92	15	0.039	7.73	0	0
DIC	88.15	4.13	0.036	7.73	0	0
ENE	84.51	2.22	0.037	7.73	0	0
FEB	78.96	2.01	0.055	7.73	0	0
MAR	73.18	-1.46	0.088	7.73	0	0
ABR	63.9	-2.53	0.078	7.73	0	0
MAY	53.55	-2.95	0.044	7.73	0	0
JUN	42.82	5.12	-0.024	7.73	0	0
JUL	40.23	10.93	-0.039	7.73	0	0
AGO	43.46	20.88	-0.032	7.73	0	0
SEP	56.64	44.02	-0.029	7.73	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2003	*****	*****	*****
OCT	92.96	15.78	0.026	8.06	0	0
NOV	100.66	10.19	0.043	8.06	0	0
DIC	102.73	0.59	0.039	8.06	0	0
ENE	95.22	-0.87	0.039	8.06	0	0
FEB	86.25	-1.84	0.058	8.06	0	0
MAR	76.29	-1.21	0.09	8.06	0	0
ABR	66.93	0.45	0.08	8.06	0	0
MAY	59.23	0.26	0.046	8.06	0	0
JUN	51.38	14.7	-0.026	8.06	0	0
JUL	58.05	21.49	-0.048	8.06	0	0
AGO	71.52	35.88	-0.042	8.06	0	0
SEP	99.38	47.7	-0.039	8.06	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2004	*****	*****	*****
OCT	139.06	34.47	0.03	8.26	0	0
NOV	165.24	6.52	0.054	8.26	0	0
DIC	163.45	4.4	0.048	8.26	0	0
ENE	159.55	6.75	0.049	8.26	0	0
FEB	158	1.44	0.075	8.26	0	0

MAR	151.11	0.72	0.123	8.26	0	0
ABR	143.45	0.82	0.114	8.26	0	0
MAY	135.9	-0.35	0.069	8.26	0	0
JUN	127.23	0.46	-0.042	8.26	0	0
JUL	119.48	7.96	-0.069	8.26	0	0
AGO	119.25	16.07	-0.054	8.26	0	0
SEP	127.11	16.44	-0.043	8.26	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2005	*****	*****	*****
OCT	135.34	8.82	0.03	8.12	0	0
NOV	136.01	2.05	0.049	8.12	0	0
DIC	129.9	0.92	0.043	8.12	0	0
ENE	122.66	0.63	0.043	8.12	0	0
FEB	115.13	0.57	0.066	8.12	0	0
MAR	107.52	0.72	0.107	8.12	0	0
ABR	100.01	2.03	0.098	8.12	0	0
MAY	93.83	2.83	0.059	8.12	0	0
JUN	88.48	4.96	-0.035	8.12	0	0
JUL	85.37	4.59	-0.059	8.12	0	0
AGO	81.9	28.07	-0.045	8.12	0	0
SEP	101.9	32.1	-0.039	8.12	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2006	*****	*****	*****
OCT	125.92	28.23	0.029	8.04	0	0
NOV	146.08	13.71	0.05	8.04	0	0
DIC	151.7	3.25	0.046	8.04	0	0
ENE	146.87	1.53	0.047	8.04	0	0
FEB	140.32	2.54	0.071	8.04	0	0
MAR	134.75	0.87	0.118	8.04	0	0
ABR	127.46	-0.38	0.109	8.04	0	0
MAY	118.93	1.61	0.065	8.04	0	0
JUN	112.43	10.47	-0.039	8.04	0	0
JUL	114.9	14.88	-0.068	8.04	0	0
AGO	121.81	22.28	-0.054	8.04	0	0
SEP	136.1	42.9	-0.044	8.04	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2007	*****	*****	*****

OCT	171	9.04	0.034	8.31	0	0
NOV	171.69	2.77	0.055	8.31	0	0
DIC	166.11	1.2	0.048	8.31	0	0
ENE	158.95	-8.12	0.049	8.31	0	0
FEB	142.48	-0.26	0.072	8.31	0	0
MAR	133.84	0.81	0.117	8.31	0	0
ABR	126.23	0.21	0.108	8.31	0	0
MAY	118.03	-0.71	0.065	8.31	0	0
JUN	108.95	1.18	-0.039	8.31	0	0
JUL	101.86	12.46	-0.064	8.31	0	0
AGO	106.08	13.23	-0.051	8.31	0	0
SEP	111.06	5.79	-0.041	8.31	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2008	*****	*****	*****
OCT	108.59	4.74	0.027	7.86	0	0
NOV	105.45	2.52	0.044	7.86	0	0
DIC	100.06	2.55	0.039	7.86	0	0
ENE	94.71	2.04	0.039	7.86	0	0
FEB	88.85	1.34	0.059	7.86	0	0
MAR	82.27	0.45	0.094	7.86	0	0
ABR	74.76	2.26	0.085	7.86	0	0
MAY	69.08	3.95	0.05	7.86	0	0
JUN	65.11	5.41	-0.03	7.86	0	0
JUL	62.7	3.9	-0.05	7.86	0	0
AGO	58.78	6.27	-0.038	7.86	0	0
SEP	57.23	31.4	-0.029	7.86	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2009	*****	*****	*****
OCT	80.8	11.86	0.024	7.55	0	0
NOV	85.09	2.84	0.04	7.55	0	0
DIC	80.35	2.08	0.035	7.55	0	0
ENE	74.85	3.58	0.034	7.55	0	0
FEB	70.85	42.87	0.052	7.55	0	0
MAR	106.12	5.95	0.106	7.55	0	0
ABR	104.42	1.46	0.1	7.55	0	0
MAY	98.24	1.56	0.06	7.55	0	0
JUN	92.19	3.29	-0.036	7.55	0	0
JUL	87.97	19.23	-0.06	7.55	0	0
AGO	99.72	24.28	-0.05	7.55	0	0

SEP	116.5	16.05	-0.041	7.55	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2010	*****	*****	*****
OCT	125.05	6.39	0.029	7.8	0	0
NOV	123.62	2.15	0.047	7.8	0	0
DIC	117.92	1.41	0.041	7.8	0	0
ENE	111.49	1.31	0.042	7.8	0	0
FEB	104.97	1.82	0.063	7.8	0	0
MAR	98.92	0.16	0.103	7.8	0	0
ABR	91.18	-0.13	0.095	7.8	0	0
MAY	83.16	0.71	0.055	7.8	0	0
JUN	76.02	0.92	-0.033	7.8	0	0
JUL	69.17	14.78	-0.053	7.8	0	0
AGO	76.2	15.06	-0.043	7.8	0	0
SEP	83.51	11.91	-0.036	7.8	0	0
V. VICTORIA	ALM. INICIAL	INGRESO	VOL EVAP	EXT POL	DERRAME	DÉFICIT
MES	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³	10⁶ m³
***	*****	*****	**** 2011	*****	*****	*****
OCT	87.66	4.47	0.025	7.45	0	0
NOV	84.65	1.69	0.04	7.45	0	0
DIC	78.85	0.1	0.034	7.45	0	0
ENE	71.46	0.05	0.033	7.45	0	0
FEB	64.02	1.5	0.049	7.45	0	0
MAR	58.02	0.38	0.078	7.45	0	0
ABR	50.86	0.35	0.069	7.45	0	0
MAY	43.69	2.3	0.039	7.45	0	0
JUN	38.49	3.09	-0.023	7.45	0	0
JUL	34.15	11.19	-0.036	7.45	0	0
AGO	37.92	15.09	-0.03	7.45	0	0
SEP	45.58	11.41	-0.026	7.45	0	0

Tabla 43 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa Villa Victoria

****	****	*****	RESUMEN ANUAL	*****	*****	*****
AÑO	DERRAME	DFICIT	ING HIST	EXT TOTAL	ALMAC PRO	ELEV PRO
	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	(MSNM)
1994	0.81	0	90.48	107.2	152.69	2604.33
1995	0	0	68.28	103.7	133.77	2603.61
1996	0	0	62.08	102.7	107.97	2602.56
1997	0	0	84.51	99.1	56.05	2599.98
1998	0	0	101.79	98.6	78.89	2601.22
1999	0	8.52	67.25	98.4	48.61	2599.47
2000	0	31.66	82.42	95	42.59	2599.06
2001	0	10.82	70.7	97.3	49.19	2599.51
2002	0	0	126.6	92.8	66.61	2600.6
2003	0	0	143.12	96.8	83.89	2601.47
2004	0	0	95.71	99.1	142.09	2603.93
2005	0	0	88.29	97.4	107.39	2602.53
2006	0	0	141.88	96.5	135.19	2603.66
2007	0	0	37.62	99.7	129.49	2603.45
2008	0	0	66.82	94.3	78.32	2601.19
2009	0	0	135.06	90.5	95.11	2602.01
2010	0	0	56.48	93.6	93.65	2601.95
2011	0	0	51.61	89.4	54.77	2599.89
TOTAL	0.81	51	1570.7	1752.1		

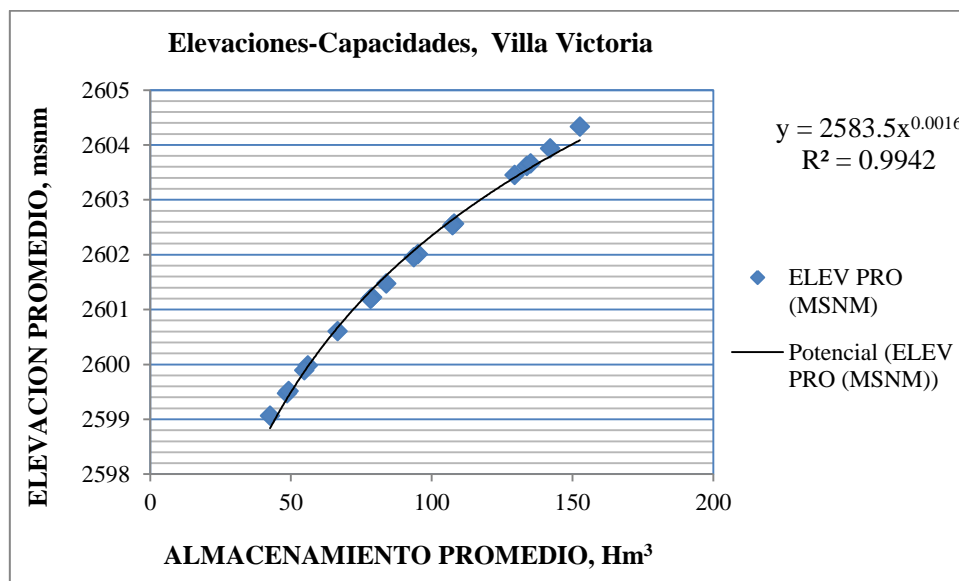


Figura 39 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa Villa Victoria

Contenido de Figuras

Figura 1 Croquis del Sistema Cutzamala (Fuente CONAGUA 2005 agua.org.mx).....	4
Figura 2 Cuenca Del Valle de México	10
Figura 3 Sistema de Presas del Río Cutzamala	12
Figura 4 Perfil de elevaciones	14
Figura 5 Perfil de conducción del tramo presa Colorines a Torre de oscilación 5.....	15
Figura 6 Registro de Almacenamiento Presa Valle de Bravo 2002-2014.....	16
Figura 7 Registro de Almacenamiento Presa Villa Victoria 2002-2014.....	17
Figura 8 Registro de Almacenamiento Presa El Bosque 2002-2014	18
Figura 9 Gráfica Curva Z	24
Figura 10 Gráfica valores totales de Almacenamiento y Extracciones Históricas.....	25
Figura 11 Curva Z característica de Almacenamientos y Extracciones Históricos.....	26
Figura 12 Promedio Histórico de Entradas a El Bosque	27
Figura 13 Promedio Histórico de Entradas a Valle de Bravo	28
Figura 14 Promedio Histórico de Entradas a Villa Victoria	28
Figura 15 Curva Elevaciones-Capacidades-Áreas. Presa El Bosque	30
Figura 16 Curva Elevaciones-Capacidades-Áreas. Presa Valle de Bravo	30
Figura 17 Curva Elevaciones-Capacidades-Áreas. Presa Villa Victoria.....	31
Figura 18 Gráfica Extracciones Históricas con Ajuste Lineal	36
Figura 19 Diagrama de Bloques de un AG	39
Figura 20 Curva Z con Algoritmo Genético. Ensayo 1-3	51
Figura 21 Curva Z con Algoritmo Genético. Ensayos 4-7.....	53
Figura 22 Almacenamientos Promedio de las presas del Sistema Cutzamala	54
Figura 23 Curva Z con Algoritmo Genético. Ensayos 8 y 9	56
Figura 24 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa El Bosque.....	58
Figura 25 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa Valle de Bravo.	59
Figura 26 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa Villa Victoria...	60
Figura 27 Extracción histórica y simulada con la política 9. Presa El Bosque	62
Figura 28 Derrame histórico y simulado con la política 9. Presa El Bosque	63
Figura 29 Déficit histórico y simulado con la política 9. Presa El Bosque	63
Figura 30 Extracción histórica y simulada con la política 9. Presa Valle de Bravo.....	64
Figura 31 Derrame histórico y simulado con la política 9. Presa Valle de Bravo.....	64
Figura 32 Déficit histórico y simulado con la política 9. Presa Valle de Bravo	65
Figura 33 Extracción histórica y simulada con la política 9. Presa Villa Victoria.....	66
Figura 34 Derrame histórico y simulado con la política 9. Presa Villa Victoria.....	66
Figura 35 Déficit histórico y simulado con la política 9. Presa Villa Victoria	66
Figura 36 Curva Z con política de operación 9.....	67
Figura 37 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa El Bosque.....	83
Figura 38 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa Valle de Bravo.	91
Figura 39 Comportamiento de Elevación-Almacenamiento (Ensayo 9), Presa Villa Victoria ...	99

Contenido de Tablas

Tabla 1 Volumen de entrega histórico del Sistema Cutzamala.....	2
Tabla 2 Delegaciones y municipios que reciben agua procedente del Sistema Cutzamala	7
Tabla 3 Disponibilidad del agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México	8
Tabla 4 Características de los elementos que componen el Sistema Cutzamala.....	13
Tabla 5 Capacidades de las principales presas del Sistema Cutzamala	19
Tabla 6 Almacenamiento Inicial Total al 1° de Octubre y Extracciones Totales	25
Tabla 7 Valores de almacenamiento y Extracciones que forman la Curva Z	26
Tabla 8 Valores de batimetría en cada embalse de las principales presas del Sistema Cutzamala	29
Tabla 9 Porcentaje de Extracción Histórica para cada Presa del Sistema Cutzamala.....	32
Tabla 10 Prueba de Política de Operación un Año de Simulación. Presa El Bosque	33
Tabla 11 Simulación Conjunta. Presa El Bosque 1994-1995	34
Tabla 12 Extracciones Totales Anuales	35
Tabla 13 Resumen funcionamiento Histórico (Extracción 1/12). Presa El Bosque.....	36
Tabla 14 Resumen funcionamiento Histórico (Extracción 1/12). Presa Valle de Bravo	37
Tabla 15 Resumen funcionamiento Histórico (Extracción 1/12). Presa Villa Victoria	37
Tabla 16 Límites de parámetros inferiores y superiores	42
Tabla 17 Coeficientes de penalización.....	42
Tabla 18 Resultados del algoritmo genético con los Ensayos de simulación del 1 al 7.....	50
Tabla 19 Continuación Tabla 14 y Total Tres Presas de los Ensayos 1 al 7.....	51
Tabla 20 Funcionamiento Histórico total 3 presas, del periodo de 1994 al 2011	52
Tabla 21 Resultados de Porcentajes de Extracción Anual para cada Presa (Ensayos 1-7)	52
Tabla 22 Nuevos Límites de parámetros inferiores y superiores (Ensayos 8 y 9)	54
Tabla 23 Nuevos Coeficientes de penalización (Ensayo 8 y 9)	55
Tabla 24 Resultados del algoritmo genético con los Ensayos de simulación 8 y 9	55
Tabla 25 Continuación Tabla 20 y Total Tres Presas de los Ensayos 8 y 9.....	55
Tabla 26 Resultados de Porcentajes de Extracción Anual para cada Presa (Ensayos 8 y 9).....	55
Tabla 27 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa El Bosque.....	57
Tabla 28 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa Valle de Bravo	58
Tabla 29 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa Villa Victoria	59
Tabla 30 Comparación Análisis Histórico contra Resultados Óptimos	60
Tabla 31 Comparación de Porcentajes de Extracciones Históricas-Óptimas.....	61
Tabla 32 Comparación Análisis Histórico contra Simulación Política 9. El Bosque	62
Tabla 33 Comparación Análisis Histórico contra Simulación Política 9. Valle de Bravo.	63
Tabla 34 Comparación Análisis Histórico contra Simulación Política 9. Villa Victoria.	65
Tabla 35 Valores óptimos que conforman la Curva Z	67
Tabla 36 Registro histórico de las presas del Sistema Cutzamala. Fuente: CONAGUA.....	71
Tabla 37 Resumen Anual Extracciones y Almacenamientos Históricos. Determinación Porcentaje de Extracción Anual	75
Tabla 38 Simulación del Funcionamiento de Vaso de la presa El Bosque con Ensayo 9	76
Tabla 39 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa El Bosque.....	83
Tabla 40 Simulación del Funcionamiento de Vaso de la presa Valle de Bravo con Ensayo 9 ...	84

Tabla 41 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa Valle de Bravo 91
Tabla 42 Simulación del Funcionamiento de Vaso de la presa Villa Victoria con Ensayo 9 92
Tabla 43 Resumen Funcionamiento del Vaso Anual (Ensayo 9). Presa Villa Victoria 99