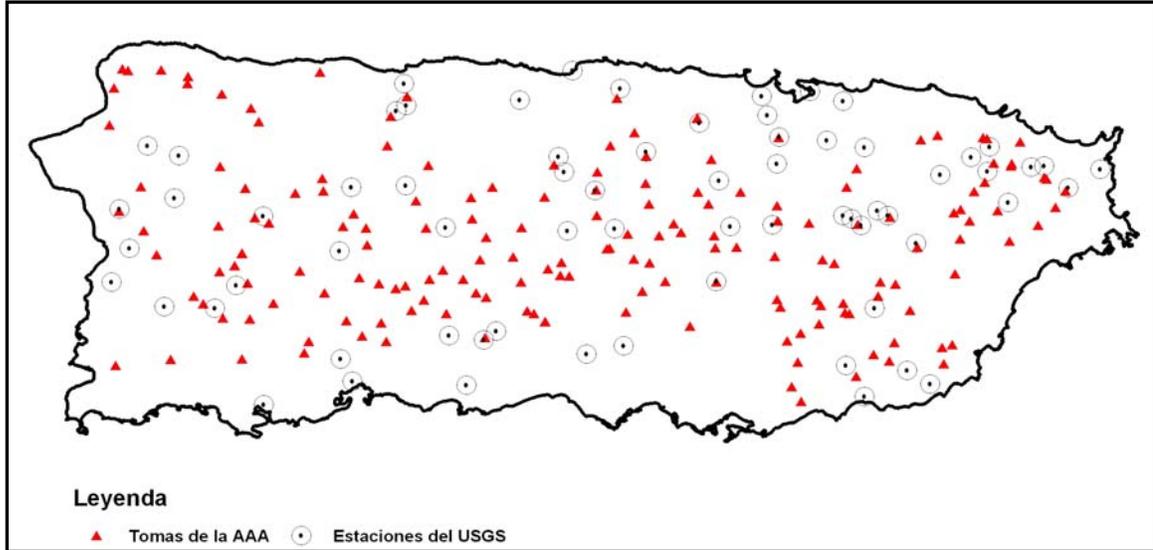


**APENDICE A
RENDIMIENTO SEGURO PARA
LAS TOMAS DE RIOS Y
EMBALSES DE
ABASTECIMIENTO MUNICIPAL
EN PUERTO RICO**

Rendimiento Seguro para las Tomas de Ríos y Embalses de Abastecimiento Municipal en Puerto Rico



Abril de 2008

Preparado para:

Oficina del Plan de Aguas
Departamento de Recursos Naturales
y Ambientales
San Juan, Puerto Rico

Preparado por:

Gregory L. Morris Engineering
San Juan, Puerto Rico
www.gmaeng.com



Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIÓN DEL RENDIMIENTO SEGURO.....	1
3. ESTRATEGIAS PARA CALCULAR EL RENDIMIENTO SEGURO.....	2
3.1. Estrategias para Tomas Superficiales	2
3.2. Estrategias para Embalses.....	3
4. ECUACIONES DE REGRESIÓN REGIONAL.....	4
4.1. Metodología.....	4
4.2. Ecuación de Regresión Regional para Q_{99}	7
4.3. Ecuación de Regresión Regional para Flujo Promedio (Q_p)	8
5. METODOLOGÍA PARA CALCULAR RENDIMIENTO SEGURO	9
5.1. Rendimiento Seguro de las Tomas en Ríos y Quebradas	9
5.2. Rendimiento Seguro de los Embalses	9
6. RENDIMIENTO SEGURO DE LAS TOMAS EN RÍOS Y QUEBRADAS.....	10
7. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO SEGURO DE EMBALSES	19
7.1. Resumen de Resultados	19
7.2. Embalse Carite	20
7.3. Embalse Carraizo.....	25
7.4. Embalse Cerrillos.....	29
7.5. Embalse Cidra	35
7.6. Embalse Garzas.....	39
7.7. Embalse Guajataca	43
7.8. Embalse El Guineo.....	47
7.9. Embalse Matrullas	51
7.10. Embalse Guayabal	55
7.11. Embalse La Plata	59
7.12. Embalse Patillas	63
7.13. Embalse Guayo	67
7.14. Embalse Loco.....	71
7.15. Embalse Lucchetti	75
7.16. Embalse Prieto	79
7.17. Embalse Yahuecas.....	83
7.18. Sistema de Riego del Valle de Lajas	85
7.19. Embalse Toa Vaca	90
8. REFERENCIAS.....	94

Lista de Tablas

Tabla 1: Datos Utilizados para Determinar la Ecuación Regional.

Tabla 2: Rendimiento Seguro de las Tomas de la AAA en Ríos.

Tabla 3: Estaciones del USGS Utilizadas para Determinar Caudal Promedio.

Tabla 4: Rendimiento Seguro de los Embalses.

Tabla 5: Datos del Embalse Carite.

Tabla 6: Datos del Embalse Carrraízo.

Tabla 7: Datos del Embalse Cerrillos.

Tabla 8: Rendimiento Seguro para el Embalse Cerrillos.

Tabla 9: Datos del Embalse Cidra.

Tabla 10: Datos del Embalse Garzas.

Tabla 11: Datos del Embalse Guajataca.

Tabla 12: Datos del Embalse El Guineo.

Tabla 13: Datos del Embalse Matrullas.

Tabla 14: Datos del Embalse Guayabal.

Tabla 15: Datos del Embalse La Plata.

Tabla 16: Datos del Embalse Patillas.

Tabla 17: Datos del Embalse Guayo.

Tabla 18: Datos del Embalse Loco.

Tabla 19: Datos del Embalse Lucchetti.

Tabla 20: Datos del Embalse Prieto.

Tabla 21: Datos del Embalse Yahuecas.

Tabla 22: Análisis de Excedencia de Flujos.

Tabla 23: Rendimiento Seguro para el Sistema del Valle de Lajas.

Tabla 24: Datos del Embalse Toa Vaca.

Lista de Ilustraciones

- Ilustración 1: Localización de las tomas de la AAA y las estaciones del USGS.
- Ilustración 2: Precipitación anual promedio (Oficina del Plan de Aguas).
- Ilustración 3: Relación entre Q_{99} , área de captación y precipitación anual promedio.
- Ilustración 4: Relación entre caudal promedio, área de captación y precipitación anual promedio.
- Ilustración 5: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Carite.
- Ilustración 6: Comportamiento de nivel para el Embalse Carite, resultante del análisis de rendimiento.
- Ilustración 7: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Carite.
- Ilustración 8: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Carraízo.
- Ilustración 9: Comportamiento de nivel para el Embalse Carraízo, resultante del análisis de rendimiento.
- Ilustración 10: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Carraízo.
- Ilustración 11: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Cerrillos.
- Ilustración 12: Comportamiento de nivel para el Embalse Cerrillos, resultante del análisis de rendimiento (Escenario #1: Abasto de Agua Solamente).
- Ilustración 13: Comportamiento de nivel para el Embalse Cerrillos, resultante del análisis de rendimiento (Escenario #2: Conservación Biológica).
- Ilustración 14: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Cerrillos (Escenario #1: Abasto de Agua Solamente).
- Ilustración 15: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Cerrillos (Escenario #2: Conservación Biológica).
- Ilustración 16: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Cidra.
- Ilustración 17: Comportamiento de nivel para el Embalse Cidra, resultante del análisis de rendimiento.
- Ilustración 18: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Cidra.
- Ilustración 19: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Garzas.
- Ilustración 20: Comportamiento de nivel para el Embalse Garzas, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 21: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Garzas.

Ilustración 22: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Guajataca.

Ilustración 23: Comportamiento de nivel para el Embalse Guajataca, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 24: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Guajataca.

Ilustración 25: Curva de nivel vs volumen para el Embalse El Guineo.

Ilustración 26: Comportamiento de nivel para el Embalse El Guineo, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 27: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse El Guineo.

Ilustración 28: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Matrullas.

Ilustración 29: Comportamiento de nivel para el Embalse Matrullas, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 30: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Matrullas.

Ilustración 31: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Guayabal.

Ilustración 32: Comportamiento de nivel para el Embalse Guayabal, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 33: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Guayabal.

Ilustración 34: Curva de nivel vs volumen para el Embalse La Plata.

Ilustración 35: Comportamiento de nivel para el Embalse La Plata, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 36: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse La Plata.

Ilustración 37: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Patillas.

Ilustración 38: Comportamiento de nivel para el Embalse Patillas, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 39: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Patillas.

Ilustración 40: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Guayo.

Ilustración 41: Comportamiento de nivel para el Embalse Guayo, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 42: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Guayo.

Ilustración 43: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Loco.

Ilustración 44: Comportamiento de nivel para el Embalse Loco, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 45: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Loco.

Ilustración 46: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Lucchetti.

Ilustración 47: Comportamiento de nivel para el Embalse Lucchetti, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 48: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Lucchetti.

Ilustración 49: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Prieto.

Ilustración 50: Comportamiento de nivel para el Embalse Prieto, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 51: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Prieto.

Ilustración 52: Análisis de Excedencia.

Ilustración 53: Comportamiento de nivel para el Embalse Guayo, resultante del modelo HEC-ResSim.

Ilustración 54: Comportamiento de nivel para el Embalse Lucchetti, resultante del modelo HEC-ResSim.

Ilustración 55: Comportamiento de nivel para el Embalse Loco, resultante del modelo HEC-ResSim.

Ilustración 56: Comportamiento de nivel para el Embalse Prieto, resultante del modelo HEC-ResSim.

Ilustración 57: Comportamiento de nivel para el Embalse Yahuecas, resultante del modelo HEC-ResSim.

Ilustración 58: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Toa Vaca.

Ilustración 59: Comportamiento de nivel para el Embalse Toa Vaca, resultante del análisis de rendimiento.

Ilustración 60: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Toa Vaca.

Rendimiento Seguro para las Tomas de Ríos y Embalses de Abastecimiento Municipal en Puerto Rico

8 de abril de 2008

Análisis

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio se llevó a cabo como un componente del Plan de Aguas para definir mejor la disponibilidad de agua para usos doméstico, el cual es el uso principal de este recurso en Puerto Rico. El análisis se ha llevado a cabo utilizando un método consistente y los datos de aforo actualizados con el objetivo de proveer una mejor base técnica para la toma de decisiones.

2. DEFINICIÓN DEL RENDIMIENTO SEGURO

Para el uso doméstico, el rendimiento seguro se define como el caudal de agua disponible el 99% del tiempo sin recurrir al racionamiento, y con un caudal adecuado durante eventos de racionamiento para satisfacer las necesidades básicas. Este análisis reconoce que bajo ninguna circunstancia se debe considerar reducir la producción de agua a cero o un valor cercano a cero o, en el caso de un embalse, vaciar el embalse por completo lo cual también implica un cese en el suministro del agua.

El análisis se llevó a cabo desde el punto de vista de un sistema de abasto doméstico en operación, y no un análisis teórico. Por ende, se aplicaron parámetros operacionales que tienen sentido desde dicha perspectiva.

Actualmente existe en Puerto Rico un registro considerable de aforos en los ríos principales, incluyendo periodos de sequía severa, por lo que se han utilizado los datos históricos como la base para determinar el rendimiento de los embalses. Sin embargo, las sequías varían en su patrón unas de otras, y no se puede llevar a cabo el análisis sin tomar en cuenta la posibilidad de una sequía de mayor severidad que la histórica. Por ejemplo, en la cuenca del Río Grande de Loíza, la sequía de 1967-68 fue más severa que la del 1994-95, mientras que en el Río Grande Manatí ocurre a la inversa siendo el evento de 1994-95 el más severo. Por ende, no se puede presentar el rendimiento seguro como un valor exacto que se puede calcular aprovechando la última gota de agua disponible durante la sequía histórica. Al determinar el rendimiento seguro de un embalse, un cálculo prudente debe mantener una reserva disponible para la posibilidad de un evento

de mayor severidad. Desde este punto de vista es importante señalar que los modelos climáticos disponibles indican que el proceso de calentamiento global probablemente tendrá el impacto de reducir, y no de aumentar, la disponibilidad de agua en Puerto Rico.

3. ESTRATEGIAS PARA CALCULAR EL RENDIMIENTO SEGURO

Se determinó el rendimiento seguro para tomas de agua superficiales (sin almacenaje) y también para los embalses. Las localizaciones de las tomas fueron obtenidas del sistema de información geográfica (GIS por sus siglas en inglés) de la Oficina Plan de Agua. No se analizaron sistemas de agua subterránea.

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) cuenta con tomas de agua cruda localizadas en dos cuerpos de agua diferentes: tomas superficiales en ríos o quebradas y tomas en embalses. La metodología para determinar el rendimiento seguro en ambos es diferente. Este documento describe las dos metodologías y los resultados de su aplicación a las tomas de la AAA.

Este análisis de rendimiento seguro parte de la premisa de que los datos de aforo del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) registrados desde la década de 1960's serán iguales a las condiciones futuras. Aquí no se incorpora ningún ajuste para un efecto de invernadero, cuyo impacto en los flujos mínimos no se puede cuantificar en la actualidad.

Hay una cantidad de estaciones de aforo que tienen un registro relativamente corto. Cuando este registro corto incluye los años de sequía fuerte de 1994-95, se entiende que dicha estación incorpora un evento de sequía severa y se utilizan los datos. Otro evento de sequía severa ocurrió en el área Este de Puerto Rico durante los años 1967-1968.

3.1. Estrategias para Tomas Superficiales

La determinación del flujo mínimo requiere el aforo de los caudales de agua por un periodo largo de tiempo que incluya la temporada de sequía severa en la región de análisis. En Puerto Rico, la mayor parte de las tomas de agua cruda para el agua doméstica no coinciden con las estaciones de aforo rastreadas por el USGS, según se puede apreciar de la Ilustración 1.

En el caso de las tomas en los ríos y quebradas se utilizaron datos de estaciones de aforo cercanos a la toma bajo análisis, con un factor de ajuste para trasladar los datos desde el punto de aforo hasta el punto de la toma. Este análisis de proporción de cuencas se utilizó para las tomas que contaron con una estación de aforo cercana. Para las demás tomas que carecen de una estación del USGS adecuada para el análisis, el rendimiento se determinó mediante la ecuación regional para estimar el caudal promedio y el caudal el

99% del tiempo utilizando como parámetros independientes el área de captación y la precipitación anual promedio.

Se consideró el impacto de extracciones aguas arriba según fuera posible, incluyendo el efecto acumulativo de múltiples tomas en el mismo río. Estas extracciones también afectan el caudal en las estaciones de aforo del USGS. El objetivo ha sido determinar el rendimiento disponible hoy día, incluyendo los efectos de extracciones aguas arriba.

En lugares de tomas que carecen de una estación de aforo del USGS cercana o representativa del lugar, se utilizó una ecuación de regresión regional para estimar el flujo en base al área de la cuenca y la lluvia anual promedio. La preparación de esta ecuación de regresión regional se presenta en este documento.

Un método alternativo de evaluar el rendimiento de un río sería utilizando los datos históricos de las plantas de filtración, particularmente porque muchas de ellas utilizan la totalidad del flujo del río durante periodos de sequía. Desafortunadamente, en muchas plantas de filtración los datos no son confiables por problemas de los metros de producción, y tampoco hay datos disponibles para el último evento de sequía fuerte que ocurrió en 1994-95.

3.2. Estrategias para Embalses

En el caso de los embalses se utilizaron los datos de aforo del USGS para preparar un modelo de simulación para calcular un balance de agua diario tomando en cuenta el influjo y extracción día por día. El racionamiento empezó en todos los embalses cuando el nivel del embalse se reduce a 25% de su capacidad máxima, y la producción se mantuvo en el 75% del caudal normal.

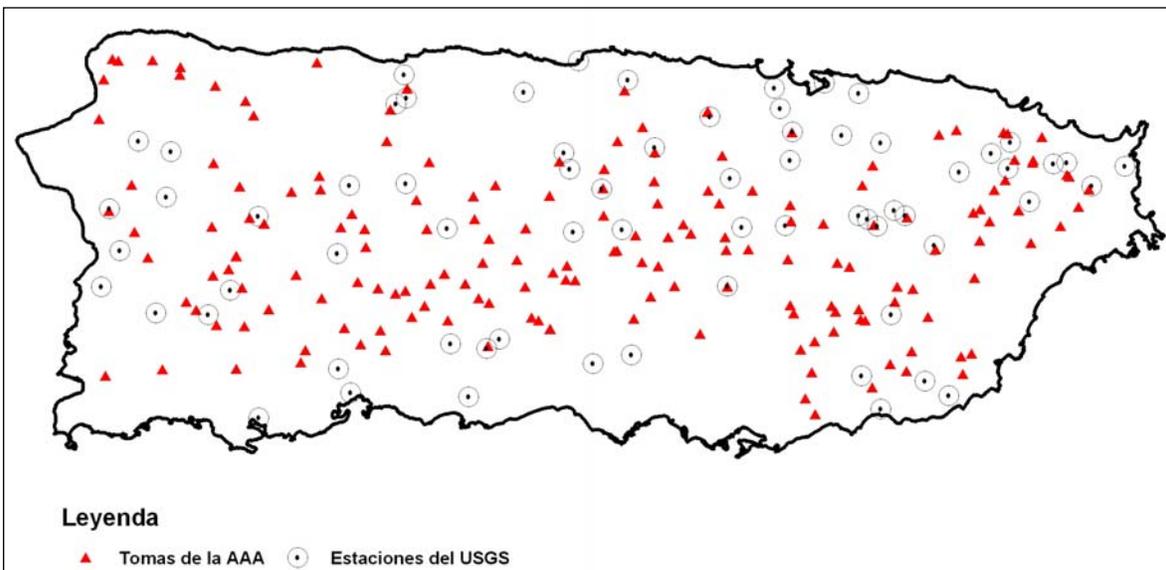


Ilustración 1: Localización de las tomas de la AAA y las estaciones del USGS.

4. ECUACIONES DE REGRESIÓN REGIONAL

4.1. Metodología

Se determinaron dos ecuaciones de regresión regional para la utilización en este análisis, una para el caudal promedio (Q_p) y la otra para el caudal excedido el 99% de los días (Q_{99}). Se utilizaron dos parámetros independientes, el área de cuenca y la lluvia promedio anual ponderada en la cuenca.

Un total de 26 estaciones del USGS fueron utilizadas para generar las dos ecuaciones regionales. Estas estaciones fueron seleccionadas tomando en consideración los siguientes criterios: (1) más de 15 años de datos, (2) sin efectos apreciables de embalses o tomas aguas arriba, y (3) fuera de zonas con interacción significativa con el agua subterránea, como son áreas de la Costa Sur y la zona Cársica.

En el caso de embalses aguas arriba, como por ejemplo el caso del Embalse Carite en la zona cabecera del Río La Plata, el área tributaria al embalse, cuya agua se desvía hacia la Costa Sur por un túnel, no fue contabilizada como área contribuyente.

El área de cuenca se delimitó en GIS utilizando como base los contornos topográficos digitales del USGS. La lluvia promedio anual dentro de cada cuenca se determinó utilizando la superficie de lluvia en GIS preparada por la Oficina del Plan de Aguas, y reproducida en formato de contornos de lluvia (isoyetas) en la Ilustración 2. La Tabla 1 muestra las estaciones y los datos utilizados para hacer la relación.

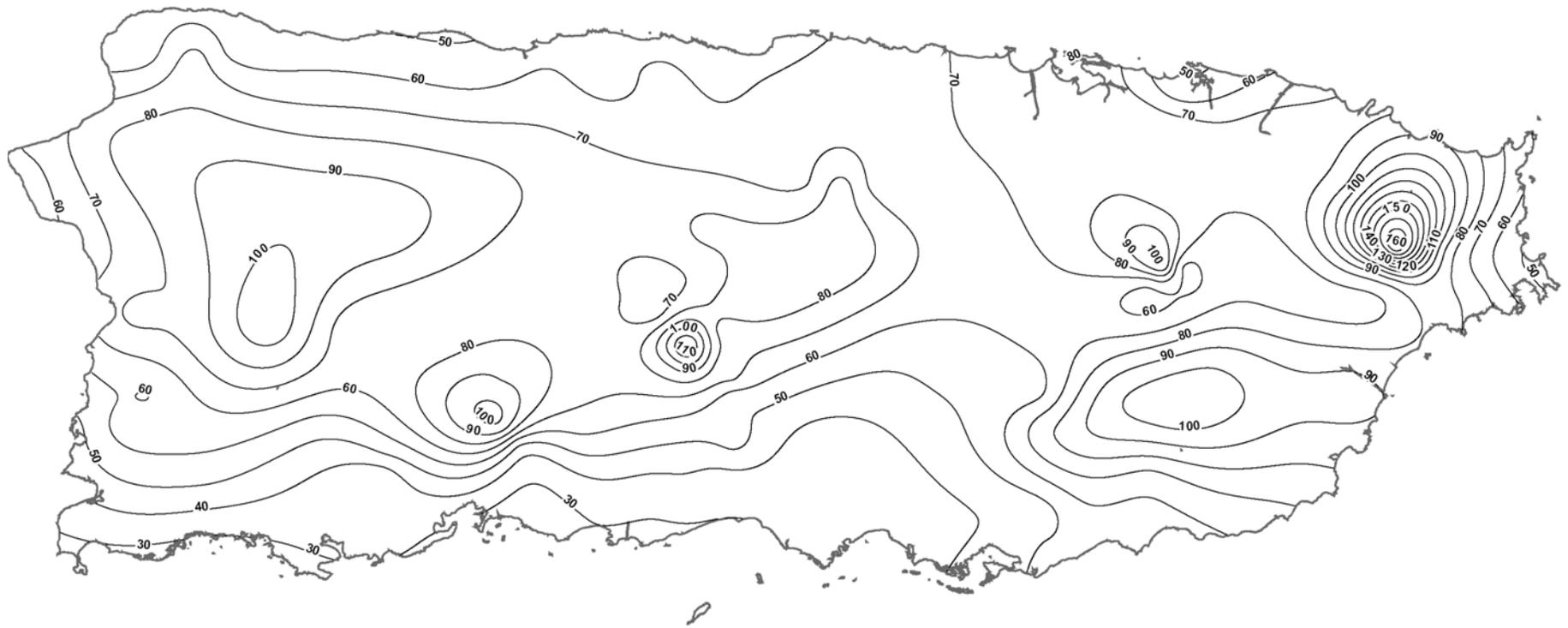


Ilustración 2: Precipitación anual promedio (Oficina del Plan de Aguas).

Tabla 1: Datos Utilizados para Determinar la Ecuación Regional.

Estación del USGS	Río	Periodo de Datos	Área de Cuenca (mi ²)	Precipitación Anual Promedio (pulg.)	Q _P (cfs)	Q ₉₉ (cfs)	Razón (Q ₉₉ /Q _P)
50034000	Bauta	Abr/1969-Sept/2006	16.70	78.49	40.9	3.4	0.08
50055100	Cagüitas	Feb/1990-Nov/2003	5.30	67.81	7.8	1.5	0.19
50061800	Canóvanas	Mar/1967-Sept/2006	9.84	76.65	28.5	2.8	0.10
50051310	Cayaguas	Sept/1977-Sept/2006	10.20	101.43	46.3	9.2	0.20
50038320	Cibuco	May/1969-Sept/2006	15.10	72.84	29.3	1.9	0.06
50106100	Coamo	Ene/1989-Sept/2006	43.50	45.78	23.8	1.1	0.05
50063800	Espíritu Santo	Ago/1966-Sept/2006	8.62	103.24	59.4	5.8	0.10
50064200	Grande	May/1967-Sept/2006	7.31	92.71	43.1	3.9	0.09
50050900	Grande de Loíza	Oct/1977-Sept/2006	6.00	105.30	32.9	4.7	0.14
50051800	Grande de Loíza	Feb/1990-Sept/2006	41.10	97.88	105.8	7.9	0.07
50055000	Grande de Loíza	Nov/1959-Sept/2006	89.20	83.60	219.8	22.0	0.10
50010500	Guajataca	May/1969-Sept/2006	3.16	94.29	8.4	0.6	0.07
50131990	Guanajibo	Abr/1991-Sept/2006	34.60	64.60	66.9	2.4	0.04
50082800	Guayanés	Ene/1969-Oct/1982	4.69	95.31	29.1	3.5	0.12
50055750	Gurabo	Mar/1990-Sept/2006	22.30	71.04	43.2	2.4	0.06
50057000	Gurabo	Nov/1959-Sept/2006	60.20	71.60	135	1.9	0.01
50081000	Humacao	Jul/1974-Sept/2006	6.65	90.40	21.0	0.8	0.04
50043000	La Plata	Abr/1960-Sept/1996	54.80	68.61	133.7	2.1	0.02
50043800	La Plata	Dic/1988-Sept/2006	108.50	62.96	183.6	9.5	0.05
50065700	Mameyes	Oct/1966-Ene/1985	11.80	131.60	73.4	8.7	0.12
50035000	Manatí	Sept/1946-Sept/2006	128.00	80.22	249.3	22.0	0.09
50030460	Orocovis	Abr/1981-Sept/2006	5.03	74.53	8.9	0.5	0.06
50136000	Rosario	Jun/1960-Sept/1983	16.40	96.46	52.8	5.5	0.10
50136400	Rosario	Oct/1985-Sept/2006	18.30	95.47	53.2	7.7	0.14
50110900	Toa Vaca	Abr/1989-Sept/2006	14.2	60.60	16.4	1.1	0.07
50053025	Turabo	Ene/1990-Sept2006	7.14	93.37	23.1	4.4	0.19
50056400	Valenciano	Ene/1970-Sept/2006	16.40	82.21	49.6	2.4	0.05

cfs: pies cúbicos por segundo por sus siglas en inglés

pulg.: pulgadas

mi²: millas cuadradas

4.2. Ecuación de Regresión Regional para Q₉₉

Se utilizó la siguiente ecuación para relacionar los datos de área y precipitación para determinar el caudal excedido el 99% del tiempo (Q₉₉):

$$Q_{99} = x * A^a * R^b \quad [4.1]$$

donde:

- x = coeficiente
- A = área de captación (mi²)
- R = precipitación anual promedio (pulgadas)
- a, b = exponentes

La Ilustración 3 muestra la relación encontrada entre área, precipitación y Q₉₉.

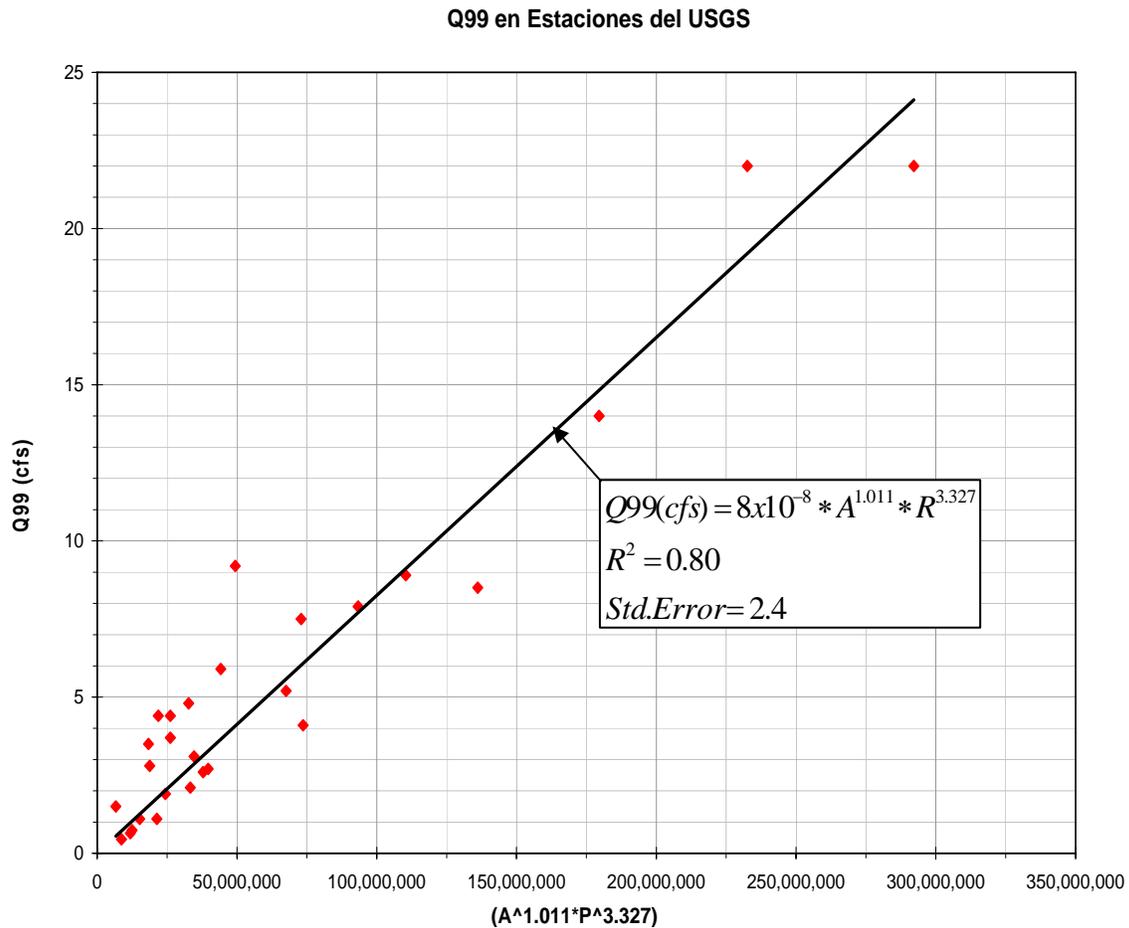


Ilustración 3: Relación entre Q₉₉, área de captación y precipitación anual promedio.

Mediante un análisis de regresión se determinó la siguiente ecuación regional:

$$Q_{99}(cfs) = 8 \times 10^{-8} * A^{1.011} * R^{3.327} \quad [4.2]$$

4.3. Ecuación de Regresión Regional para Flujo Promedio (Qp)

Se utilizó la siguiente ecuación para relacionar los datos de área y precipitación:

$$Q_{promedio} = x * A^a * R^b \quad [4.3]$$

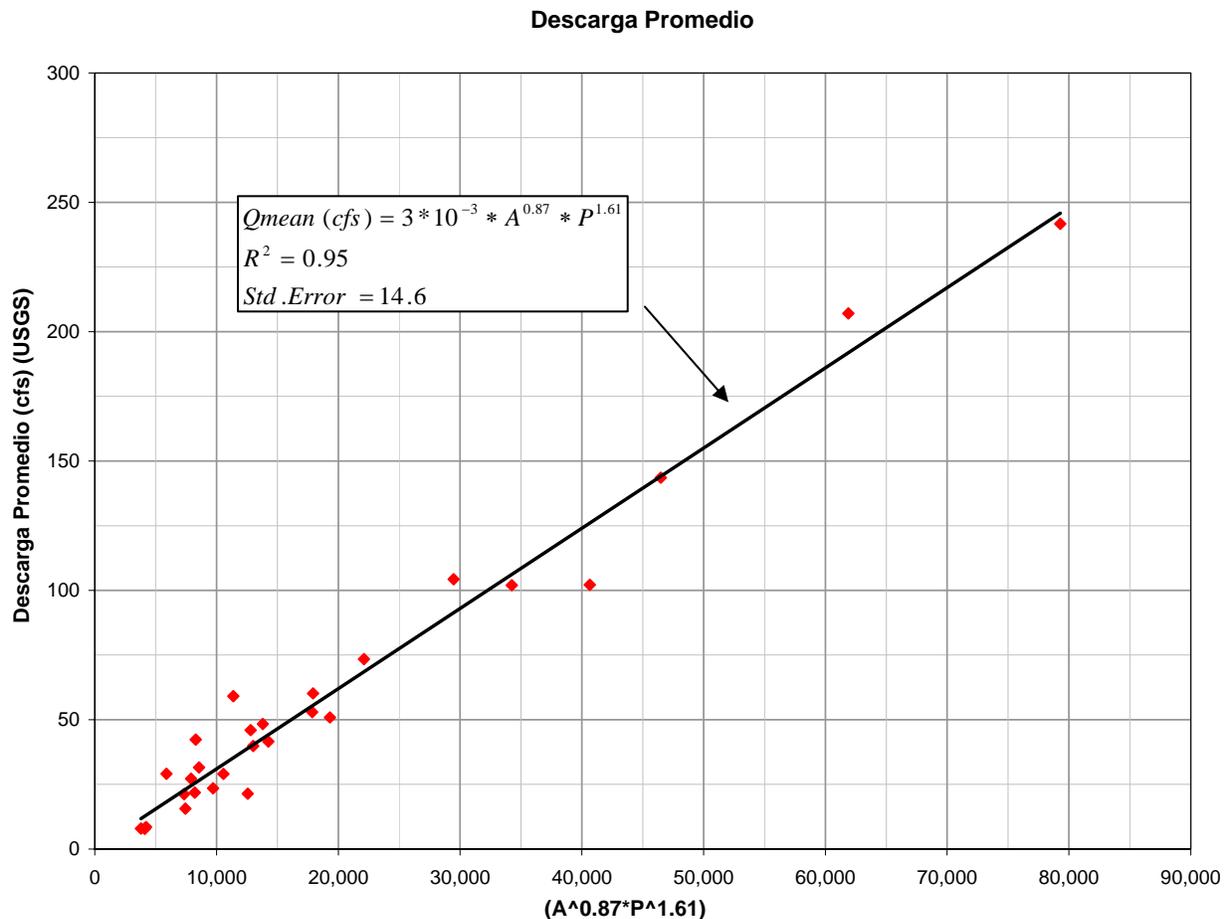
donde:

x = coeficiente

A = área de captación (mi²)

R = precipitación anual promedio (pulgadas)

a, b = exponentes



La Ilustración 4 muestra la relación encontrada entre área, precipitación y caudal promedio.

Mediante un análisis de regresión se deriva la ecuación:

$$Q_{\text{promedio}} = 3 \times 10^{-3} * A^{0.87} * P^{1.61} \quad [4.4]$$

5. METODOLOGÍA PARA CALCULAR RENDIMIENTO SEGURO

5.1. Rendimiento Seguro de las Tomas en Ríos y Quebradas

Se utilizó la ecuación regional de Q_{promedio} para determinar una proporción entre el caudal promedio de la estación del USGS y de la localización de la toma de la AAA. Esta proporción se utilizó como factor de ajuste para el Q_{99} de la estación del USGS como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Q_{99(\text{toma})} = \frac{Q_{\text{promedio_Toma}}}{Q_{\text{promedio_USGS}}} * Q_{99(\text{USGS})} \quad [5.1]$$

La ecuación regional de Q_{99} se utilizó para determinar el rendimiento seguro en aquellas tomas donde no existe ninguna estación del USGS aguas arriba de la toma, en una cuenca adyacente o con características hidrológicas similares.

5.2. Rendimiento Seguro de los Embalses

La determinación del rendimiento seguro de los embalses se fundamentó en la simulación del comportamiento del embalse utilizando un intervalo de cómputo de un día y datos históricos de flujo (McMahon and Mein, 1986). El análisis de comportamiento se realizó calculando un balance de agua diario utilizando la siguiente ecuación:

$$V_{t+1} = V_t + (V_{\text{entrada}})_t - (V_{\text{vertedor}})_t - (V_{\text{extraído}})_t \quad [5.2]$$

donde:

- V_{t+1} = Volumen final (día #2)
- V_t = Volumen inicial (día #1)
- V_{entrada} = Volumen de entrada (día #1)
- V_{vertedor} = Volumen excedente (día #1)
- $V_{\text{extraído}}$ = Volumen extraído (día #1)

Para este análisis, el rendimiento seguro está definido por la razón de extracción ininterrumpida que puede ser sostenida el 99% del tiempo, ocasionado un racionamiento en 1% del total de días. El racionamiento es implementado al reducir la tasa de extracción normal por 25% (es decir, se sostiene la producción del agua en 75% del normal). El racionamiento se inicia cuando el volumen del embalse es menor al 25% del volumen activo (no incluye la zona muerta). En los embalses de Puerto Rico, esta regla resulta en vaciar los embalses por completo. La corrida de cada simulación se hizo mediante un proceso iterativo hasta converger en un rendimiento seguro que produzca racionamiento de 1% del total de días de la simulación.

Para realizar el balance de agua es necesario conocer el caudal de entrada hacia el embalse. Este es calculado utilizando los datos de una estación cercana del USGS. Esto conlleva multiplicar el caudal diario de la estación por un factor de ajuste lo que resultaría en un caudal ajustado. Este factor toma en consideración la diferencia en área de captación y cantidad de lluvia entre la localización de la estación de aforo y la represa. Este factor de ajuste se determina como la razón del caudal anual promedio en ambos puntos, ambos determinados utilizando la ecuación regional para flujo promedio. Esta proporción se utilizó como factor de ajuste para el caudal de la estación del USGS como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Q_{ajustado} = \frac{Q_{promedio_embalse}}{Q_{promedio_USGS}} * Q_{USGS} \quad [5.3]$$

En el caso de embalses nuevos o propuestos cuya construcción eliminará tomas existentes que impactan el valor del caudal registrado por el USGS, se hizo un ajuste en el flujo para compensar el cambio en las extracciones aguas arriba.

6. RENDIMIENTO SEGURO DE LAS TOMAS EN RÍOS Y QUEBRADAS

En la Tabla 2 se resume el rendimiento seguro calculado para cada toma de río de la AAA para la condición actual (fin del año 2006).

Tabla 2: Rendimiento Seguro de las Tomas de la AAA en Ríos.

Municipio	Sistema de Abasto a/	Toma	Cuerpo de Agua	Estación USGS b/	Area c/ (mi ²)	Area Efectiva d/ (mi ²)	Precip. Annual Promedio (pulg.)	Rendimiento Seguro e/ (mgd)
Adjuntas	Adjuntas Vieja - Olimpia PF	Adjuntas Vieja	Río Cidra	N/A	1.11	1.11	85.7	0.16
Adjuntas	Adjuntas Vieja - Olimpia PF	Río Saltillo	Río Saltillo	N/A	1.32	1.32	81.9	0.16
Adjuntas	Guilarte PF	Guilarte	Río Guilarte	N/A	1.39	1.39	82.3	0.17
Adjuntas	Adjuntas PF	Río Garzas	Río Las Vacas	N/A	7.17	1.0	91.3	0.17
Adjuntas	Tanamá PF (Package)	Río Tanamá	Río Tanamá	50028000	0.38	0.38	73.7	0.20
Adjuntas	Santa Isabel PF	Santa Isabel	Río Coabey	50028000	2.20	2.20	78.4	1.00
Aguadilla	Aguadilla Nueva PF	Río Culebrinas	Río Culebrinas	50147800	96.45	84.28	87.0	17.10
Aguas Buenas	Minillas PF	Minillas	Río de Bayamón	50055100	20.12	11.96	66.6	1.60
Aguas Buenas	Aguas Buenas PF	Río Caguaitas	Río Caguaitas	50055100	5.89	5.89	68.7	0.90
Aibonito	Algarrobo-Aibonito FS	Algarrobo Aibonito	Sin nombre	N/A	0.45	0.45	47.7	0.01
Aibonito	La Plata PF	La Plata (Aibonito)	Río de la Plata	50043000	65.88	40.9	62.6	1.70
Aibonito	Aibonito PF	Aibonito	Río Aibonito	50043000	7.33	7.33	51.5	0.18
Aibonito	Aibonito PF	Usabón	Río Usabón	50043000	8.58	8.58	52.2	0.21
Añasco	Añasco PF	Río Humata	Río Humata	N/A	1.35	1.35	85.6	0.19
Arecibo	Esperanza PF	Esperanza	Río Tanamá	50028000	36.76	25.43	83.1	9.30
Arecibo	Tanamá PF (Package)	Tanamá	Río Tanamá	50028400	46.90	10.14	77.2	9.15 f/
Barranquitas	Barrancas PF	Barrancas	Río Grande de Manatí	N/A	3.10	3.10	67.8	0.20
Barranquitas	Barranquitas PF	Botijas	Río Botijas	50034000	1.51	1.51	66.7	0.19
Barranquitas	Barranquitas PF	Piñonas	Río de Barranquitas	50034000	0.35	0.35	61.4	0.05
Bayamón	Barrío Nuevo PF	Río Riíto	Río Cuesta Arriba	N/A	4.34	4.34	68.9	0.30
Caguas	Caguas Norte PF	Caguas Norte	Río Grande de Loíza	50055000	90.17	51.3	84.8	14.60
Caguas	San Salvador PF	Quebrada Morena	Quebrada Morena	N/A	0.58	0.58	101.3	0.14
Caguas	Caguas Sur PF	Quebradillas Gravedad	Quebrada Las Quebradillas	50055100	6.36	6.36	66.0	1.04

Municipio	Sistema de Abasto a/	Toma	Cuerpo de Agua	Estación USGS b/	Area c/ (mi ²)	Area Efectiva d/ (mi ²)	Precip. Annual Promedio (pulg.)	Rendimiento Seguro e/ (mgd)
Caguas	Caguas Sur PF	Quebrada Beatriz	Quebrada Beatriz	50053005	7.14	7.14	68	2.80 g/
Canóvanas	Cubuy PF	Cubuy Bombeo	Río Cubuy (Loíza)	50075000	2.59	2.04	78.8	1.30
Canóvanas	Cubuy PF	Cubuy Gravedad	Quebrada Los Santos	50075000	0.55	0.55	82.6	0.40
Canóvanas	Canóvanas PF	Río Canóvanas	Río Canóvanas	50061800	17.03	14.45	76.0	3.00
Canóvanas	Canóvanas (Nueva) PF	Río Canovanillas	Río Canovanillas	50061800	15.39	15.39	71.3	2.40
Cayey	Guavate PF	Guavate Bombeo	Río Guavate	50053025	1.17	1.06	94.6	0.53
Cayey	Guavate PF	Guavate Gravedad	Tributario Río Guavate	50053025	0.11	0.11	95.8	0.08
Cayey	Cayey Urbana PF	La Central	Río La Plata	50053025	21.88	11.84	82.5	3.49
Cayey	Cayey Urbana PF	Puente de Hierro	Tributario Río La Plata	50053025	2.45	2.45	64.1	0.59
Cayey	Culebras PF	Río Chiquito	Río Chiquito	N/A	1.81	1.81	79.9	0.20
Ceiba	Fajardo PF	Río Fajardo	Río Fajardo	50075000	4.28	4.28	151.5	7.00
Ciales	Ciales PF	Cordillera (Ciales)	Río Cialitos	N/A	16.44	13.13	77.4	1.34
Ciales	Frontón PF	Frontón	Río Yunes	N/A	9.65	9.65	72.3	0.78
Ciales	Las Delicias PF	Las Delicias	Río Cialitos	50025155	3.32	3.32	69.4	0.59
Ciales	Posas PF	Posas (Jaguas-Pesas)	Río Toro Negro	N/A	31.35	22.2	84.2	3.02
Coamo	Coamo PF	Coamo Arriba	Río Coamo	N/A	9.36	9.21	53.9	0.28
Coamo	Pulguillas PF	Pulguillas	Tributario Río Coamo	N/A	0.15	0.15	52.8	0.01
Comerio	Cedritos PF	Cedritos	Tributario Río Arroyata	50055100	1.04	1.04	63.9	0.21
Comerio	Comerio Urbana PF	La Plata Comerío	Río de la Plata	50043800	113.73	37.86	58.0	6.50 h/
Comerio	Palomas- Comerío FS	Palomas	Sin nombre	N/A	0.15	0.15	64.3	0.01
Corozal	Corozal PF	Cibuco	Río Cibuco	N/A	5.05	5.05	77.6	0.52
Corozal	Corozal PF	Don Carlos	Río Dos Bocas	N/A	0.19	0.19	76.2	0.02
Corozal	Negros PF	Negros	Río Grande de Manatí	50034000	13.19	8.97	74.2	1.07

Municipio	Sistema de Abasto a/	Toma	Cuerpo de Agua	Estación USGS b/	Area c/ (mi ²)	Area Efectiva d/ (mi ²)	Precip. Annual Promedio (pulg.)	Rendimiento Seguro e/ (mgd)
Guayama	Carite Compacta PF	Río Guamaní	Río Guamaní	N/A	8.21	7.27	67.6	0.47 i/
Guayanilla	Jaguas Pasto PF	Jaguas Pasto	Río Guayanilla	N/A	5.89	5.89	91.9	1.06
Guaynabo	Guaynabo PF	Santa Rosa	Río Guaynabo	50047850	69.52	42.70	74.7	5.10
Guaynabo	Guaynabo PF	Río Bayamón (Aguas Buenas)	Río de Bayamón	50055390	26.82	6.70	67.3	1.20
Gurabo	Gurabo PF	Gurabo	Río Gurabo	50057000	56.81	33.37	67.4	6.10 j/
Hatillo	Camuy (Hatillo) PF	Hatillo	Río Camuy	50015700	58.91	45.30	75.2	18.75
Jayuya	Canalizo PF	Canalizo	Río Jauca	N/A	0.31	0.31	74.8	0.03
Jayuya	Bo. Coabey FS	Coabey	Sin nombre	50025155	0.22	0.22	84.1	0.09
Jayuya	Hogares Seguros PF	Hogares Seguros	Río Jauca	50025155	0.69	0.69	74.2	0.17
Jayuya	Jayuya PF	Jayuya	Río Saliente	50025155	11.48	11.21	82.4	2.54
Jayuya	Mameyes Arriba (El Limón) PF	Mameyes Limón	Río Limón	50025155	0.49	0.49	69.8	0.11
Jayuya	Bo. Veguita FS	Veguita	Tributario	50025155	1.42	1.42	75.3	0.36
Juncos	Ceiba Sur PF	Ceiba Sur	Río Valenciano	N/A	15.10	15.10	82.2	1.89
Lares	Bo. Río Prieto	Espino - Río Prieto	Tributario Río Prieto	N/A	1.13	1.13	88.6	0.17
Lares	Indiera Alta PF	Indiera Alta	Río Prieto	N/A	8.81	6.68	75.5	0.63
Lares	Lares PF	Lares	Río Guajataca	N/A	2.54	2.54	94.2	0.49
Las Marías	Espino-Las Marías FS	Espino - Las Marías	Río Prieto	N/A	1.13	1.13	88.6	0.17
Las Marías	Las Marías PF	Río Mayagüecillo	Río Mayagüecillo	N/A	3.19	3.19	103.3	0.84
Las Piedras	Juncos PF	Juncos Gravedad	Río Gurabo	50061800	3.09	3.09	86.7	0.80
Las Piedras	Juncos PF	Pueblito del Río	Río Gurabo	50061800	11.43	8.34	69.5	1.40
Las Piedras	Humacao PF	Sabana Las Piedras	Río Humacao	50081000	6.63	6.63	90.4	2.91
Luquillo	Luquillo PF	Cristal	Río Cristal	50065500	1.12	1.12	137.0	1.40
Luquillo	Luquillo PF	Sabana	Río Sabana	50065500	1.13	1.13	127.7	1.30
Maricao	Bucarabones FS	Bucarabones	Tributario Río Bucarabones	N/A	0.77	0.77	93.7	0.14

Municipio	Sistema de Abasto a/	Toma	Cuerpo de Agua	Estación USGS b/	Area c/ (mi ²)	Area Efectiva d/ (mi ²)	Precip. Annual Promedio (pulg.)	Rendimiento Seguro e/ (mgd)
Maricao	La Josefa FS	La Josefa	Tributario Río Bucarabones	N/A	0.77	0.77	93.7	0.14
Maricao	Maricao PF	Los Viveros	Río Maricao	N/A	1.79	1.79	98.2	0.39
Maricao	Maricao PF	Orama	Río Bonelli	N/A	6.14	4.80	92.9	0.89
Maricao	Monte del Estado PF	Monte del Estado	Río Bonelli	N/A	1.30	1.30	82.7	0.16
Maunabo	Matuyas PF	Matuyas	Tributario Río Maunabo	50090500	0.35	0.35	77.6	0.20
Mayagüez	Miradero PF	Río Cañas	Río Cañas	50136400	6.09	6.09	88.7	1.80
Mayagüez	Miradero PF	Río Añasco (Añasco)	Río Grande de Añasco	50149000	161.19	124.6	86.6	40.40
Mayagüez	Mayagüez Vieja PF	Río Yagüez	Río Yagüez	50136400	4.41	4.41	88.2	1.30
Morovis	Morovis Sur PF	Morovis Sur	Río Grande de Manatí	50031200	53.72	29.74	82.2	3.50 k/
Morovis	Morovis PF	Morovis Urbana	Río Morovis	N/A	1.25	1.25	75.7	0.12
Naguabo	Cubuy-Naguabo FS	La Mina	Río Cubuy	50075000	1.40	1.40	111.7	1.60
Naguabo	Río Blanco PF	Río Blanco	Río Blanco	N/A	17.59	16.19	109.4	5.25
Naguabo	Naguabo (El Duque) PF	Tablones-R. Santiago	Río Santiago	50075000	0.98	0.98	124.2	1.40
Naranjito	Cedro Arriba PF	Anones	Quebrada Anones	N/A	1.40	1.40	66.4	0.08
Barranquitas	Cedro Arriba PF	Cedro I	Río Frio	50034000	1.07	1.07	67.7	0.14
Naranjito	Cedro Arriba PF	Cedro II	Tributario Río Grande de Manatí	50034000	1.12	1.12	70.0	0.16
Naranjito	Naranjito PF	Naranjito	Río Guadiana	N/A	3.45	3.45	67.0	0.21
Orocovis	Orocovis PF	Coli I	Río Orocovis	50034000	2.59	2.59	72.6	0.35
Orocovis	Orocovis PF	Coli II	Río Orocovis	50034000	1.12	1.12	76.3	0.18
Orocovis	Orocovis PF	Las Marías	Río Botijas	50034000	7.08	5.62	70.2	0.65
Orocovis	Matrullas PF	Matrullas	Río Matrullas	50034000	0.06	0.06	74.9	0.02
Orocovis	Sanamuerto PF	Sanamuerto	Río Sana Muertos	50034000	3.23	3.23	86.9	0.57
Patillas	Marín Alto FS	Marín Alto	Qbda Los Colones	50090500	0.23	0.23	85.6	0.16

Municipio	Sistema de Abasto a/	Toma	Cuerpo de Agua	Estación USGS b/	Area c/ (mi ²)	Area Efectiva d/ (mi ²)	Precip. Annual Promedio (pulg.)	Rendimiento Seguro e/ (mgd)
Peñuelas	Malpaso PF	Malpaso	Río Macana	N/A	0.49	0.49	95.8	0.10
Peñuelas	Penuelas PF	Río Jaguas	Río Guayanés	N/A	7.19	5.88	95.4	1.20 l/
Peñuelas	Rucio PF	Rucio	Río Tallaboa	N/A	0.59	0.59	83.1	0.07
Peñuelas	Jagua Ceiba FS	Soplaera	Río Guayanés	N/A	1.30	1.30	99.7	0.30
Ponce	Real Anón FS	Jaices	Río Anón	50113800	0.57	0.57	77.7	0.05
Ponce	Real Anón PF	Jurutungo	Río Anón	50113800	2.45	2.45	83.8	0.19
Ponce	Guaraguao PF (Package)	Río Portugués	Río Portugués	50113800	2.41	2.41	80.4	0.17
Ponce	Tibes PF	Tibes	Tributario R. Portugués	50113800	1.17	1.17	72.9	0.08
Quebradillas	Quebradillas PF	Río Guajataca	Río Guajataca	N/A	43.87	8.7	87.9	1.35
Río Grande	El Yunque PF	El Verde	Río Espíritu Santo	50063800	13.07	10.11	98.7	5.00
Río Grande	El Yunque PF	Guzmán El Yunque	Río Grande	50064200	10.34	8.57	86.8	3.20
Río Grande	Zarzal PF	El Zarzal	Tributario Qbda. Jiménez	50065500	0.15	0.15	120.0	0.20
Río Grande	Zarzal PF	El Zarzal	Tributario Qbda. Jiménez	50065500	0.14	0.14	124.6	0.20
Río Grande	Guzmán Arriba PF	Guzmán Río	Río Grande	50075000	1.78	1.78	100.6	1.70
Río Grande	Jiménez-Morovis FS	Jiménez	Qbda. Grande	N/A	0.67	0.67	111.1	0.22
Río Grande	Morovis-Río Grande PF	Morovis	Río Espíritu Santo	50075000	2.00	2.00	122.6	2.60
Río Grande	Palmer PF	Palmer	Río Mameyes	50065500	12.34	12.34	131.6	10.70
Sabana Grande	La Máquina PF	La Máquina	Río Cruces	N/A	2.44	2.44	79.7	0.27
Sabana Grande	Sabana Grande PF	Rincón Pozo	Río Guanajibo	N/A	6.06	6.06	74.3	0.54
San Germán	San German PF	Río Caín	Río Cain	N/A	2.10	2.10	84.7	0.28
San Germán	San German PF	Río Hoconuco	Río Hoconuco	N/A	1.74	1.63	90.1	0.27
San Lorenzo	San Lorenzo PF	Río Loíza Nueva-San Lorenzo	Río Grande de Loíza	N/A	--	--	--	6.72 m/
San Lorenzo	Espino PF	Espino I	Río Emajagua	50053025	0.66	0.66	102.9	0.40

Municipio	Sistema de Abasto a/	Toma	Cuerpo de Agua	Estación USGS b/	Area c/ (mi ²)	Area Efectiva d/ (mi ²)	Precip. Annual Promedio (pulg.)	Rendimiento Seguro e/ (mgd)
San Lorenzo	Espino PF	Espino II	Tributario Río Emajagua	50053025	0.20	0.20	105.1	0.15
San Lorenzo	Jagual PF	Jagual	Quebrada Blanca	50053025	3.27	1.78	74.4	0.57
San Lorenzo	Q. Arenas FS	Quebrada Arenas	Tributario Río Cayaguas	50053025	0.11	0.11	100.8	0.08
San Lorenzo	Q. Honda FS	Qbda. Honda	Qbda. Honda	50053025	1.48	1.48	99.6	0.77
San Sebastián	Perchas PF	Perchas	Quebrada Sumaria	50147800	0.51	0.51	97.0	0.26
San Sebastián	San Sebastián PF	Río Culebrinas Bombeo	Río Culebrinas	50147800	12.17	5.45	95.0	4.00
San Sebastián	San Sebastián PF	Río Culebrinas Gravedad	Río Culebrinas	50147800	6.72	6.72	96.5	2.50
Toa Baja	La Virgencita PF	Virgencita	Río de la Plata	50046000	208.24	27.75	67.6	5.00 n/
Utuaado	La Pica PF	La Pica	Río Viví	N/A	0.39	0.39	77.6	0.04
Utuaado	Mameyes Abajo PF	Mameyes Utuaado	Río Limón	50025155	8.51	8.02	71.0	1.31
Utuaado	Quebrada PF	Quebrada	Río Camuy	N/A	13.62	6.25	87.8	0.96
Utuaado	Lares PF (Package)	Río Camuy (Lares)	Río Camuy	N/A	7.37	7.37	88.5	1.17
Utuaado	Roncador PF	Roncador	Río Tanamá	50028000	11.33	10.64	76.8	3.80
Utuaado	Roncador PF	Roncador Gravedad	Qbda. Colorada	N/A	0.11	0.11	76.0	0.01
Utuaado	Sabana Grande PF	Sabana Grande	Qbda. Utuaado	50025155	0.96	0.96	74.5	0.22
Utuaado	Utuaado PF	Utuaado	Tributario Río Vivi	50025155	1.21	1.21	73.1	0.26
Vega Alta	Bo. Maricao FS	Maricao	Tributario Río Cibuco	50038320	0.37	0.37	68.4	0.04
Vega Baja	Almirante Sur PF	Almirante Sur	Río Unibón	N/A	7.99	7.99	79.9	0.90
Vega Baja	Vega Baja PF	Vega Baja Urbana	Río Indio	N/A	37.27	28.03	67.7	1.85
Villalba	Apeadero PF	Apeadero I	Río Jacaguas	50034000	0.52	0.52	73.5	0.09
Villalba	Apeadero PF	Apeadero II	Río Jacaguas	50034000	0.23	0.23	72.0	0.04
Villalba	Apeadero PF	Gallera San Miguel	Sin nombre	50034000	0.23	0.23	78.7	0.05
Villalba	Villalba PF	Río Jacaguas	Río Jacaguas	50110900	13.80	13.04	72.8	1.03

Municipio	Sistema de Abasto a/	Toma	Cuerpo de Agua	Estación USGS b/	Area c/ (mi ²)	Area Efectiva d/ (mi ²)	Precip. Annual Promedio (pulg.)	Rendimiento Seguro e/ (mgd)
Yabucoa	Yabucoa PF	Aguas Largas	Qbda. Aguas Largas	50090500	0.60	0.60	76.1	0.29
Yabucoa	Yabucoa PF	Guayanés	Río Guayanés	50090500	17.56	16.84	91.2	7.10
Yabucoa	Humacao PF	Central Joy	Río Guayanés	50090500	26.38	8.81	94.0	10.00 o/
Yabucoa	Guayabota PF	Quebradillas - Guayabota	Río Arenas	50090500	0.72	0.72	90.4	0.47
Yauco	Rancheras PF	Rancheras	Río Yauco	N/A	2.61	2.61	74.5	0.23
Yauco	Yauco PF	Río Duey	Río Duey	N/A	7.13	7.13	76.9	0.71
Yauco	Yauco PF	Río Yauco	Río Yauco	N/A	21.69	4.4	69.2	0.30 p/
Yauco	Río Prieto PF	Río Prieto	Río Prieto	N/A	2.13	2.13	82.3	0.27

Notas para la Tabla 2:

- a/ PF = Planta de Filtración, FS = Fuente Superficial (sin filtración).
- b/ Número de la estación de aforo del USGS utilizada para análisis. N/A indica que no hay estación adecuada y se utilizó ecuación regional.
- c/ Área total de la cuenca tributaria a la toma, incluyendo áreas que no contribuyen flujo mínimo debido al desvío del agua.
- d/ Área efectiva de la cuenca tributaria que puede contribuir al flujo mínimo.
- e/ Rendimiento seguro = Q_{99} , millones de galones diarios.
- f/ La estación del USGS 50028000 se encuentra aguas abajo de la toma por lo que los datos de flujo se ajustaron para incluir 0.75 MGD. Estos representan el estimado de extracción de la planta durante el periodo sequía.
- g/ Incluye aportación del desvío no autorizado de Río Turabo.
- h/ La estación del USGS 50043800 se encuentra aguas abajo de la toma por lo que los datos de flujo se ajustaron para incluir 0.40 MGD. Estos representan el estimado de extracción de la planta durante el periodo sequía.
- i/ Corresponde sólo a la aportación de la cuenca de Río Guamaní y no considera la contribución de la toma del Canal de Patillas que se suple del Embalse Patillas y la contribución adicional de Río Guamaní provista por el Embalse Carite.
- j/ Estación de aforo del USGS se encuentra 300 m aguas abajo de la toma de Gurabo. El Q_{99} según los datos de aforo fue aumentado por 1 mgd para simular efecto de extracción de la planta durante la sequía histórica.
- k/ Gregory L. Morris Engineering, 2007.

- l/ No incluye contribución del Embalse Garzas.
- m/ Gregory L. Morris Engineering, 2000.
- n/ Basado en la operación de la Planta La Virgencita, la cual recibe agua de un pozo tipo "Ranney" para coleccionar agua subterránea de poca profundidad, alimentada principalmente por la infiltración por el lecho del río.
- o/ El rendimiento seguro se determinó a base del área total de la cuenca y se ajustó para tomar en cuenta las extracciones aguas arriba. El rendimiento seguro total se calculó en 11.1 mgd y las extracciones se estiman en 1.1 mgd, lo que resulta en un rendimiento de 10.0 mgd.
- p/ No se incluye contribución de la cuenca aguas arriba de la represa Luchetti.

7. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO SEGURO DE EMBALSES

7.1. Resumen de Resultados

La Tabla 4 presenta un resumen de los resultados del cálculo de rendimiento seguro para los embalses que se utilizan como fuente de agua para uso municipal, incluyendo embalses existentes, en construcción (Río Blanco) y con planes de construcción en el futuro cercano (Río Valenciano y Qbda. Beatriz).

Tabla 4: Rendimiento Seguro de los Embalses.

Embalse	Área de Cuenca Efectiva (mi ²)	Precipitación Anual (pulgadas)	Volumen n- 2006 (Mm ³)	Caudal Promedio (cfs)	Rendimiento Seguro (mgd)
Carite	8.3	91.2	9.2	28.4	11.6
Carraízo	207.7	78.6	16.9	350.2	63.3
Cerrillos	17.4	70.7	31.1	35.8	16.7 ^a /14.3 ^b
Cidra	8.1	65.8	5.6	15.7	4.7
Fajardo		--	5.5	--	12.0 ^d
Garzas	6.1	92.2	4.9	22.5	7.0
Guajataca	35.2	90.9	37.2	96.9	41.2
La Plata	180.5	65.2	33.9	231.3	50.2
Patillas	25.7	83.3	12.9	63.7	22.7
Toa Vaca	22.2	57.2	62.7	31.8	13.5
<u>Sistema Dos Bocas-Caonillas:</u>					
Dos Bocas	175.0	76.6	15.6	210.2	54.0 ^c
Caonillas	48.3	74.4	10.2	91.5	42.0 ^c
Sistema			25.8		102.0 ^c
<u>Sistema Guayabal:</u>					
El Guineo	1.65	110	1.9	9.0	2.8
Guayabal	21.1	68.5	5.8	39.9	7.3
Matrullas	4.4	78.8	3.0	12.4	2.7
Sistema					12.5
<u>Sistema de Riego del Valle de Lajas:</u>					
Guayo	9.7	74.0	15.4	22.1	11.9
Loco	8.4	57.0	0.7	12.9	1.9
Lucchetti	17.4	72.0	10.8	35.1	11.7
Prieto	9.5	77.0	0.1	23.1	4.2
Yahuecas	17.4	76.0	0.02	38.2	4.8

Embalse	Área de Cuenca Efectiva (mi ²)	Precipitación Anual (pulgadas)	Volumen n- 2006 (Mm ³)	Caudal Promedio (cfs)	Rendimiento Seguro (mgd)
Sistema					44 ^e /34.5 ^f
<u>Embalses Nuevos:</u>					
Río Blanco					
Río Valenciano					
Qbda. Beatriz					

Notas para la Tabla 4:

- a/ Rendimiento seguro operando como abasto de agua solamente.
- b/ Rendimiento seguro operando como conservación biológica (anidaje de peces)
- c/ Gregory Morris Engineering, 1995. "Firm Yield Analysis: Dos Bocas and Caonillas Reservoir, Arecibo P.R." Informe en apoyo del Documento de Impacto Ambiental del proyecto Superacueducto. AAA, San Juan.
- d/ Gregory Morris Engineering, 1999. "Water Supply Planning Report and Yield Analysis, North East Regional Acueduct." Informe a AFI, San Juan.
- e/ Rendimiento seguro operando como un sistema.
- f/ Rendimiento seguro operando individualmente (no como parte de sistema).

7.2. Embalse Carite

El Embalse Carite está ubicado en el Municipio de Cayey. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50053025, localizada en el Río Turabo. Las características principales del Embalse Carite se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Datos del Embalse Carite.

Longitud de Represa (m) ^A	152.4
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	543.64
Capacidad Original, 1913 (Mm ³) ^A	13.95
Capacidad en 1999 (Mm ³) ^A	10.74
Capacidad Activa/Muerta, 1999 (Mm ³) ^A	9.17/1.57
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.03
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	10.53
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	9.17/1.36
Embalse Carite	
Área de Captación (mi ²)	8.29

Lluvia Anual Promedio (pulg.)	91.2
Caudal Promedio Estimado (cfs)	28.4
Estación del USGS: 50053025	
Área de Captación (mi ²)	7.14
Lluvia Anual Promedio	99.1
Caudal Promedio Estimado (cfs)	28.4
Factor de Ajuste, I	1.00

^A Obtenido del Informe "Sedimentation Survey of Lago Carite, Puerto Rico, October 1999".

La Ilustración 5 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago Carite, Puerto Rico, October 1999" (Soler-López y Carrasquillo, 2000). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en siete años utilizando la pérdida de capacidad anual provista en el informe del USGS.

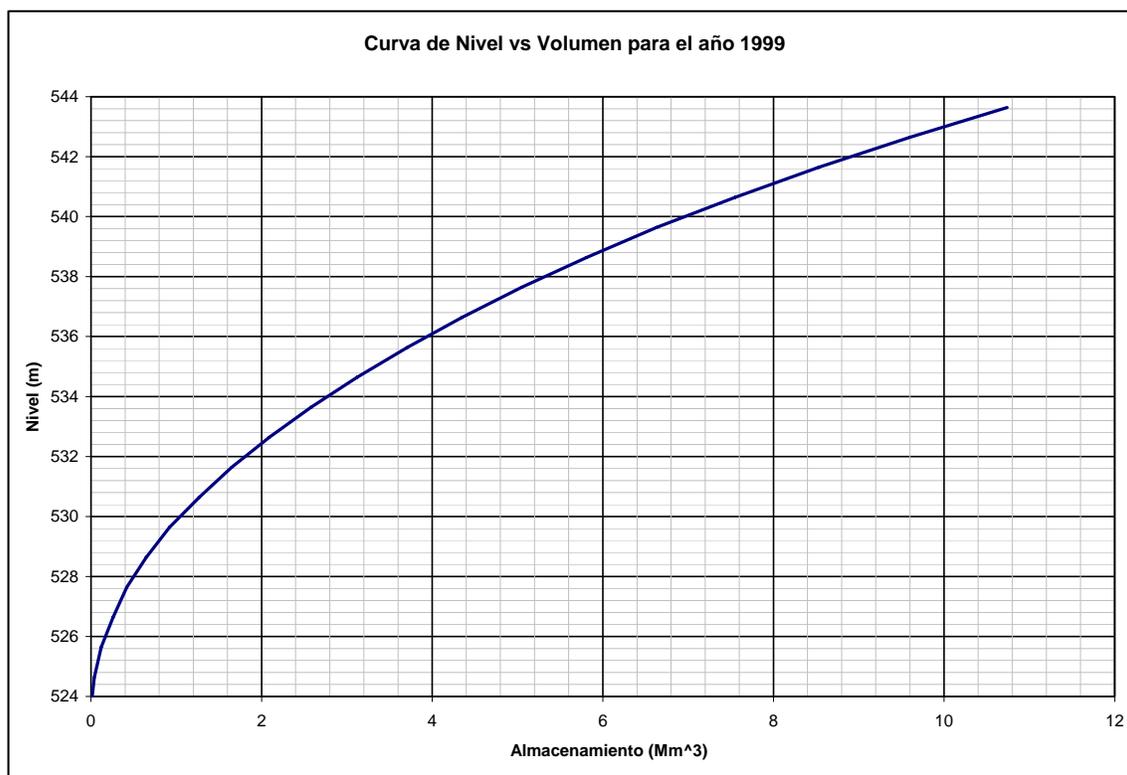


Ilustración 5: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Carite.

El análisis de simulación resultó en un rendimiento seguro EN 11.6 MGD. La Ilustración 6 muestra el comportamiento del nivel del embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 7 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

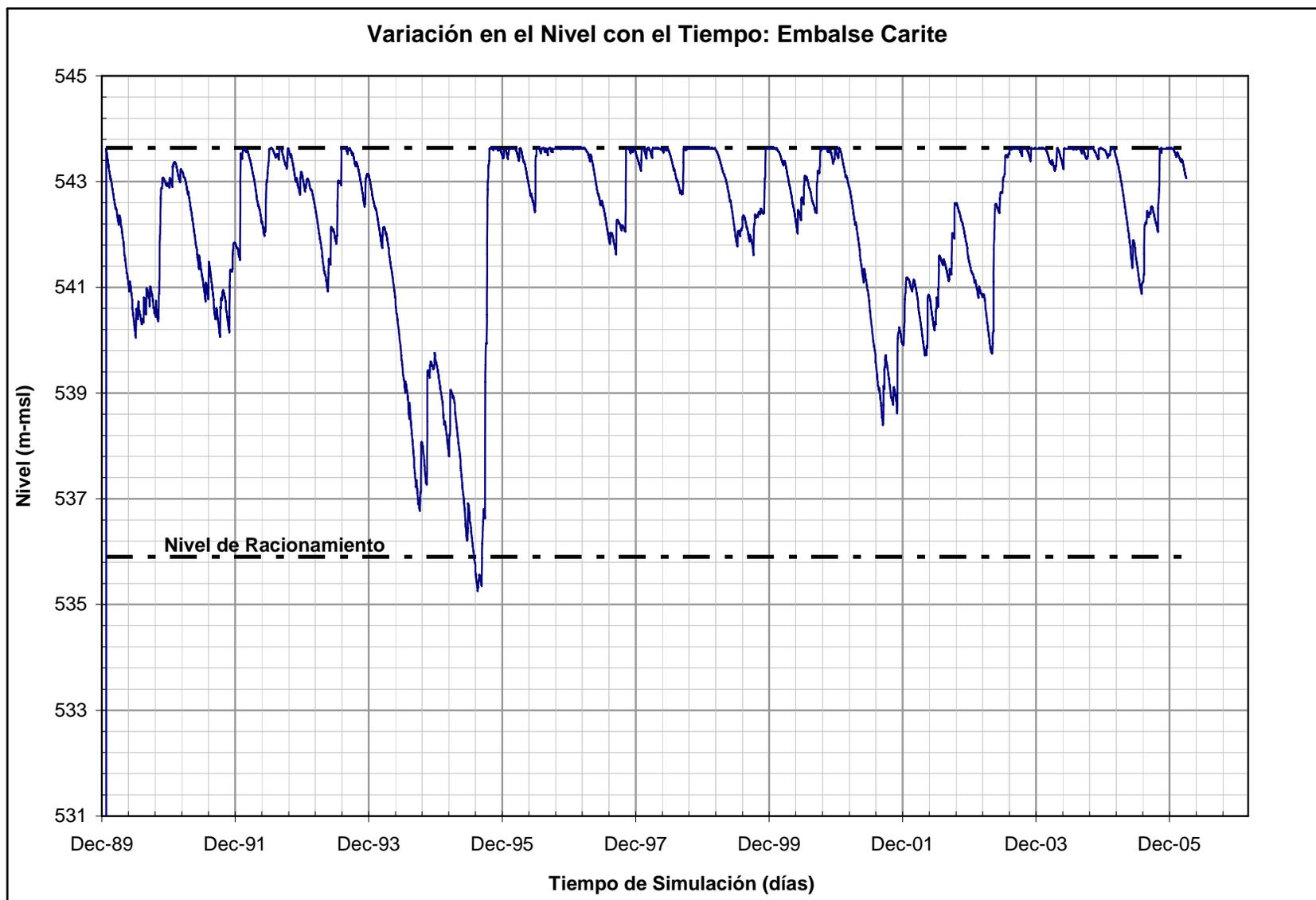


Ilustración 6: Comportamiento de nivel para el Embalse Carite, resultante del análisis de rendimiento.

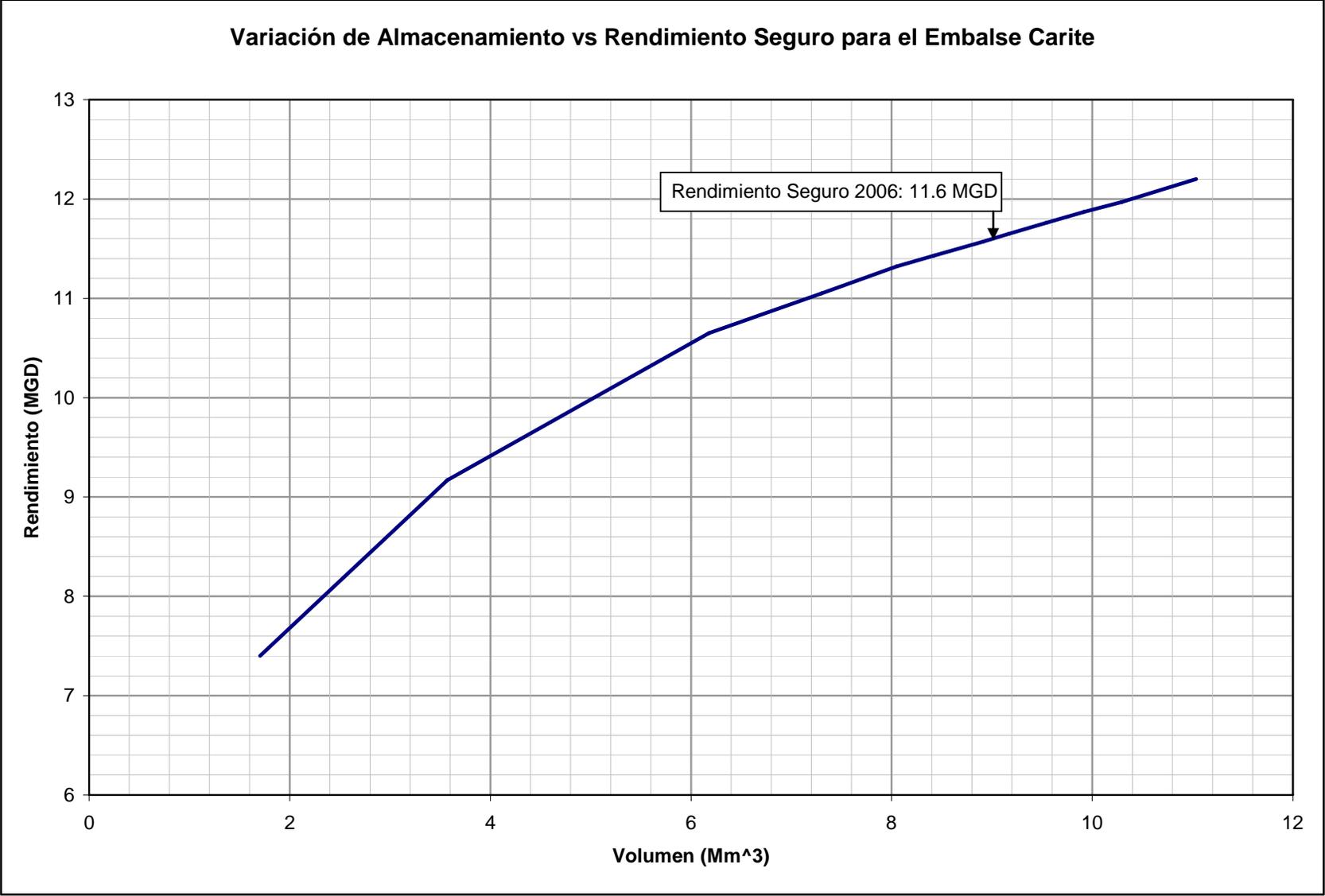


Ilustración 7: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Carite.

7.3. Embalse Carraízo

Embalse Carraízo está ubicado en el Municipio de Caguas. Las estaciones del USGS más cercanas con datos continuos son las 50055000 y 50057000, localizadas en el Río Grande Loíza y Río Gurabo, respectivamente. Las características principales del Embalse Carraízo se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Datos del Embalse Carraízo.

Longitud de Represa (m) ^A	210
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	31
Capacidad en 1999 (Mm ³) ^A	19.35
Capacidad Activa/Muerta, 1999 (Mm ³) ^A	17.8/1.55
Capacidad en 2004 (Mm ³) ^A	17.53
Capacidad Activa/Muerta, 2004 (Mm ³) ^A	17.28/0.25
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³)	0.316
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	16.9
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	16.9/0
Estaciones del USGS Utilizadas: 50055000 & 50057000	
Área de Captación (mi ²)	150
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	77.4
Caudal Promedio Estimado (cfs)	283
Factor de Ajuste, I	1.22

^A Obtenido del Informe “*Sedimentation Survey of Lago Loíza, Puerto Rico, January 2004*”.

El factor de ajuste se determinó mediante un proceso iterativo basado en la calibración del balance de agua en la represa para el periodo de sequía del 1994-95. El análisis de calibración se fundamentó en los siguientes datos.

1. Extracciones de la Planta de Filtración Sergio Cuevas
2. Filtraciones de la represa por la fundación y por los sellos de las compuertas, según medidas por la estación del USGS 50059050 (aguas abajo de la represa).

3. Niveles de la represa, informados por el USGS, y convertidos a volumen utilizando la curva de nivel vs. volumen para el año 1994 según se presentán en Webb y Soler-López (1997) de acuerdo a la batimetría del Embalse.
4. Datos de flujo diario de las estaciones de Río Grande de Loíza y Gurabo (50055000 y 50057000).

El análisis de calibración produjo un factor de ajuste de 1.22, el cual se considera razonable y la metodología utilizada representa el método más preciso para determinar este factor con la información disponible.

La Ilustración 8 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "*Sedimentation Survey of Lago Loíza, Puerto Rico, January 2004*" (Soler-López, 2005). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en dos años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el informe del USGS.

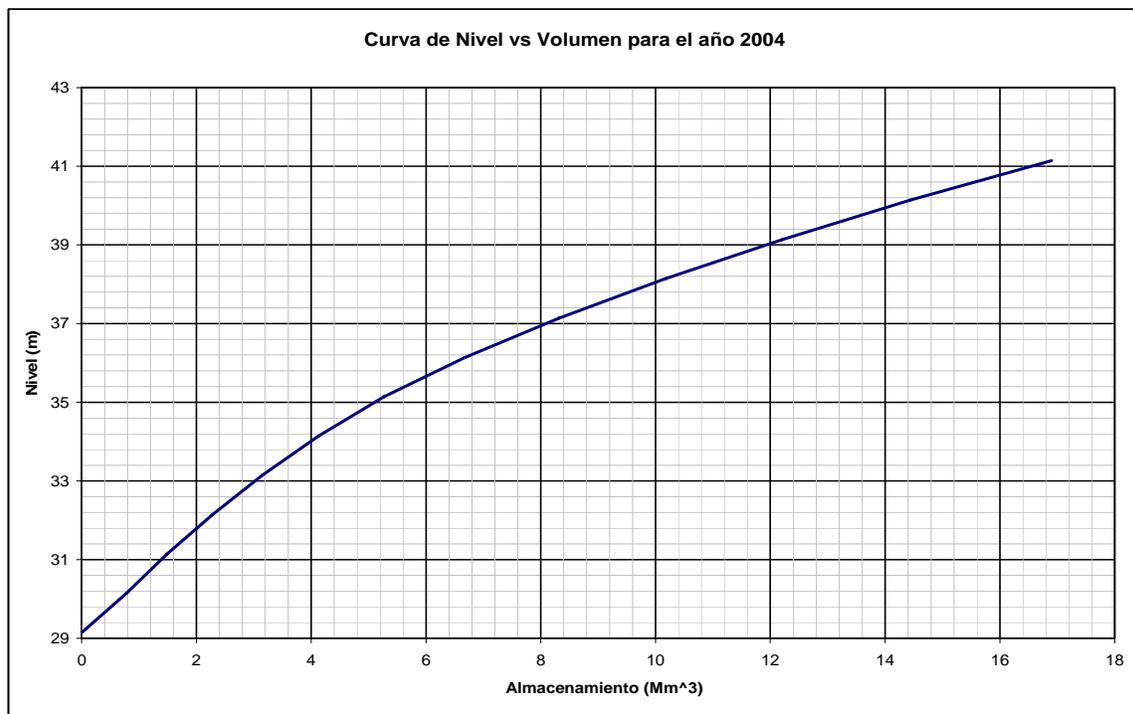


Ilustración 8: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Carraízo.

El análisis de simulación resultó en un rendimiento seguro de 63.3 MGD. La Ilustración 9 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 10 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento. La sequía de 1967-68 ha sido la más severa según los datos de flujo reportados para este río.

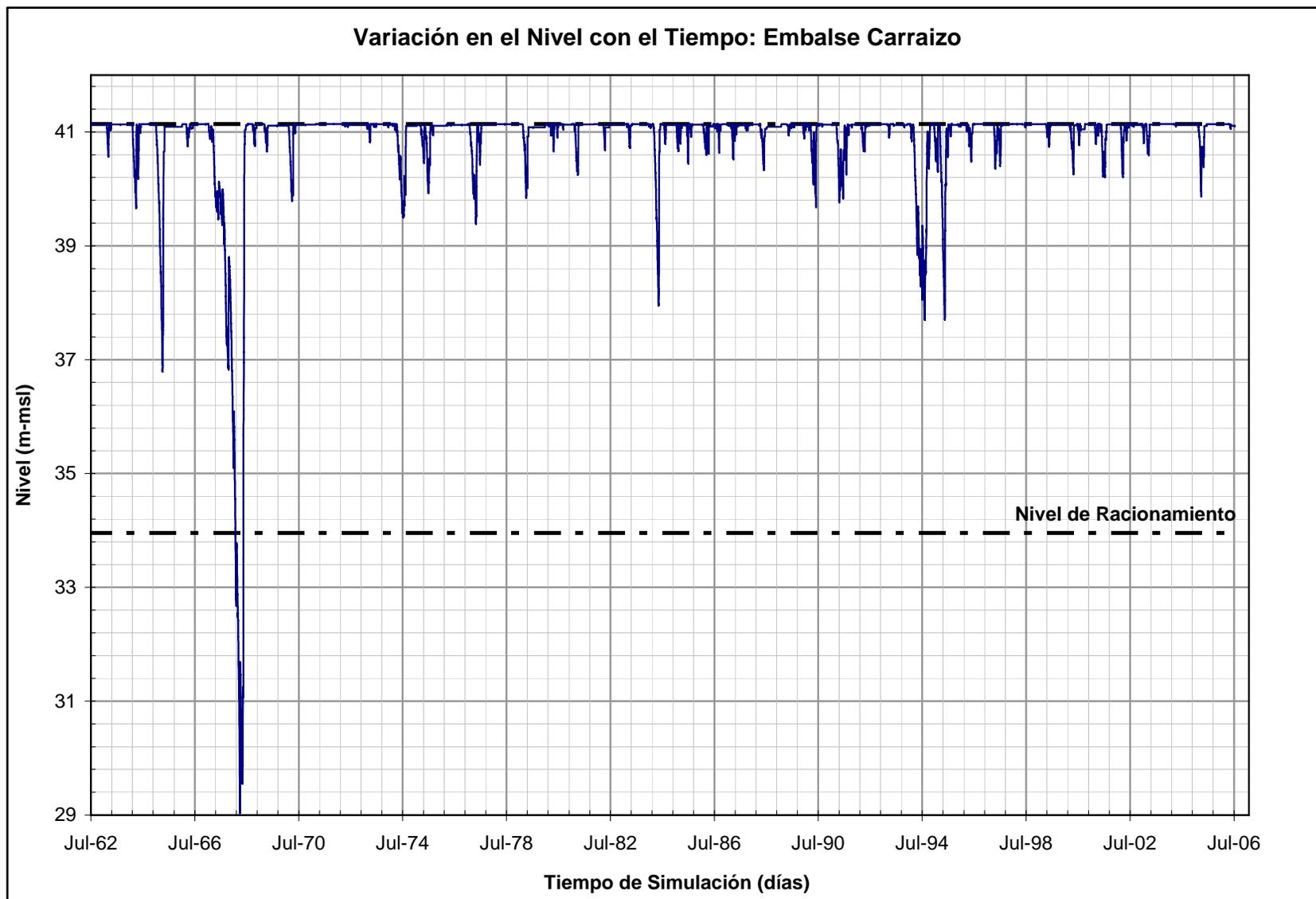


Ilustración 9: Comportamiento de nivel para el Embalse Carraízo, resultante del análisis de rendimiento.

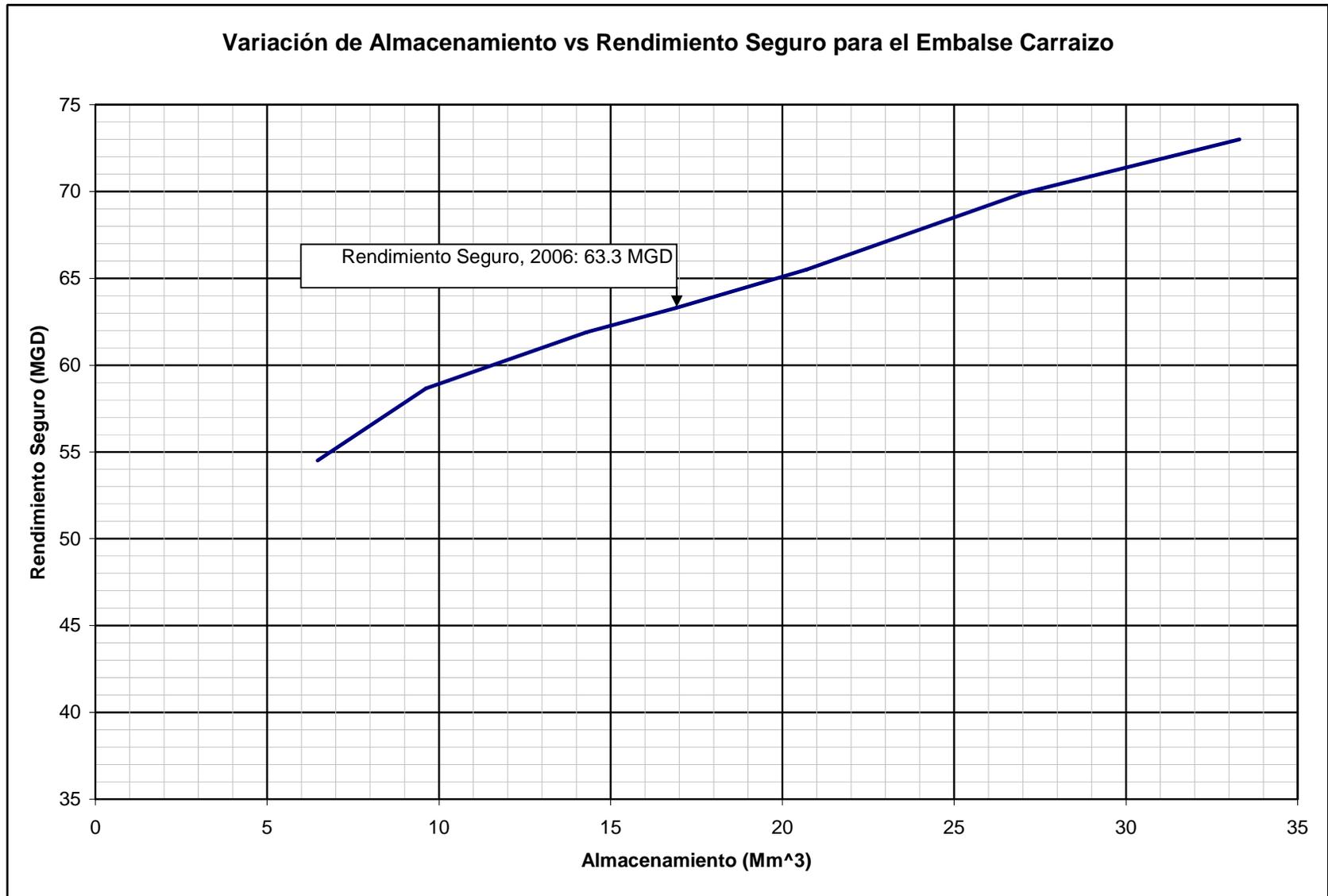


Ilustración 10: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Carraízo.

7.4. Embalse Cerrillos

El Embalse Cerrillos está ubicado en el Municipio de Ponce. Las estaciones del USGS más cercanas con datos continuos están localizadas en los Ríos Cerrillos e Inabón. Las características principales del Embalse Cerrillos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7: Datos del Embalse Cerrillos.

Longitud de Represa (m) ^A	434.3
Longitud del Vertedor (m) ^A	120
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	186.3
Capacidad Original, 1989 (Mm ³) ^A	57.7
Capacidad Activa/Muerta, 1989 (Mm ³) ^A	31.1/6.9
Capacidad Presente, 2006 (Mm ³)	
Embalse Cerrillos	
Área de Captación (mi ²)	17.4
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	70.7
Caudal Promedio Estimado (cfs)	35.8

^A Obtenido del Informe “*Water Control Manual for Cerrillos Dam and Reservoir, July 1997*”

La Ilustración 11 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe del Cuerpo de Ingenieros “*Design Memorandum No. 17, Feature Design Memorando – Cerrillos Dam and Spillway – Volume 1, June 1983*” (U.S. Army 1997). Hasta el momento no se ha realizado ningún estudio de sedimentación para este embalse. Para el análisis se asumió que el volumen activo aun no ha sido afectado por la sedimentación.

Los datos de flujo para este embalse se obtuvieron de tres estaciones del USGS: 5011400, 50112500 y 5011380. Estas estaciones se combinaron y correlacionaron para producir una serie de tiempo continua desde 1964 al 2007 la cual se utilizó como base para la simulación de la operación del Embalse.

Para este embalse se contempló un segundo escenario el cual analiza el efecto que tendría el utilizar como nivel mínimo para abasto de agua, el nivel crítico para el anidaje de los peces (161 m, informado por el DRNA). La Tabla 8 resumen los resultados de ambos escenarios.

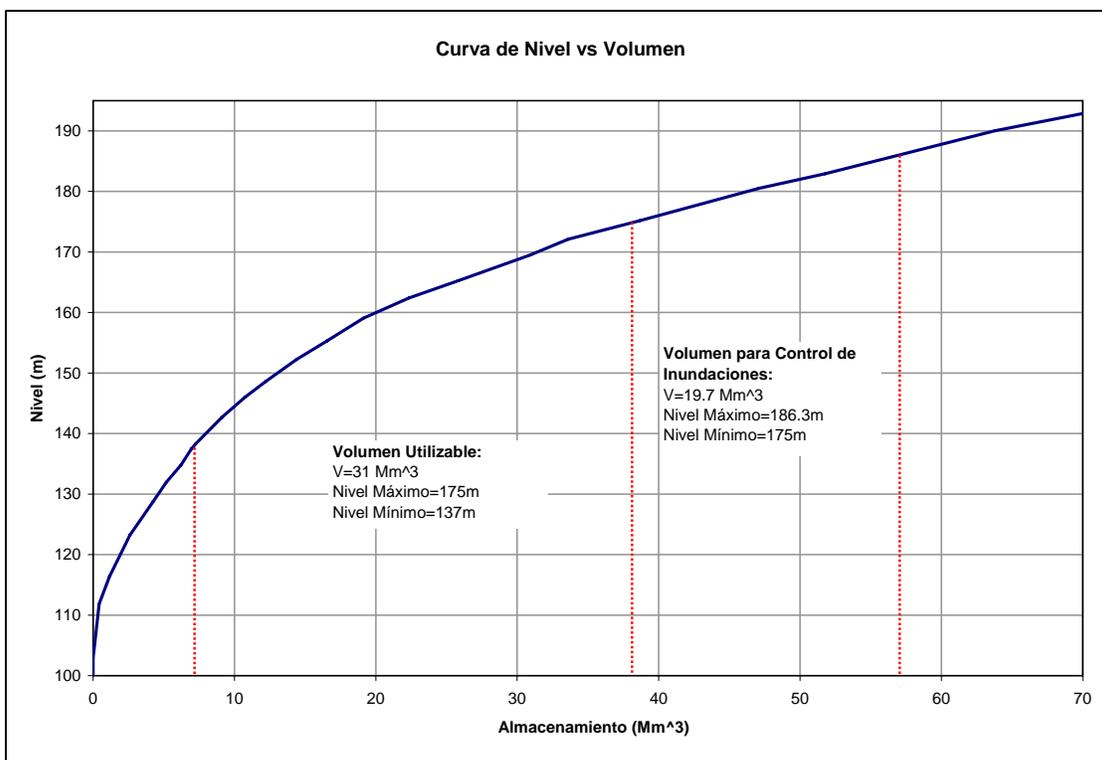


Ilustración 11: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Cerrillos.

Las Ilustración 12 y 13 muestran el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo de la simulación para los escenarios #1 y # 2, respectivamente. La Ilustración 14 y 15 muestran la variación de rendimiento seguro vs. El almacenamiento para los escenarios #1 y # 2, respectivamente.

Tabla 8: Rendimiento Seguro para el Embalse Cerrillos.

Escenario	#1	#2
Modo de Operación	Abasto de Agua Solamente	Conservación Biológica
Bottom of Conservation Pool (elev. m)	137.5	137.5
Volumen Total de Abasto de Agua (Mm³)	31	17
Nivel de Racionamiento (elev. m)	153	161
Rendimiento Seguro (mgd)	16.7	14.3
Nivel Mínimo de Agua (elev. M)	151.1	160.2

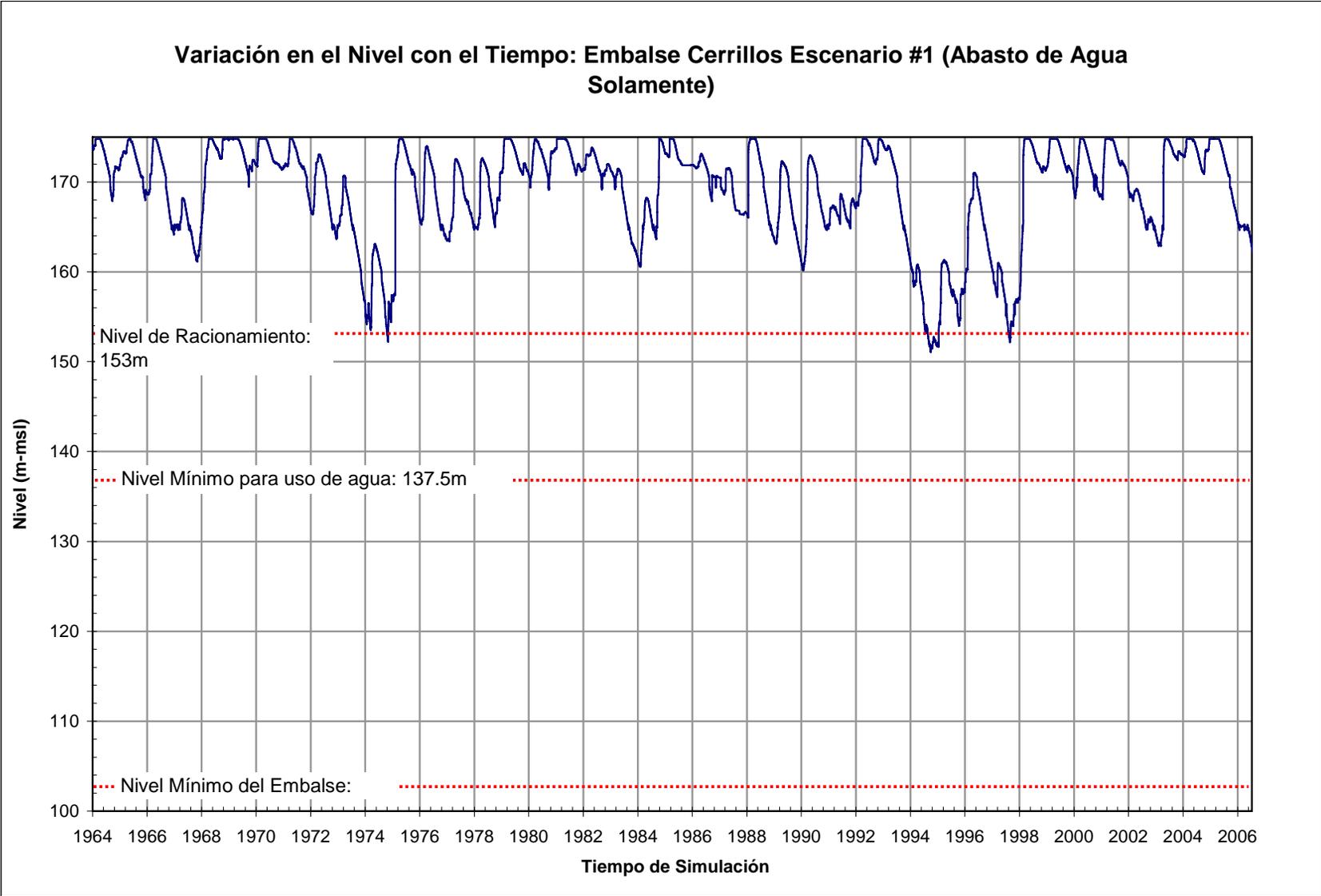


Ilustración 12: Comportamiento de nivel para el Embalse Cerrillos, resultante del análisis de rendimiento (Escenario #1: Abasto de Agua Solamente).

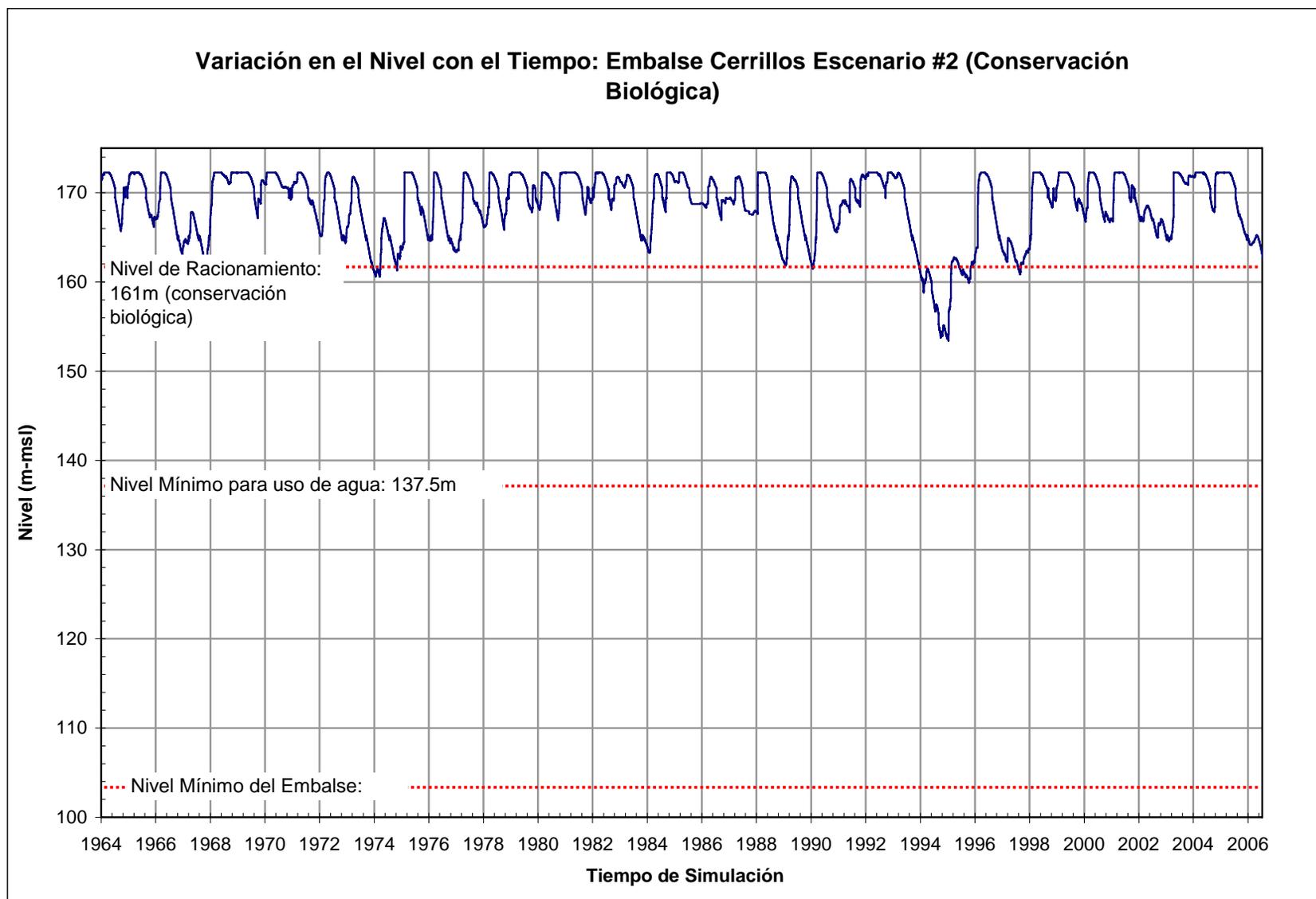


Ilustración 13: Comportamiento de nivel para el Embalse Cerrillos, resultante del análisis de rendimiento (Escenario #2: Conservación Biológica).

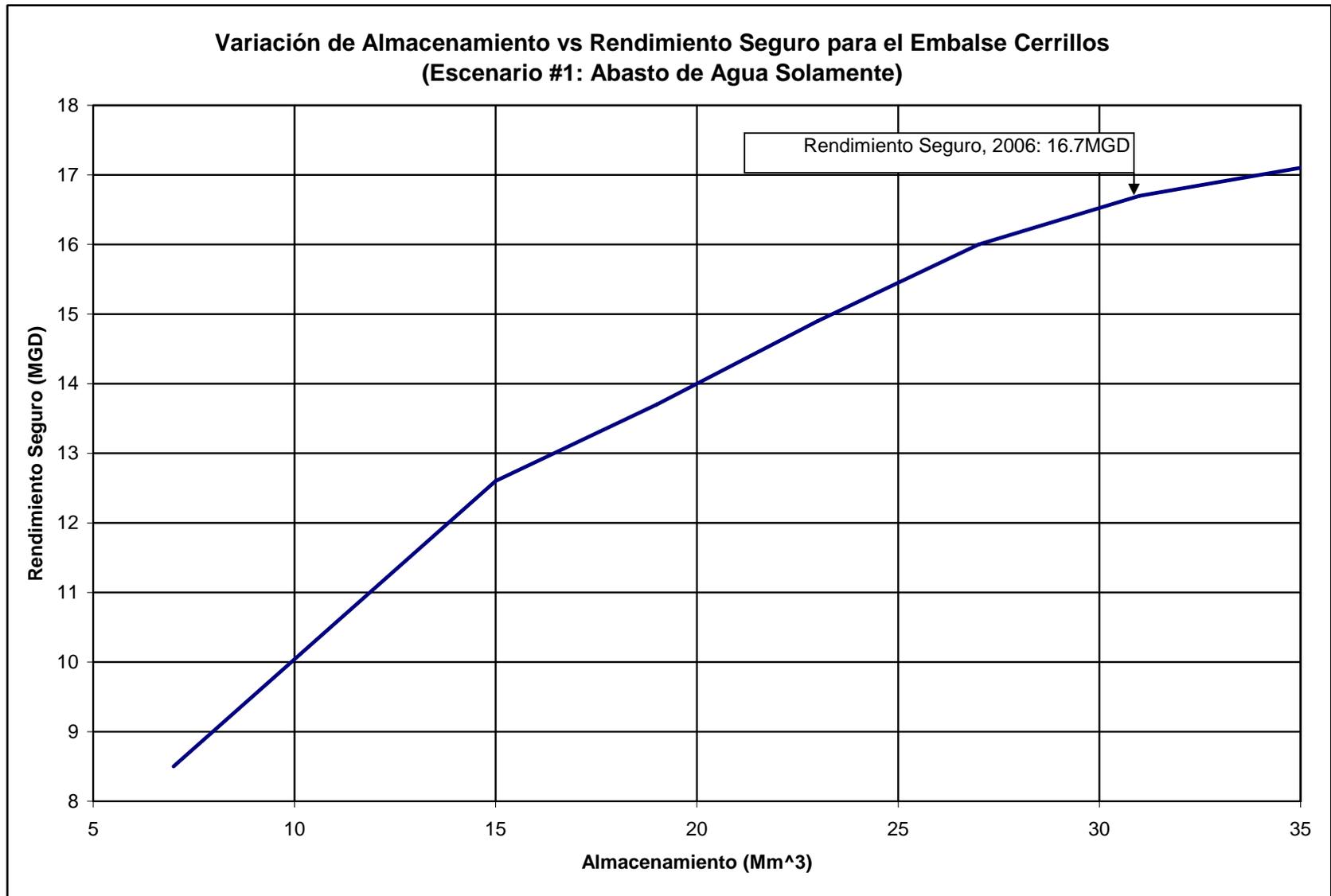


Ilustración 14: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Cerrillos (Escenario #1: Abasto de Agua Solamente).

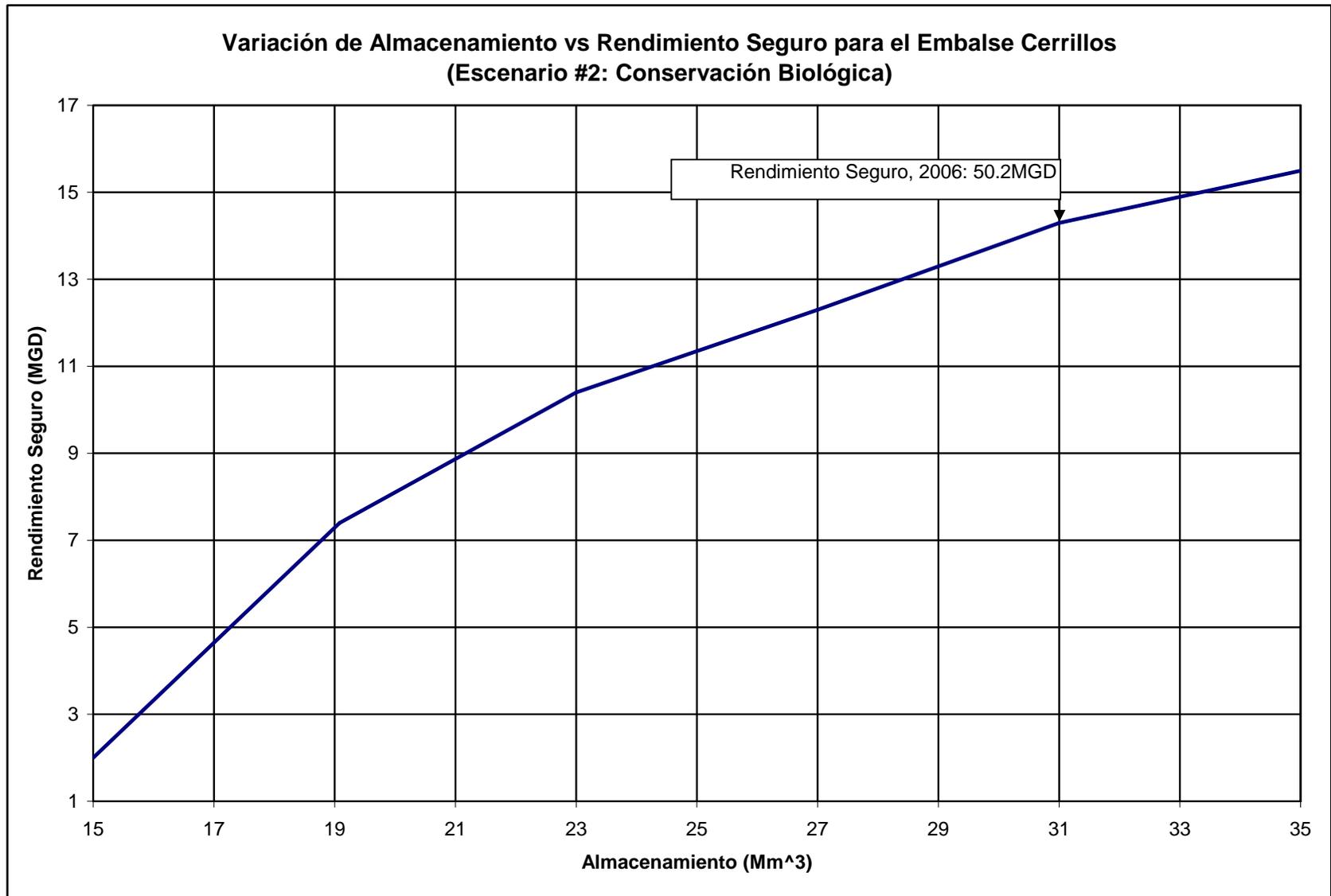


Ilustración 15: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Cerrillos (Escenario #2: Conservación Biológica).

7.5. Embalse Cidra

El Embalse Cidra está ubicado en el Municipio de Cidra. La estación del USGS más cercana con datos continuos está localizada en el Río Cagüitas. Las características principales del Embalse Cidra se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Datos del Embalse Cidra.

Longitud de Represa (m) ^A	165
Longitud del Vertedor (m) ^A	24
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	403
Capacidad Original, 1946 (Mm ³) ^A	6.54
Capacidad en 1997 (Mm ³) ^A	5.76
Capacidad Activa/Muerta, 1997 (Mm ³) ^A	5.76/0
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.015
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	5.63
Embalse Cidra	
Área de Captación (mi ²)	8.1
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	65.8
Caudal Promedio Estimado (cfs)	15.7
Estación del USGS: 50055100	
Área de Captación (mi ²)	5.3
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	69.7
Caudal Promedio Estimado (cfs)	11.9
Factor de Ajuste, I	1.3

^A Obtenido del informe "*Sedimentation Survey of Lago Cidra, Puerto Rico, November 1997*".

La Ilustración 16 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "*Sedimentation Survey of Lago Cidra, Puerto Rico, November 1997*" (Soler-López 1999). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en nueve años utilizando la pérdida de capacidad anual provista en el informe del USGS para el Embalse Cidra.

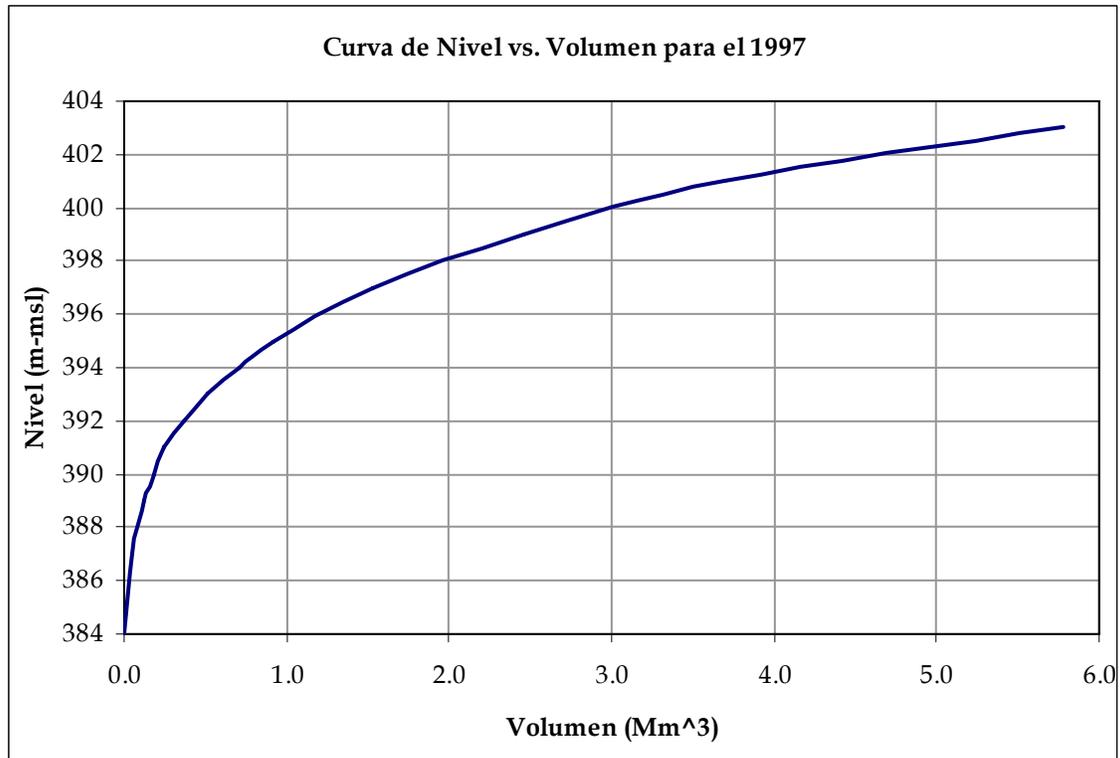


Ilustración 16: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Cidra.

El análisis de simulación estimó el rendimiento seguro en 4.7 MGD. La Ilustración 17 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo de la simulación. La Ilustración 18 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

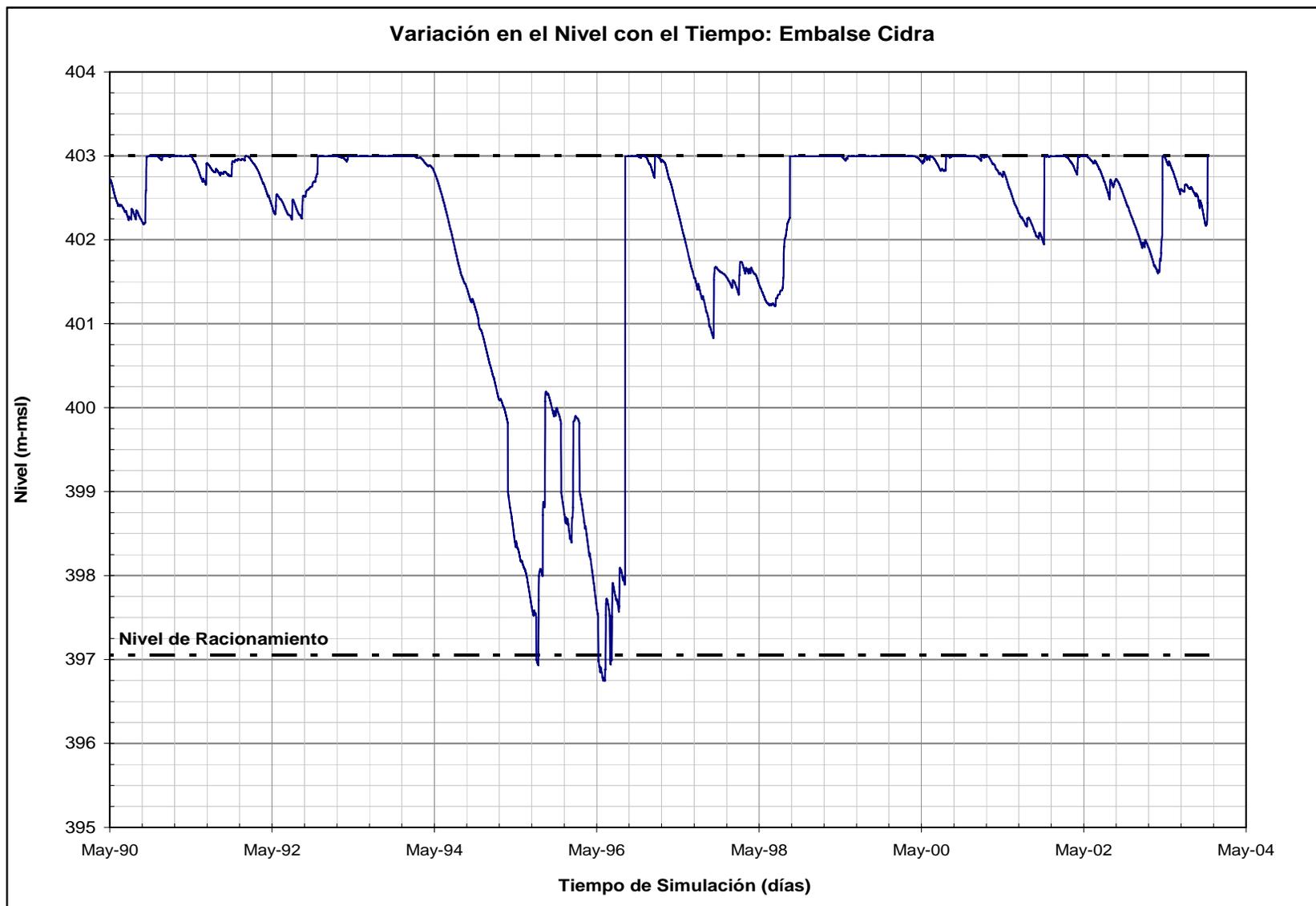


Ilustración 17: Comportamiento de nivel para el Embalse Cidra, resultante del análisis de rendimiento.

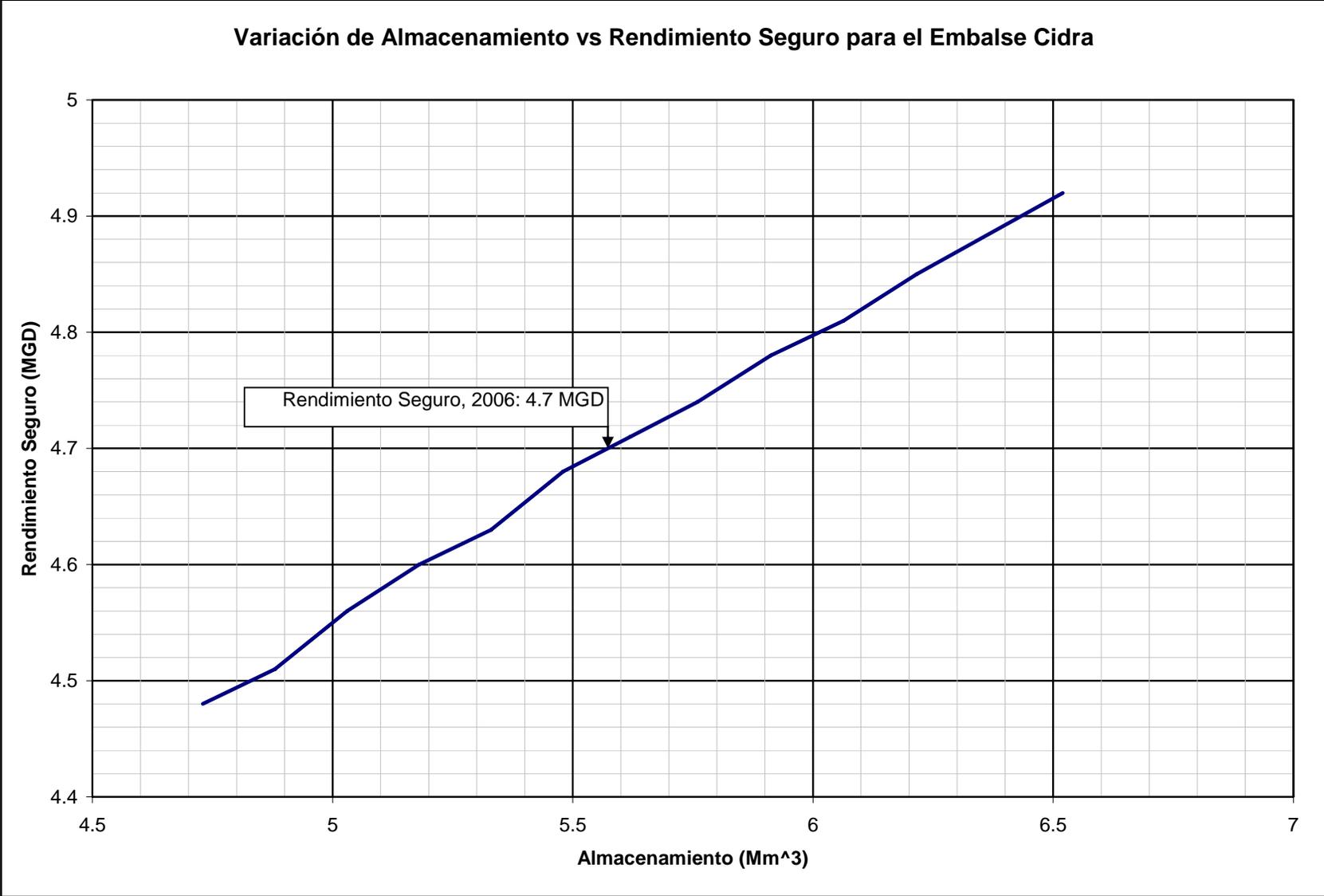


Ilustración 18: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Cidra.

7.6. Embalse Garzas

El Embalse Garzas está ubicado en el Municipio de Adjuntas. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50025155 localizada en el Río Saliente. Las características principales del Embalse Garzas se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10: Datos del Embalse Garzas.

Longitud de Represa (m) ^A	277.4
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	36.1
Capacidad en 1943 (Mm3) ^A	5.8
Capacidad en 1996 (Mm3) ^A	5.11
Capacidad Activa/Muerta, 1996 (Mm ³) ^A	4.96/0.15
Pérdida Anual de Capacidad (Mm3) ^A	0.013
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm3)	5.0
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	4.9/0.10
Embalse Garzas	
Área de Captación (mi ²)	6.12
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	92.2
Caudal Promedio Estimado (cfs)	22.5
Estación del USGS: 50025155	
Área de Captación (mi ²)	9.2
Lluvia Anual Promedio(pulg.)	93
Caudal Promedio Estimado (cfs)	32
Factor de Ajuste, I	0.7

^A Obtenido del informe “*Sedimentation Survey of Lago Garzas, Puerto Rico, September 1996*”.

La Ilustración 19 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS “*Sedimentation Survey of Lago Garzas, Puerto Rico, September 1996*” (Soler-López et.al. 1999). La misma se ajustó para

tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en 10 años, utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el informe del USGS.

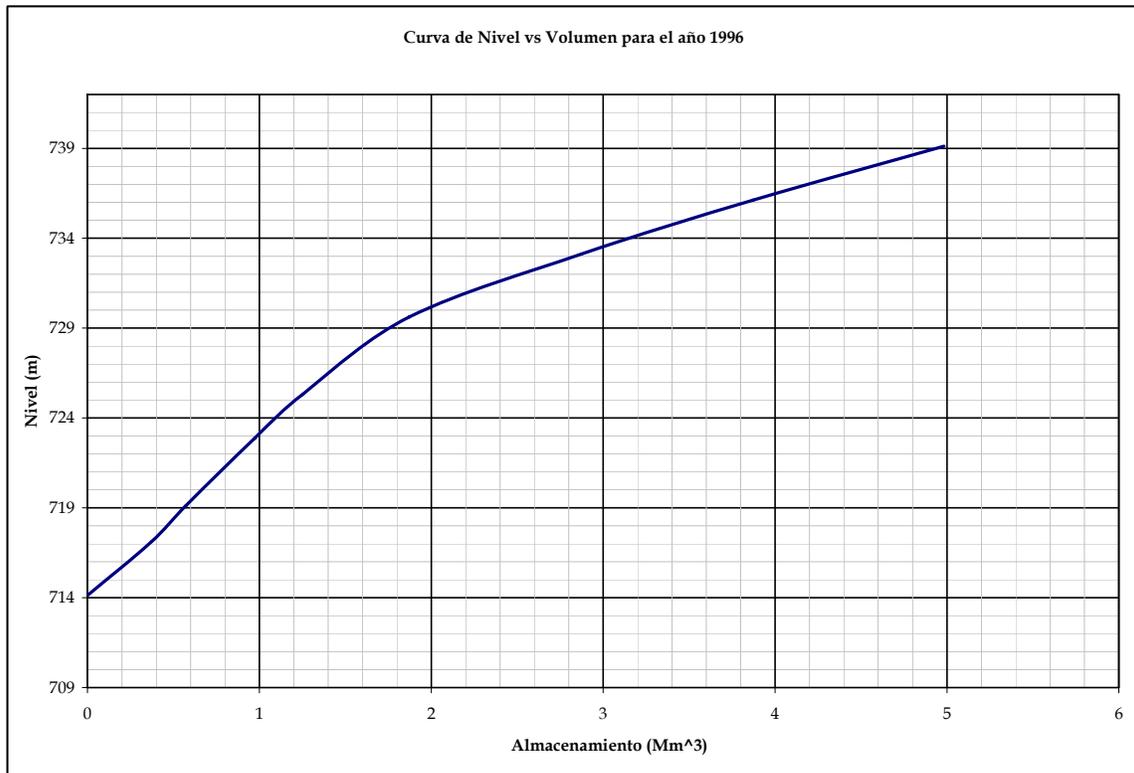


Ilustración 19: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Garzas.

El análisis de simulación estimó el rendimiento seguro en 7 MGD. La Ilustración 20 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo de la simulación. La Ilustración 21 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

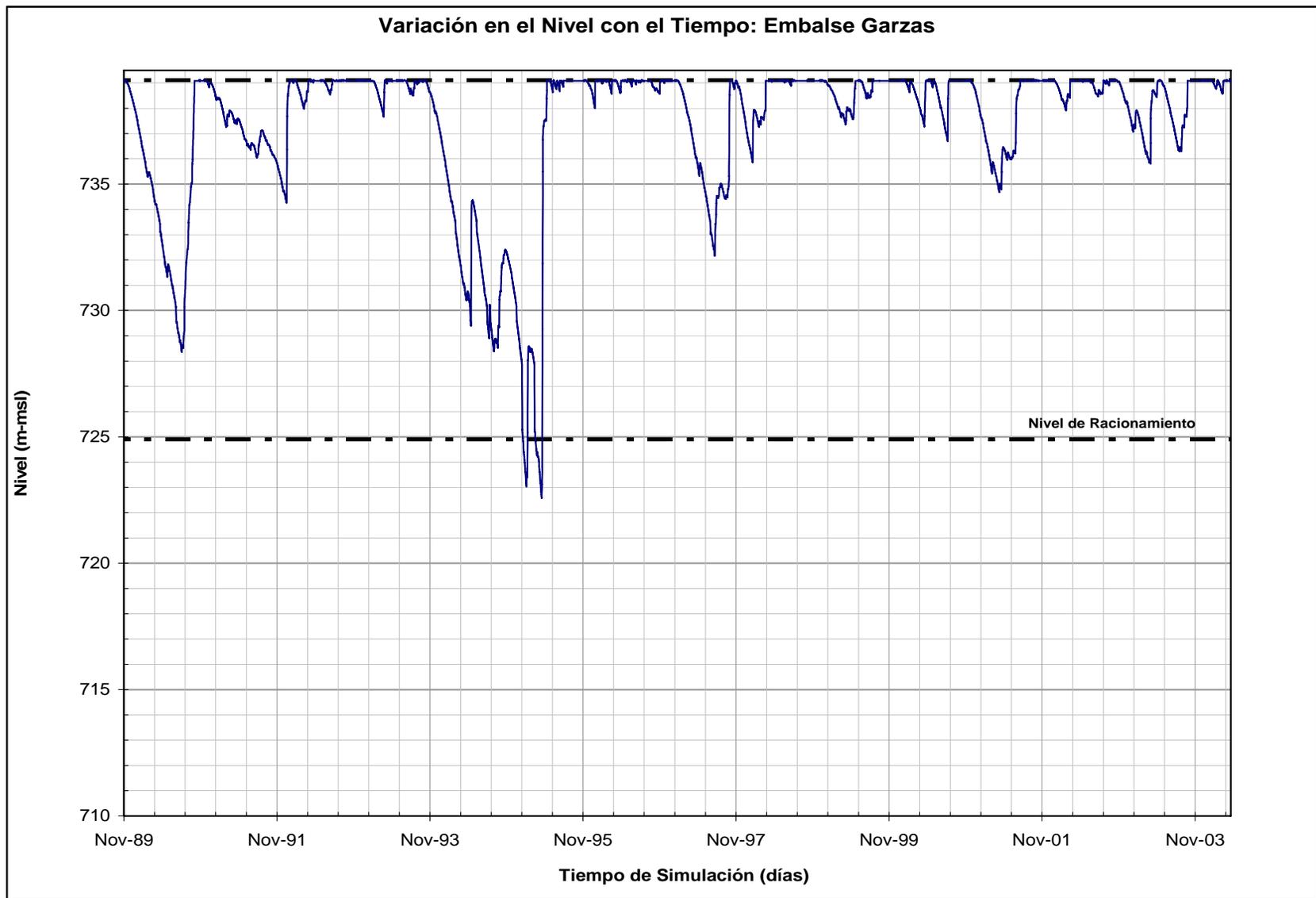


Ilustración 20: Comportamiento de nivel para el Embalse Garzas, resultante del análisis de rendimiento.

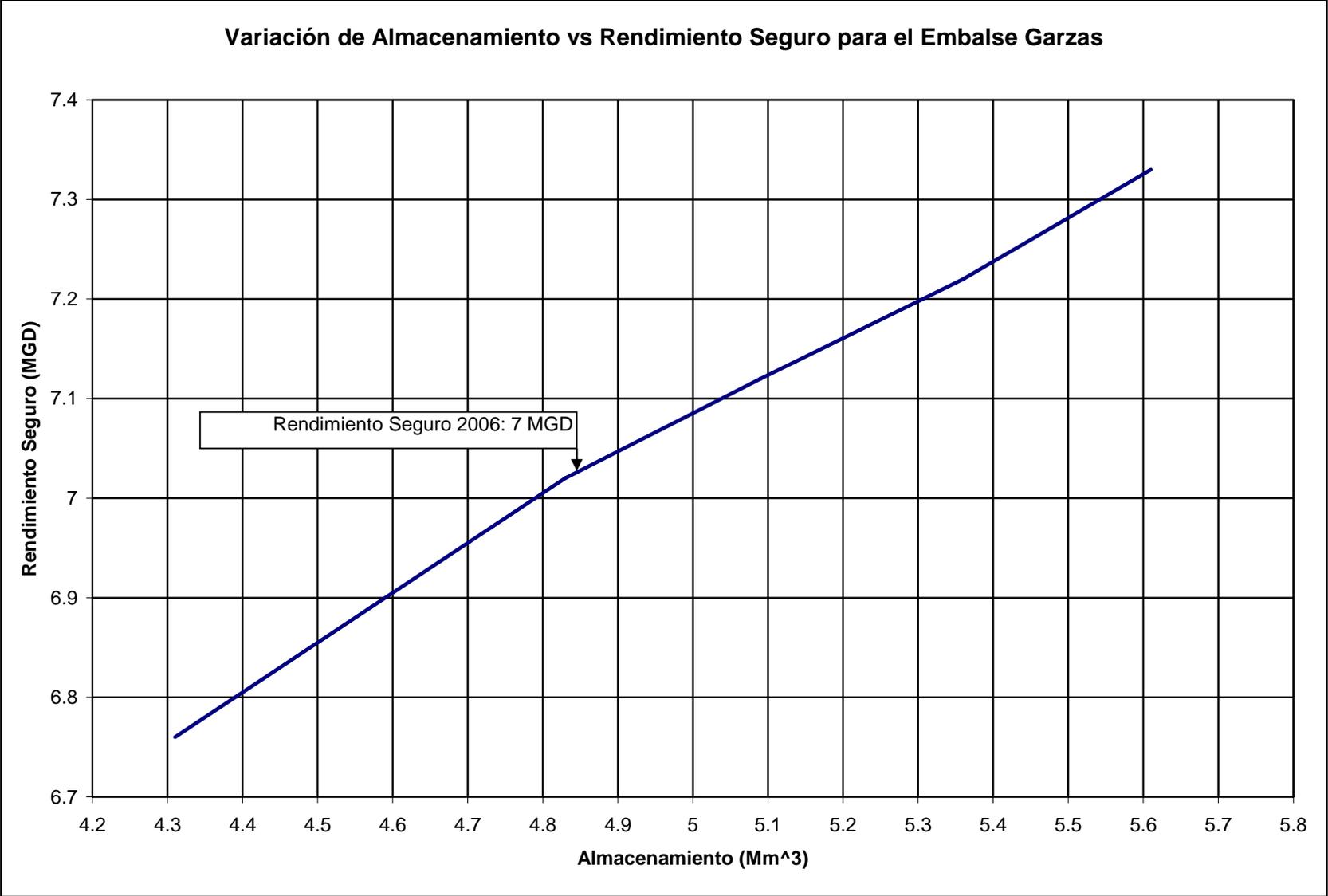


Ilustración 21: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Garzas.

7.7. Embalse Guajataca

El Embalse Guajataca está ubicado en el Municipio de Quebradillas. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50010500, localizada en el Río Guajataca. Las características principales del Embalse Guajataca se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11: Datos del Embalse Guajataca.

Longitud de Represa (m) ^A	316
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	196.9
Capacidad en 1928 (Mm ³) ^A	48.46
Capacidad en 1999 (Mm ³) ^A	42.28
Capacidad Activa/Muerta, 1999 (Mm ³) ^A	37.48/4.8
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.087
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	41.70
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	37.2/4.45
Embalse Guajataca	
Área de Captación (mi ²)	36.2
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	94
Caudal Promedio Estimado (cfs)	102.8
Estación del USGS: 50010500	
Área de Captación (mi ²)	3.16
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	94.5
Caudal Promedio Estimado (cfs)	8.3
Factor de Ajuste, I	12.4

^A Obtenido del informe "Sedimentation Survey of Lago Guajataca, Puerto Rico, September 1999".

La Ilustración 22 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago Guajataca, Puerto Rico, September 1999" (Soler-López et. al. 2000b). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación ensiete años, utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el informe del USGS.

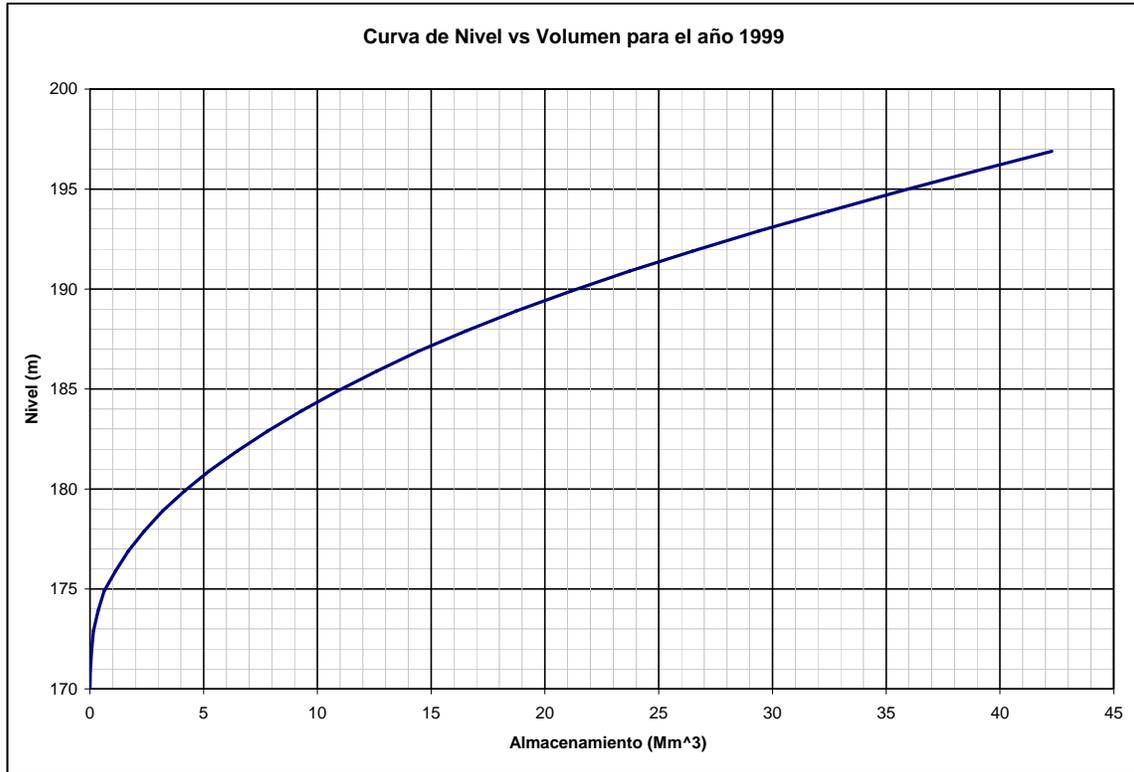


Ilustración 22: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Guajataca.

El análisis de simulación resultó en un rendimiento seguro en 41.2 MGD. La Ilustración 23 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo de la simulación. La Ilustración 24 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

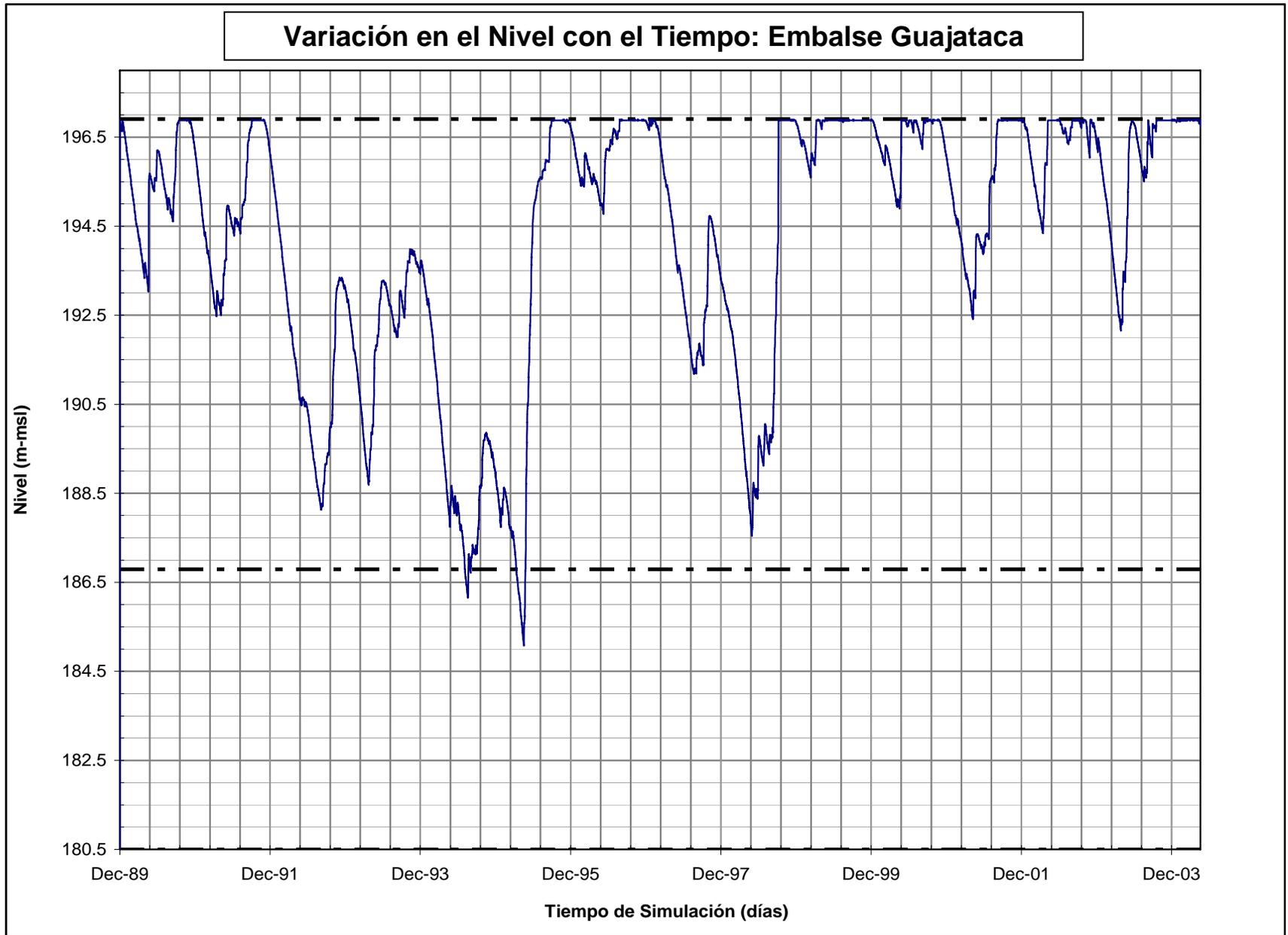


Ilustración 23: Comportamiento de nivel para el Embalse Guajataca, resultante del análisis de rendimiento.

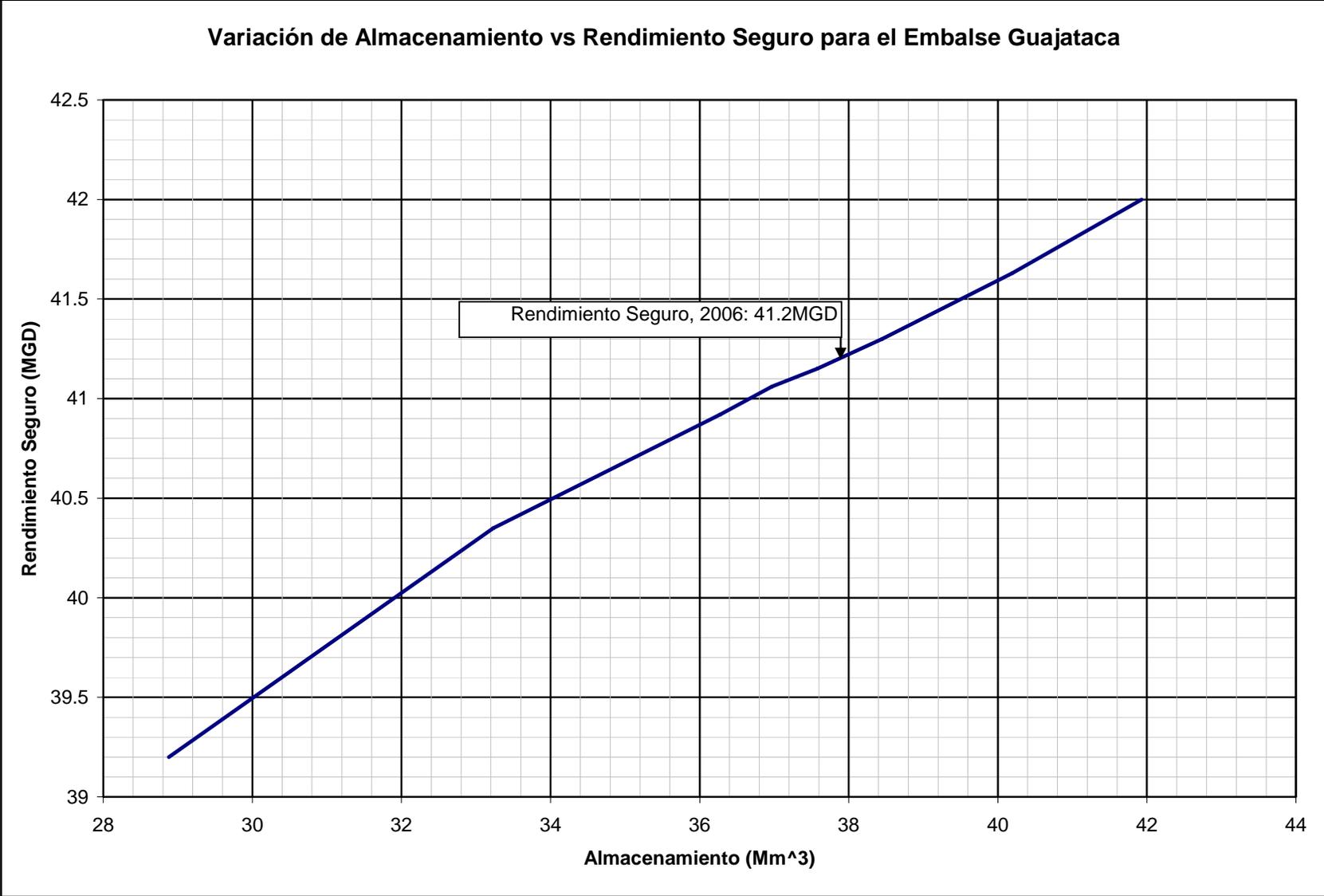


Ilustración 24: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Guajataca.

7.8. Embalse El Guineo

Embalse El Guineo está ubicado en el Municipio de Villalba. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50025155, localizada en el Río Saliente. Las características principales del Embalse El Guineo se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12: Datos del Embalse El Guineo.

Longitud de Represa (m) ^A	-
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	902.21
Capacidad Original, 1931 (Mm ³) ^A	2.29
Capacidad en 2001 (Mm ³) ^A	1.89
Capacidad Activa/Muerta, 2001 (Mm ³) ^A	1.89/0
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.0057
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	1.86
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	1.86/0
Embalse El Guineo	
Área de Captación (mi ²)	1.65
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	110
Caudal Promedio Estimado (cfs)	9.0
Estación del USGS: 50025155	
Área de Captación (mi ²)	9.25
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	93
Caudal Promedio Estimado (cfs)	32.0
Factor de Ajuste, I	0.28

^A Obtenido del informe "Sedimentation Survey of Lago El Guineo, Puerto Rico, October 2001".

La Ilustración 25 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago El Guineo, Puerto Rico, October 2001" (Soler-López 2003a). La misma se ajustó para tomar en

cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en cinco años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el informe del USGS.

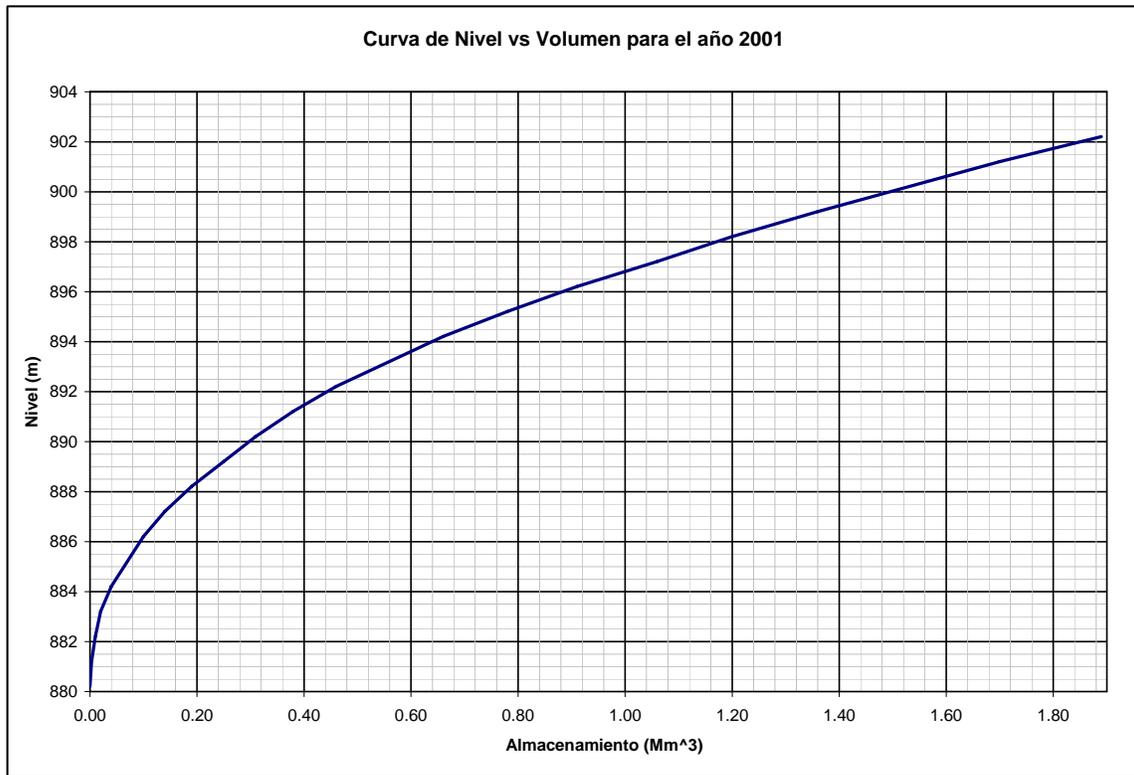


Ilustración 25: Curva de nivel vs volumen para el Embalse El Guineo.

El volumen muerto de este embalse ya está ocupado por sedimentos por lo que el volumen total es el activo (utilizable).

El análisis de simulación estimó un rendimiento seguro en 2.8 MGD. La Ilustración 26 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 27 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

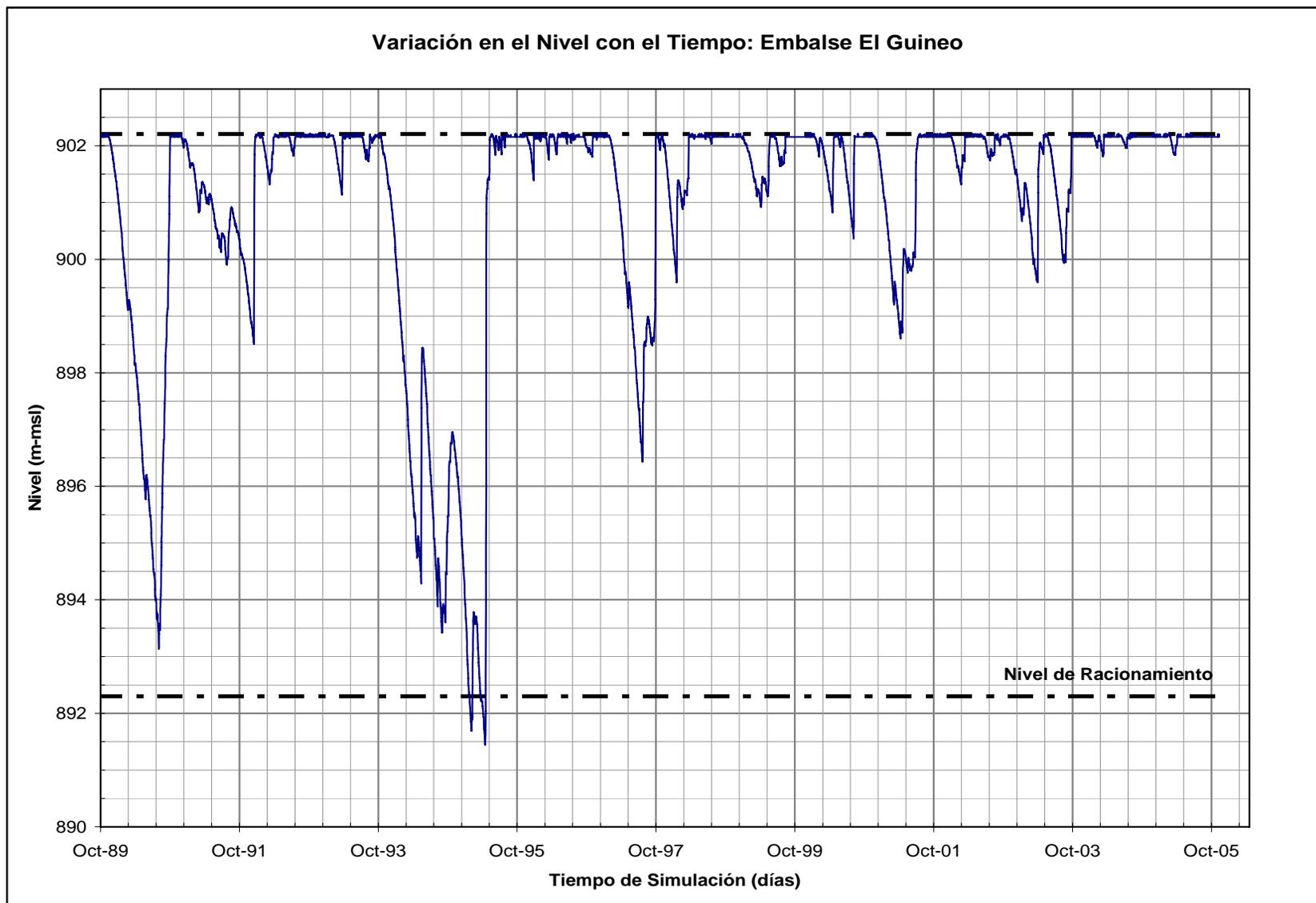


Ilustración 26: Comportamiento de nivel para el Embalse El Guineo, resultante del análisis de rendimiento.

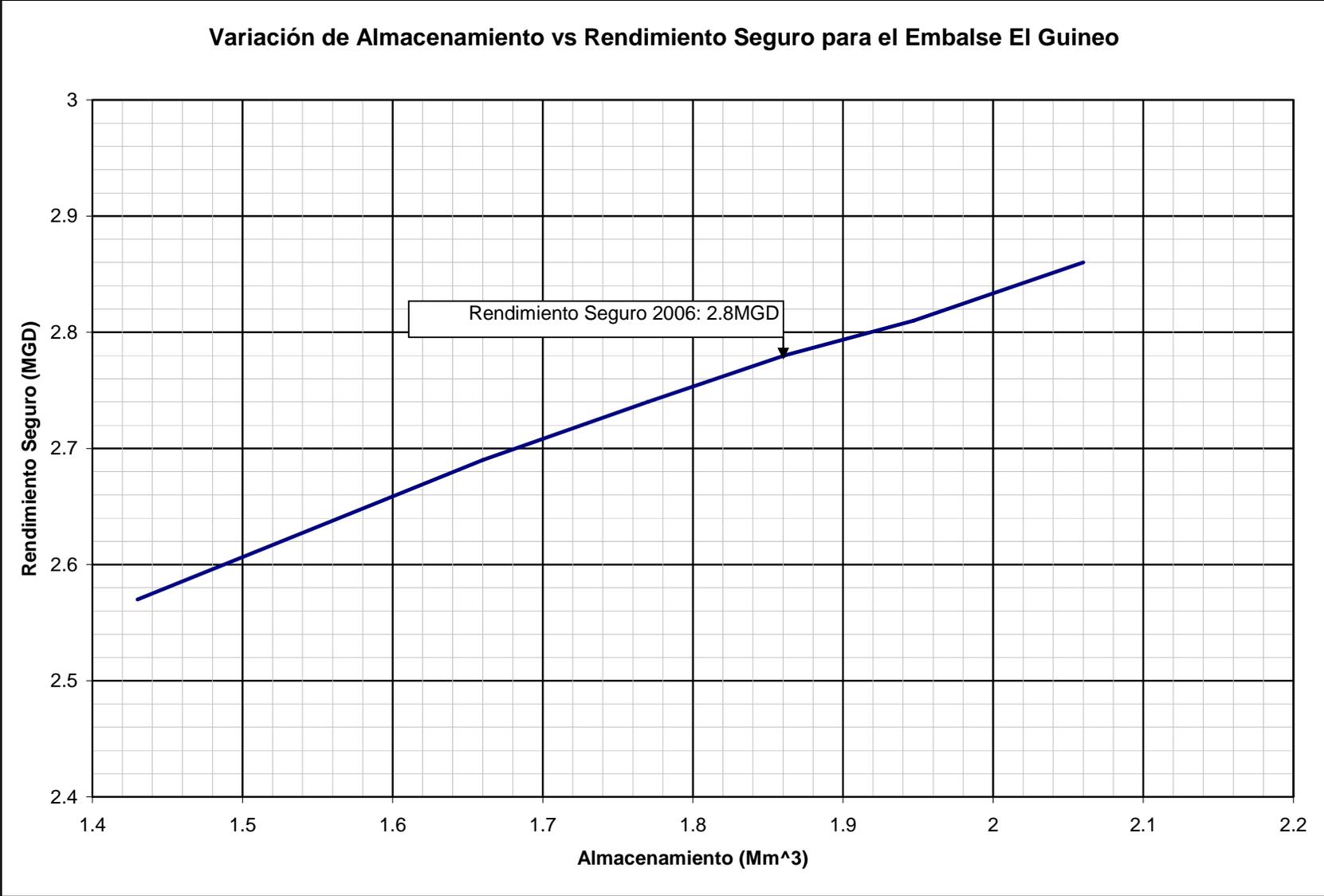


Ilustración 27: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse El Guineo.

7.9. Embalse Matrullas

El Embalse Matrullas está ubicado en el Municipio de Orocovis. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50043000, localizada en el Río La Plata. Las características principales del Embalse Matrullas se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13: Datos del Embalse Matrullas.

Longitud de Represa (m) ^A	216.4
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	736.09
Capacidad Original, 1934 (Mm ³) ^A	3.71
Capacidad en 2001 (Mm ³) ^A	3.08
Capacidad Activa/Muerta, 2001 (Mm ³) ^A	3.08/0
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.0094
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	3.04
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³) ^A	3.04/0
Embalse Matrullas	
Área de Captación (mi ²)	4.4
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	78.8
Caudal Promedio Estimado (cfs)	12.4
Estación del USGS: 50043000	
Área de Captación (mi ²)	16.7
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	78.5
Caudal Promedio Estimado (cfs)	37.8
Factor de Ajuste, I	0.33

^A Obtenido del Informe "Sedimentation Survey of Lago Matrullas, Puerto Rico, December 2001".

La Ilustración 28 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del Informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago Matrullas, Puerto Rico, December 2001" (Soler-López 2003b). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en cinco años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el Informe del USGS.

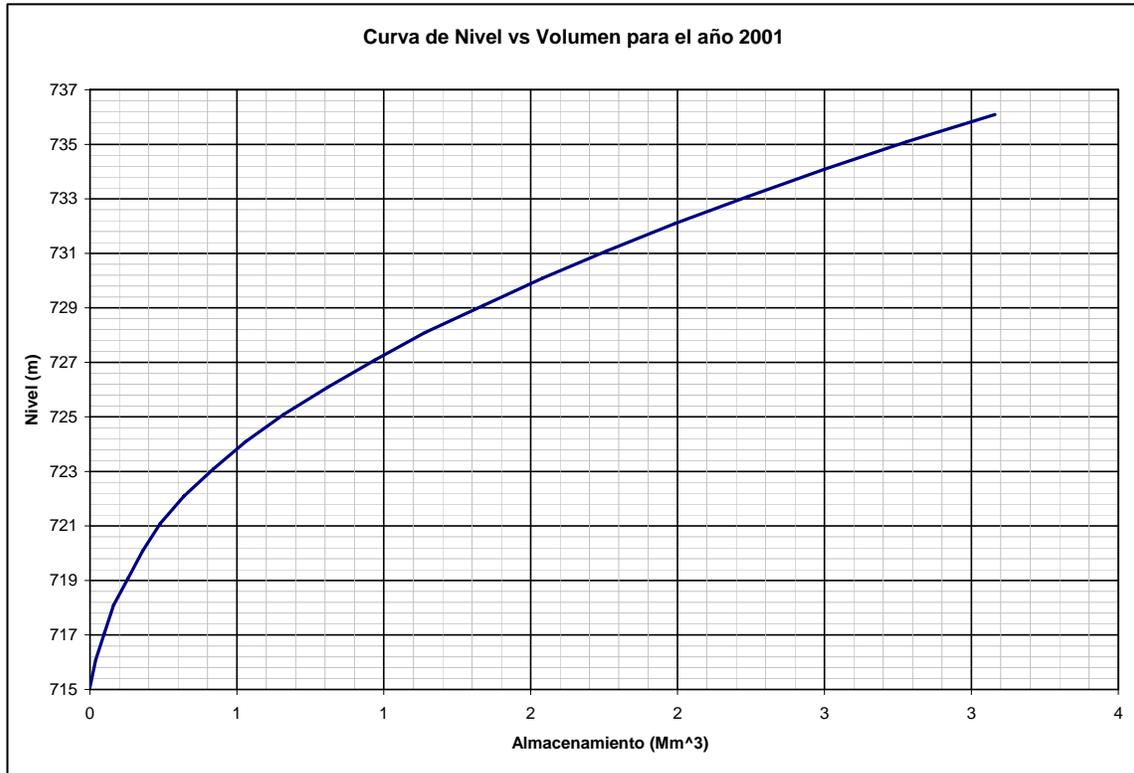


Ilustración 28: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Matrullas.

El análisis de simulación estimó el rendimiento seguro en 2.7 MGD. La Ilustración 29 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 30 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

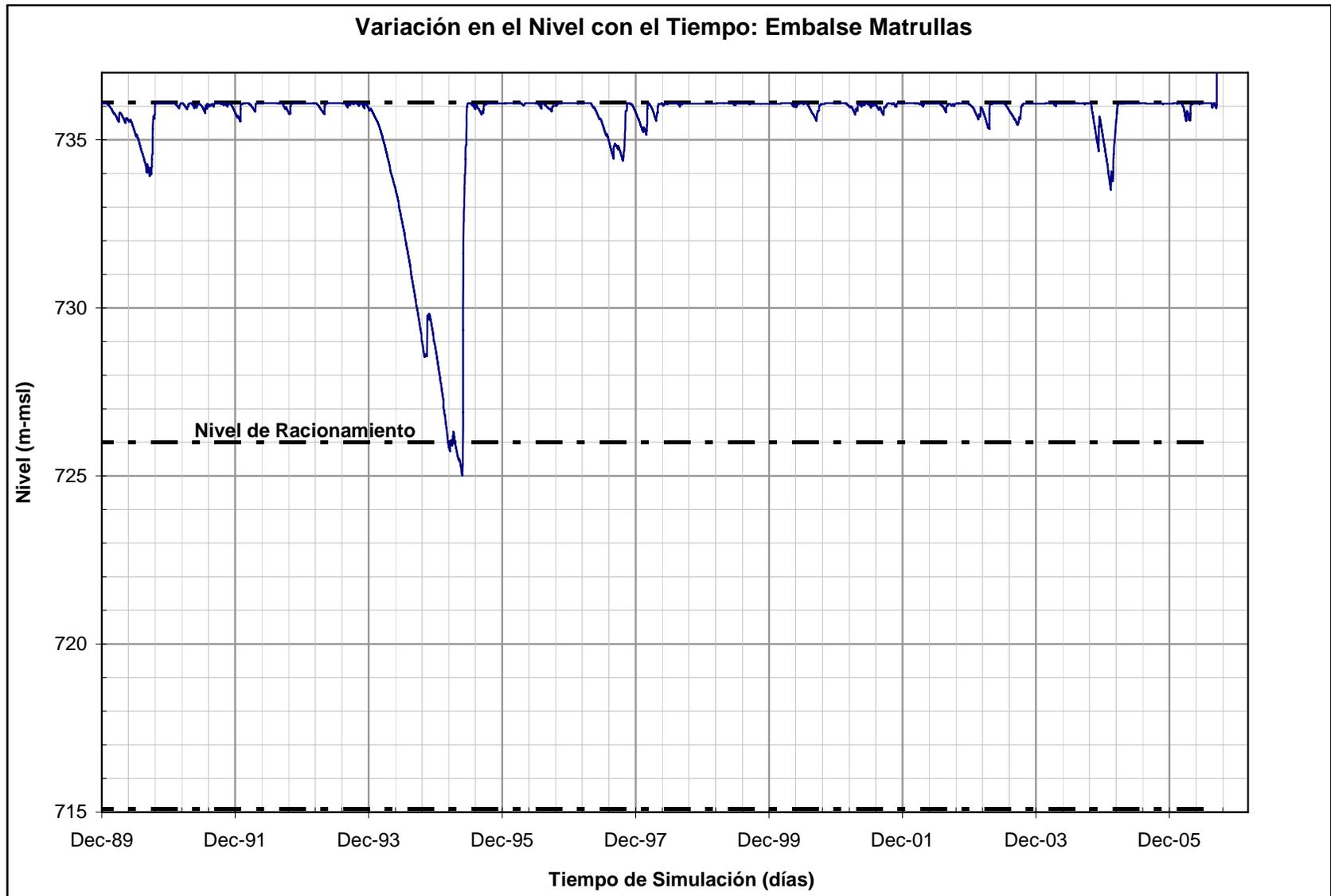


Ilustración 29: Comportamiento de nivel para el Embalse Matrullas, resultante del análisis de rendimiento.

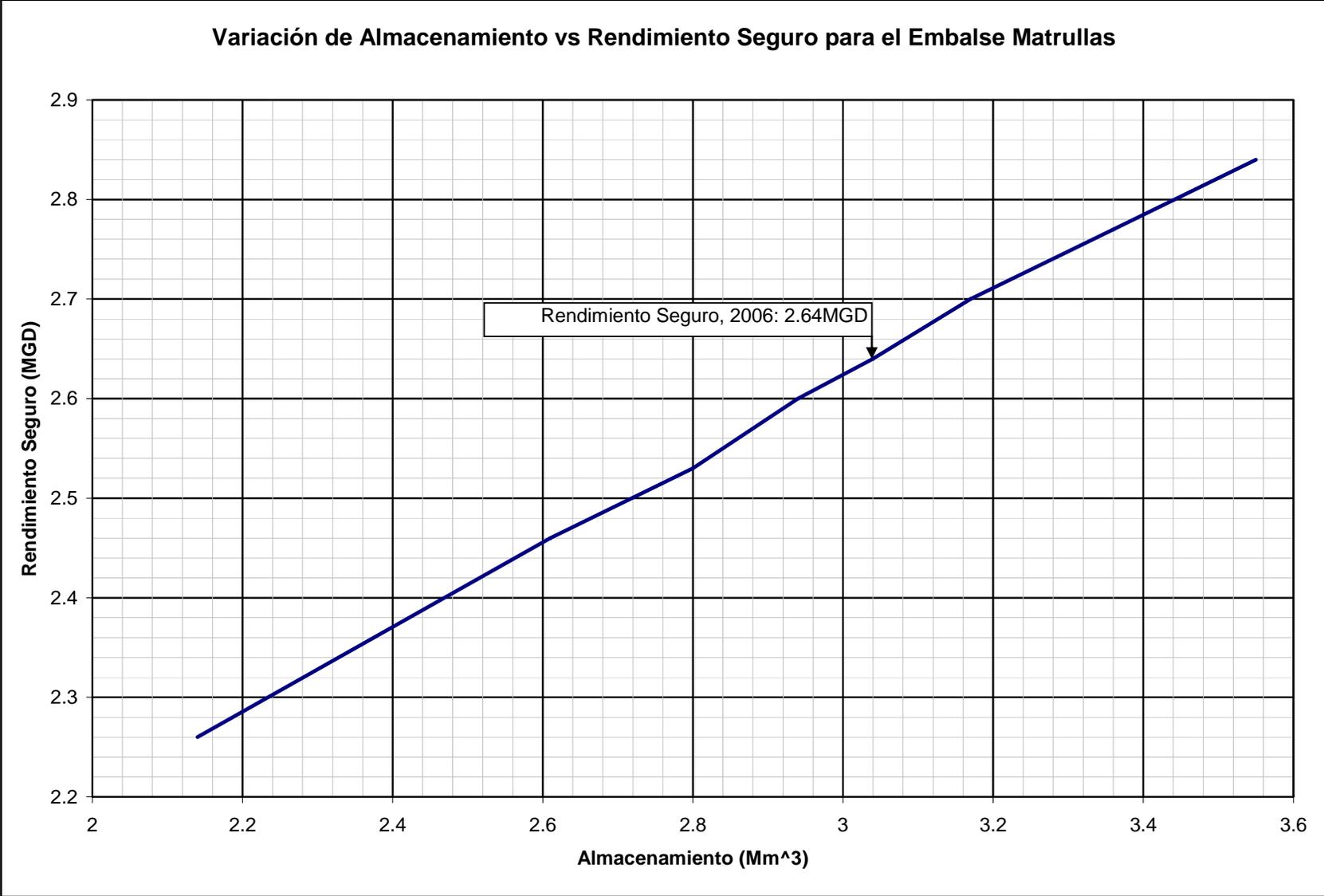


Ilustración 30: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Matrullas.

7.10. Embalse Guayabal

El Embalse Guayabal está ubicado en el Municipio de Juana Díaz. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50110900, localizada en el Río Toa Vaca. Las características principales del Embalse Guayabal se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14: Datos del Embalse Guayabal.

Longitud de Represa (m) ^A	602.9
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	100.89
Capacidad Original, 1913 (Mm ³) ^A	11.82
Capacidad en 2001 (Mm ³) ^A	6.12
Capacidad Activa/Muerta, 2001 (Mm ³) ^A	6.12/0
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.061
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	5.81
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³) ^A	5.81/0
Embalse Guayabal	
Área de Captación (mi ²)	21.1
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	68.5
Caudal Promedio Estimado (cfs)	40
Estación del USGS: 50110900	
Área de Captación (mi ²)	14.2
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	61
Caudal Promedio Estimado (cfs)	24.2
Factor de Ajuste, I	1.6

^A Obtenido del informe "Sedimentation Survey of Lago Guayabal, Puerto Rico, December 2001".

La Ilustración 31 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago Guayabal, Puerto Rico, December 2001" (Soler-López 2001b). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en cinco años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el Informe del USGS.

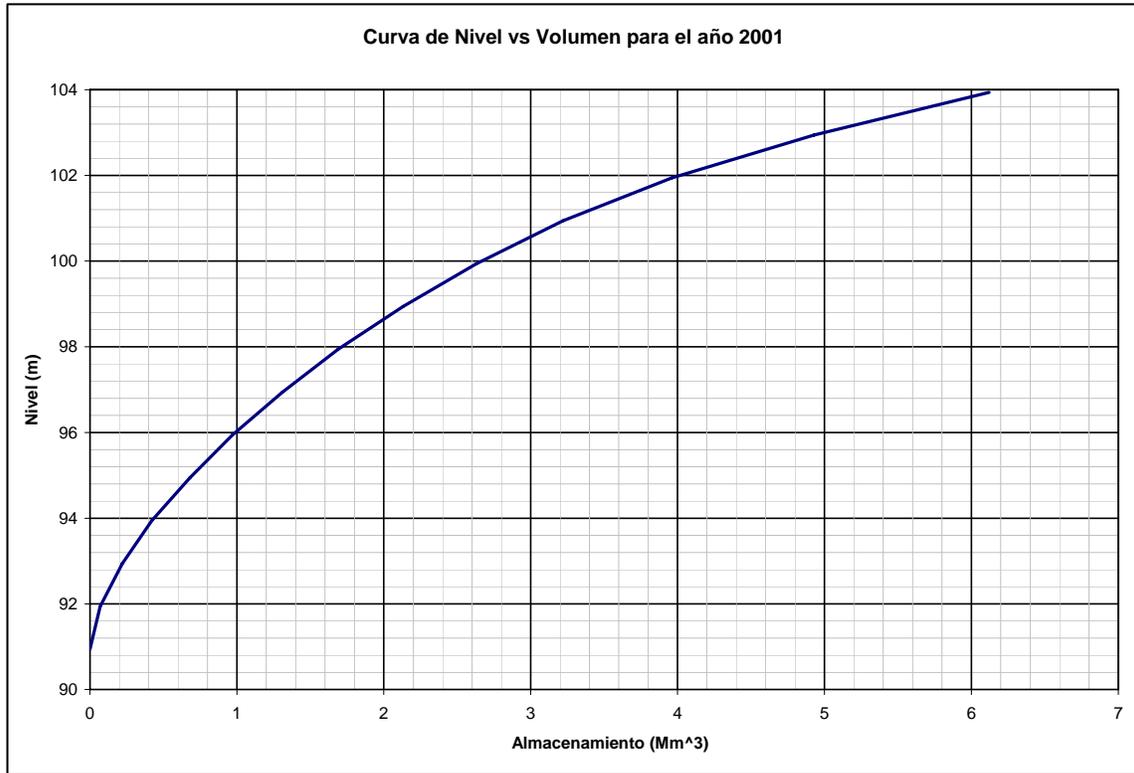


Ilustración 31: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Guayabal

El análisis de simulación estimó el rendimiento seguro en 7.3 MGD. La Ilustración 32 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 33 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

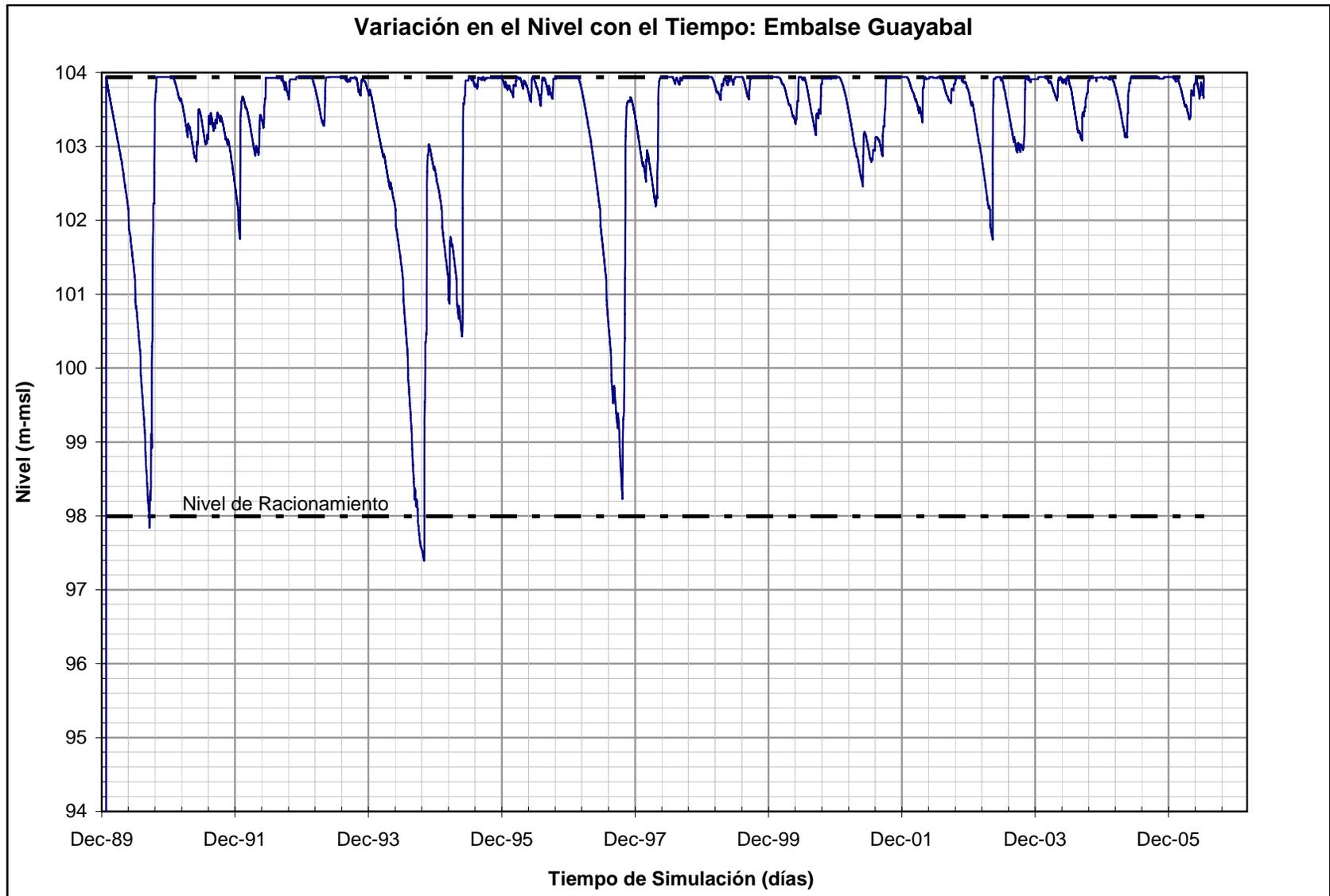


Ilustración 32: Comportamiento de nivel para el Embalse Guayabal, resultante del análisis de rendimiento.

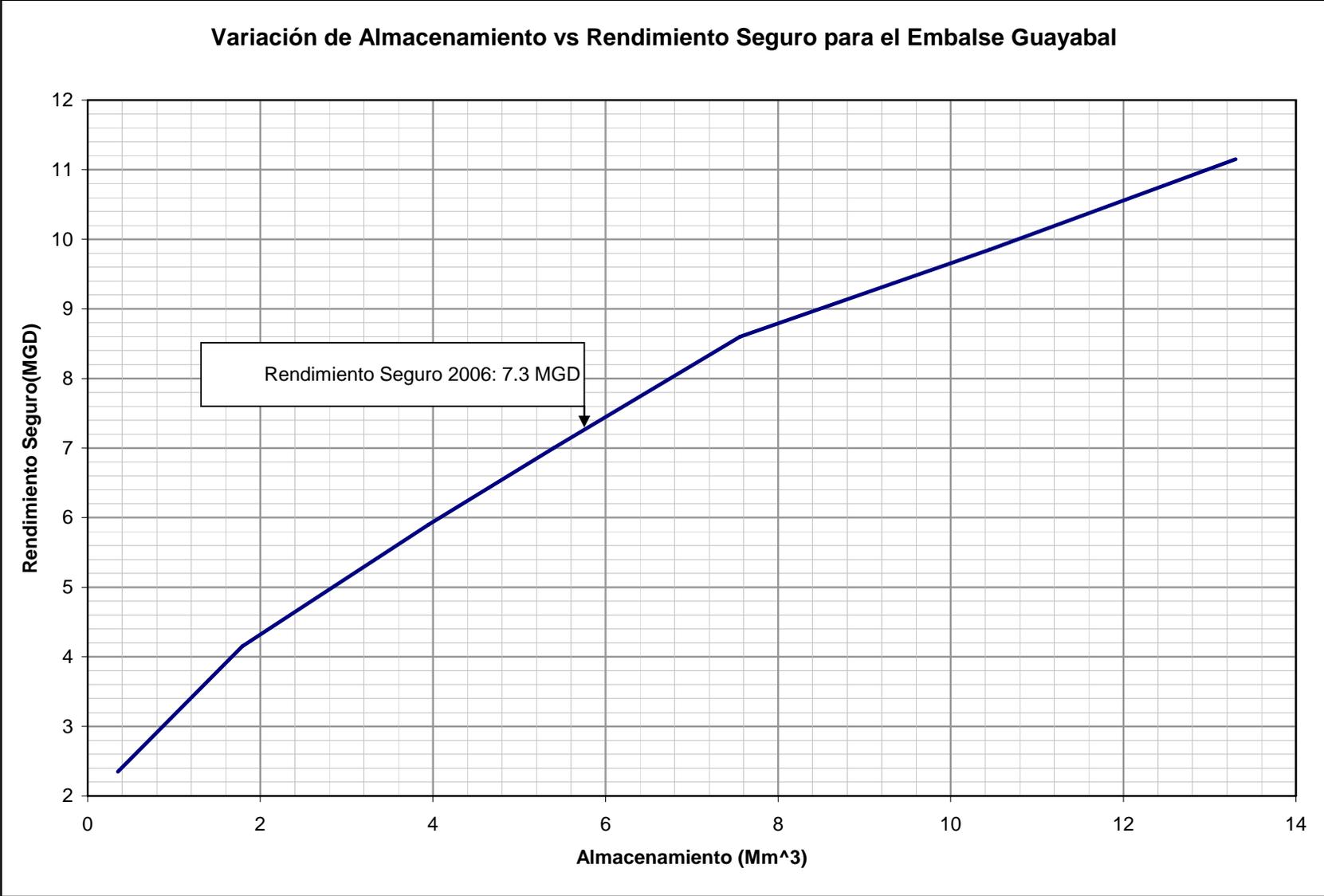


Ilustración 33: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Guayabal

7.11. Embalse La Plata

Embalse La Plata está ubicado en el Municipio de Toa Alta. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50043800, localizada en el Río La Plata. Las características principales del Embalse La Plata se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15: Datos del Embalse La Plata.

Longitud de Represa (m) ^A	235.9
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	47.12
Capacidad Original, 1974 (Mm ³) ^A	40.21
Capacidad en 1998 (Mm ³) ^A	35.46
Capacidad Activa/Muerta, 1998 (Mm ³) ^A	35.46/0
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.2
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	33.9
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	33.9/0
Embalse La Plata	
Área de Captación (mi ²)	180.5
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	65.2
Caudal Promedio Estimado (cfs)	231.3
Estación del USGS: 50043800	
Área de Captación (mi ²)	108.5
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	64.8
Caudal Promedio Estimado (cfs)	147.7
Factor de Ajuste, I	1.6

^A Obtenido del informe "Sedimentation Survey of Lago La Plata, Puerto Rico, October 1998".

La Ilustración 34 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago La Plata, Puerto Rico, October 1998" (Soler-López et al. 2000a). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en ocho años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el informe del USGS.

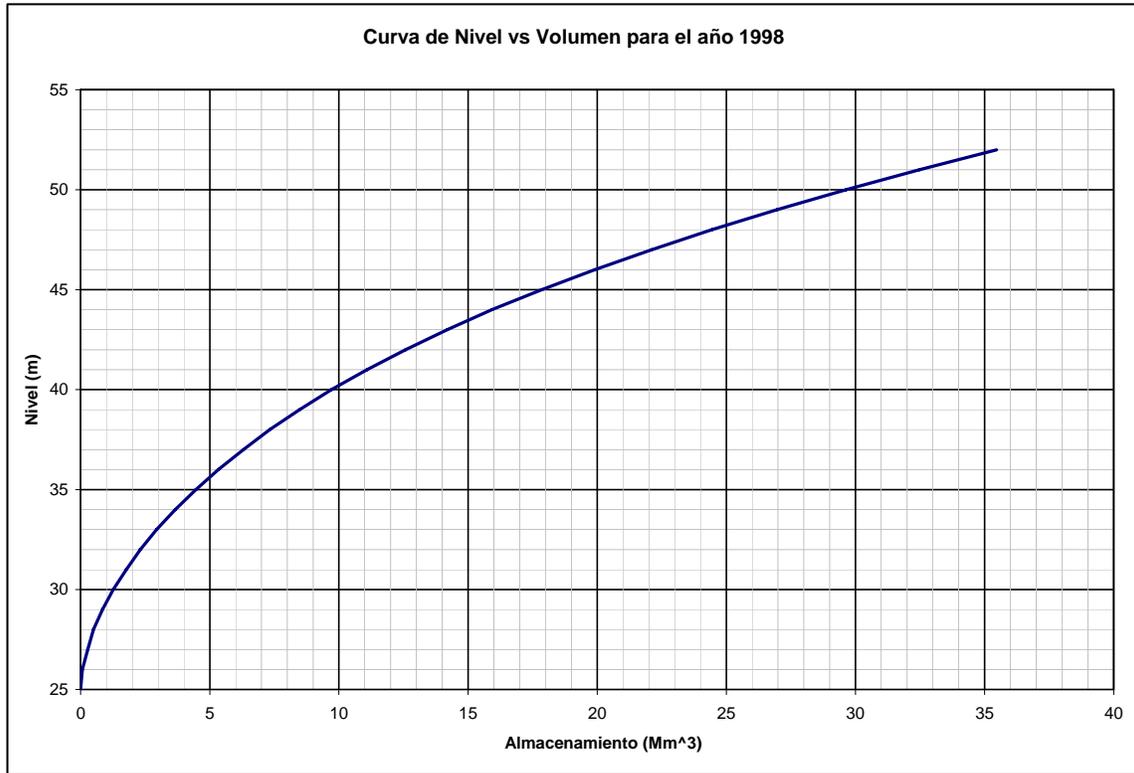


Ilustración 34: Curva de nivel vs volumen para el Embalse La Plata.

El análisis de simulación se estimó el rendimiento seguro en 50.2 MGD. La Ilustración 35 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 36 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

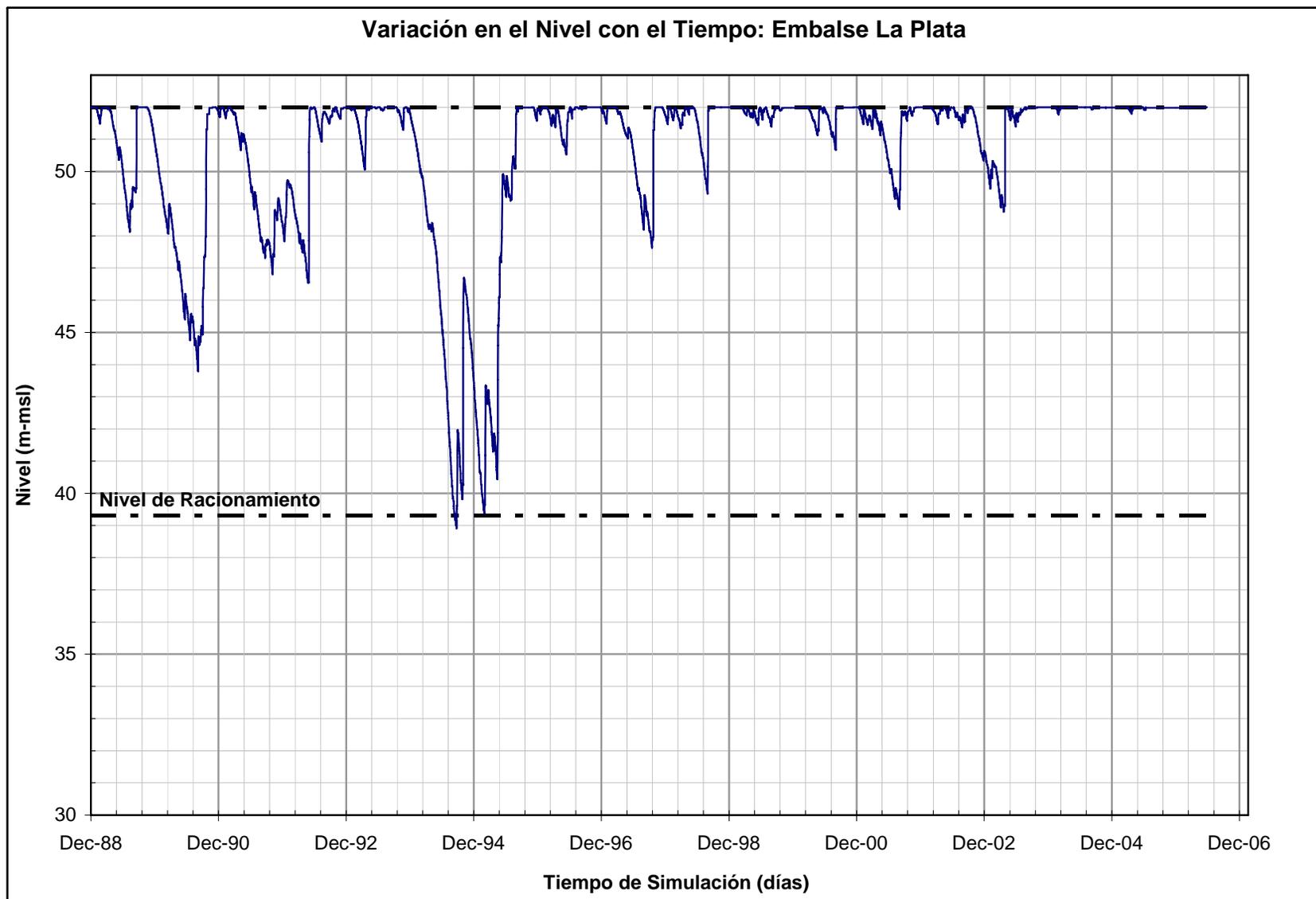


Ilustración 35: Comportamiento de nivel para el Embalse La Plata, resultante del análisis de rendimiento.

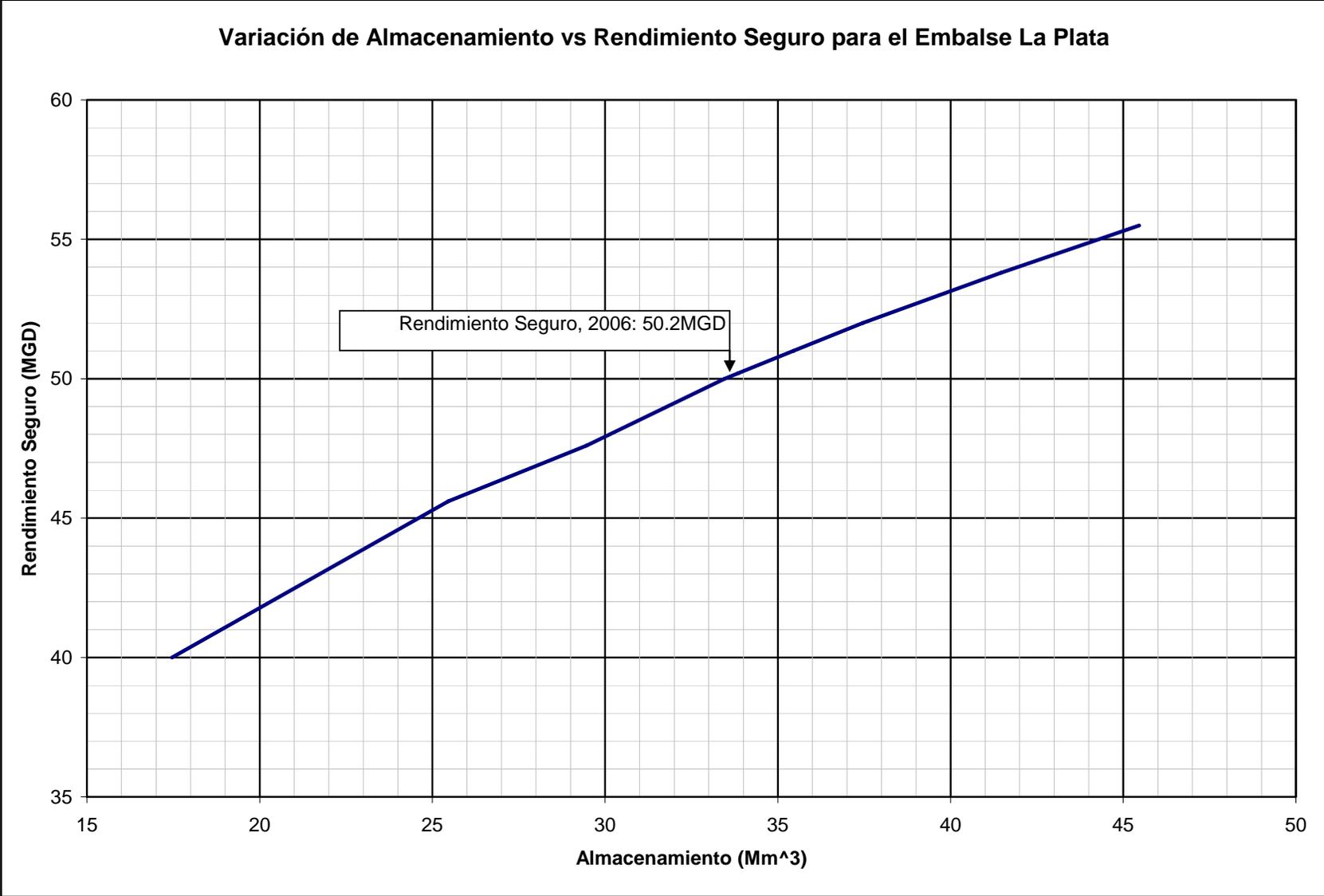


Ilustración 36: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse La Plata.

7.12. Embalse Patillas

El Embalse Patillas está ubicado en el Municipio de Patillas. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50092000, localizada en Río Grande de Patillas. Las características principales del Embalse Patillas se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16: Datos del Embalse Patillas.

Longitud de Represa (m) ^A	325.22
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	58.22
Capacidad Original, 1961 (Mm ³) ^A	17.64
Capacidad en 1997 (Mm ³) ^A	13.84
Capacidad Activa/Muerta, 1997 (Mm ³) ^A	13.84/0
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.11
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	12.85
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	12.85/0
Embalse Patillas	
Área de Captación (mi ²)	25.7
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	83.3
Caudal Promedio Estimado (cfs)	63.7
Estación del USGS: 50092000	
Área de Captación (mi ²)	18.3
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	87.6
Caudal Promedio Estimado (cfs)	51.6
Factor de Ajuste, I	1.2

^A Obtenido del informe "Sedimentation Survey of Lago Patillas, Puerto Rico, April 1997".

La Ilustración 37 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago Patillas, Puerto Rico, April 1997" (Soler-López 1999). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en nueve años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el informe del USGS.

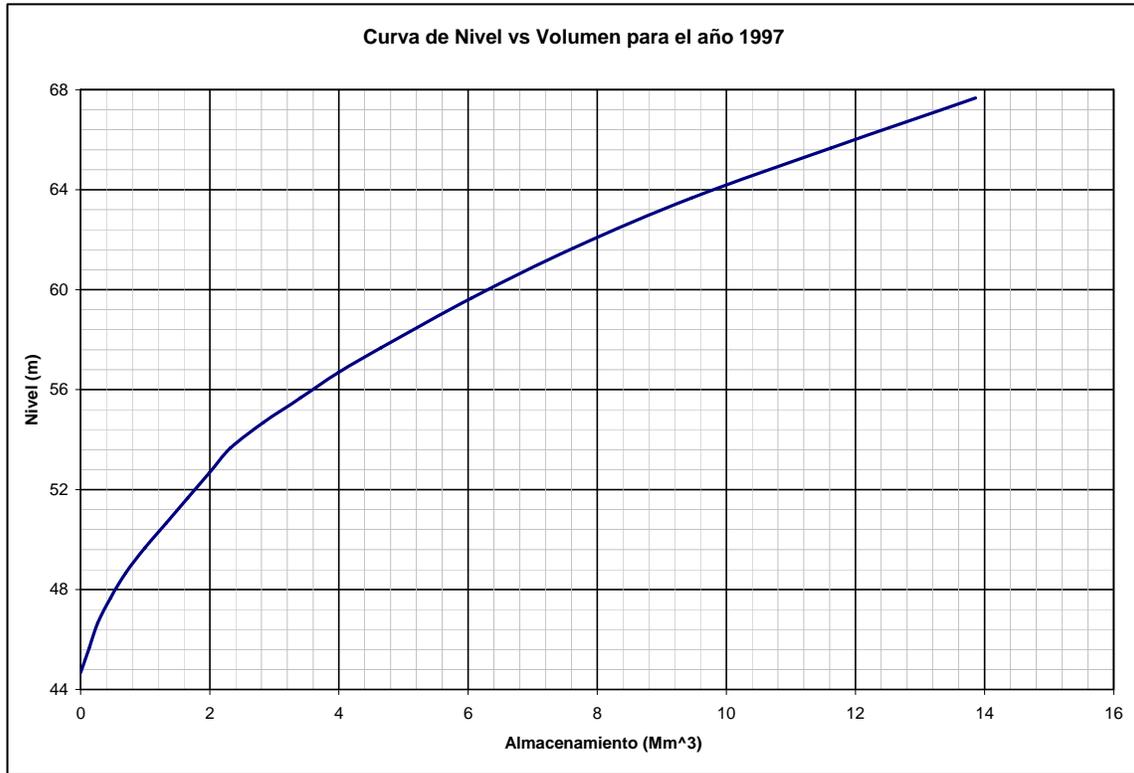


Ilustración 37: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Patillas.

El análisis de simulación estimó el rendimiento seguro en 22.7 MGD. La Ilustración 38 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 39 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

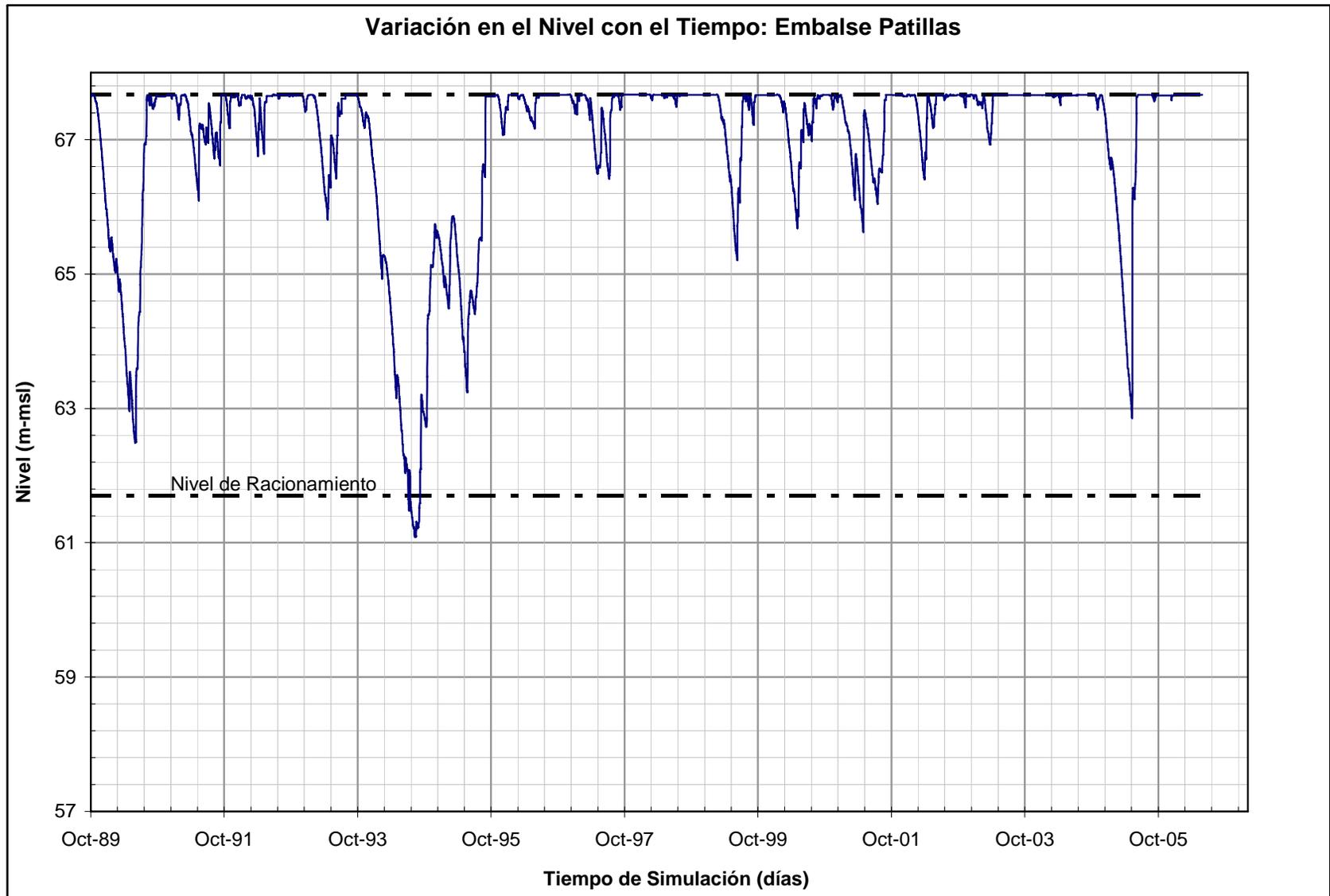


Ilustración 38: Comportamiento de nivel para el Embalse Patillas, resultante del análisis de rendimiento.

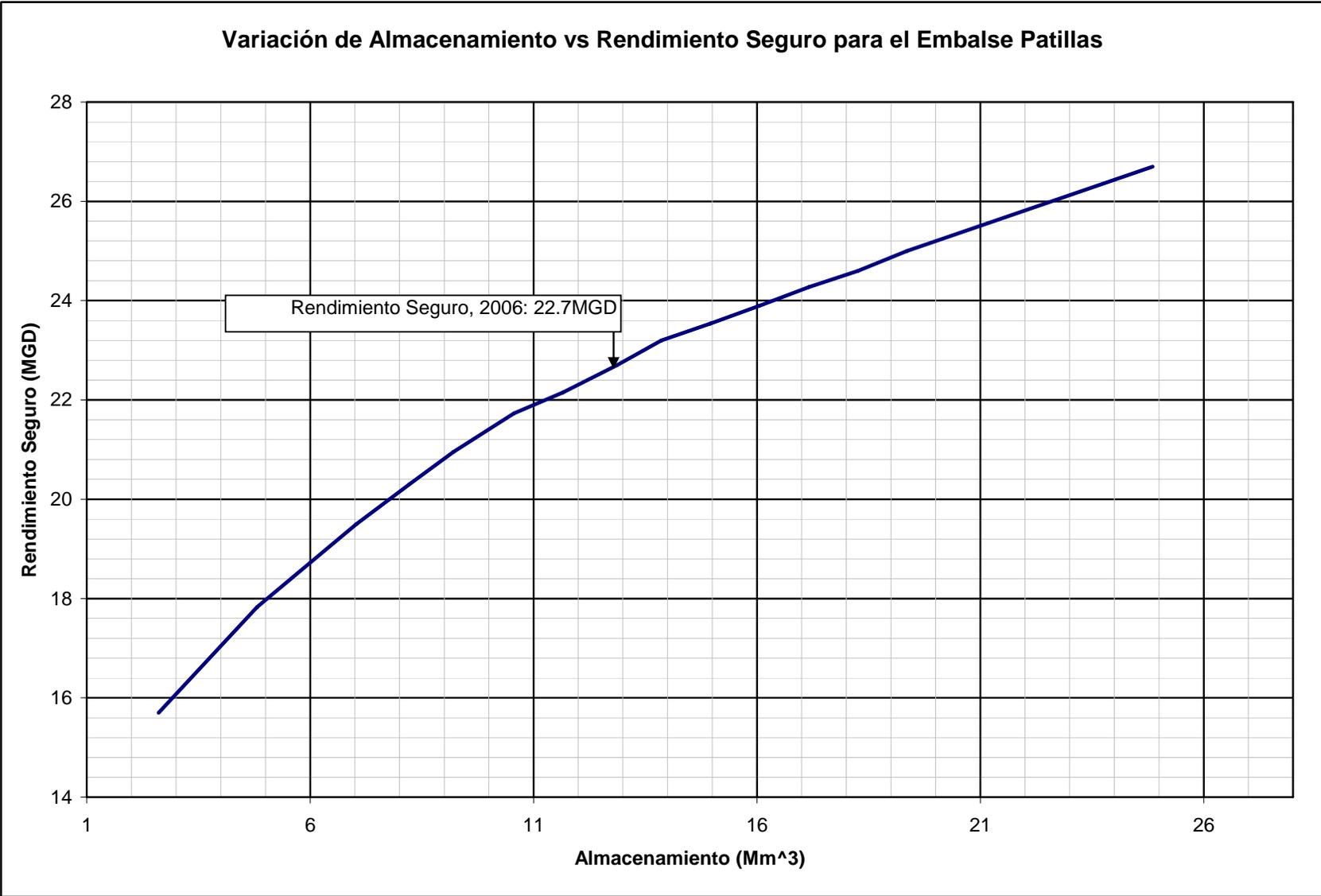


Ilustración 39: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Patillas.

7.13. Embalse Guayo

El Embalse Guayo está ubicado en el Municipio de Adjuntas. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50092000, localizada en Río Tanama en Adjuntas. Las características principales del Embalse Guayo se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17: Datos del Embalse Guayo.

Longitud de Represa (m) ^A	169.2
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	445
Capacidad Original, 1956 (Mm ³) ^A	19.2
Capacidad en 1997 (Mm ³) ^A	16.6
Capacidad Activa/Muerta, 1997 (Mm ³) ^A	15.71/0.86
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.06
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	16.06
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	15.44/0.59
Embalse Guayo	
Área de Captación (mi ²)	9.7
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	74
Caudal Promedio Estimado (cfs)	22.1
Estación del USGS: 50028000	
Área de Captación (mi ²)	18.4
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	79.5
Caudal Promedio Estimado (cfs)	51.1
Factor de Ajuste, I	0.43

^A Obtenido del informe "Sedimentation Survey of Lago Guayo, Puerto Rico, October 1997".

La Ilustración 40 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago Guayo, Puerto Rico, October 1997" (Soler-López 1999). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en nueve años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el informe del USGS.

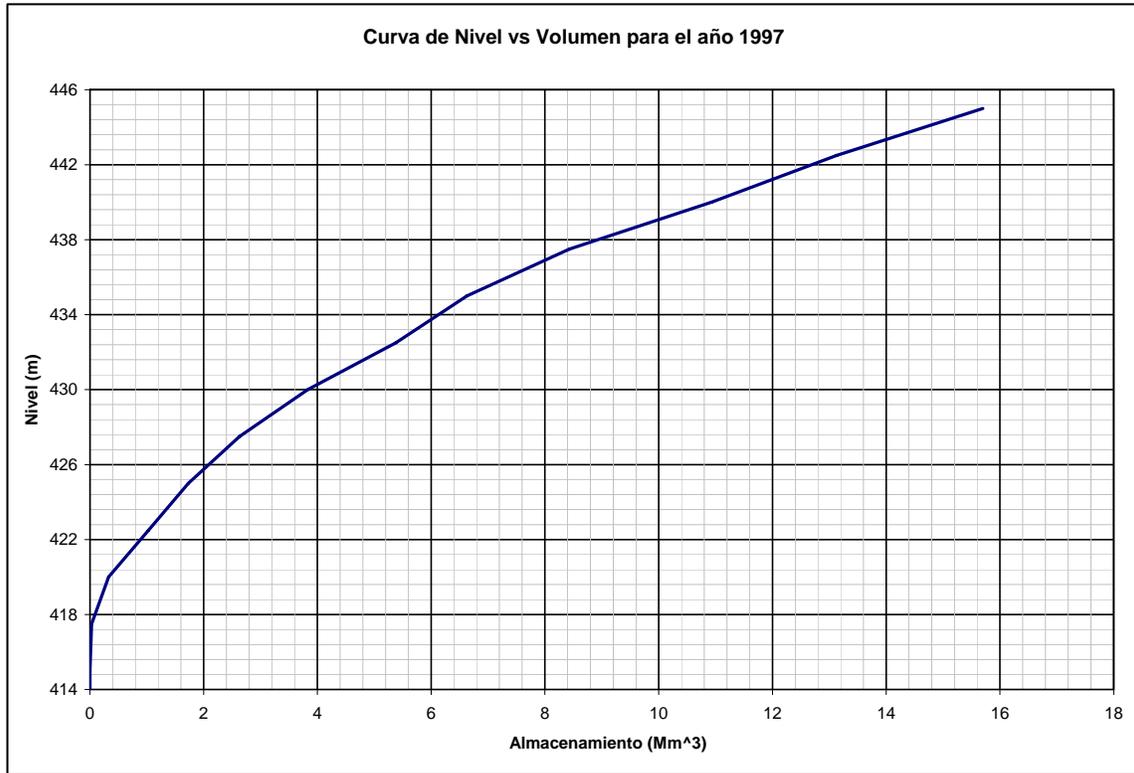


Ilustración 40: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Guayo.

El análisis de simulación estimó el rendimiento seguro en 11.9 MGD. La Ilustración 41 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 42 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

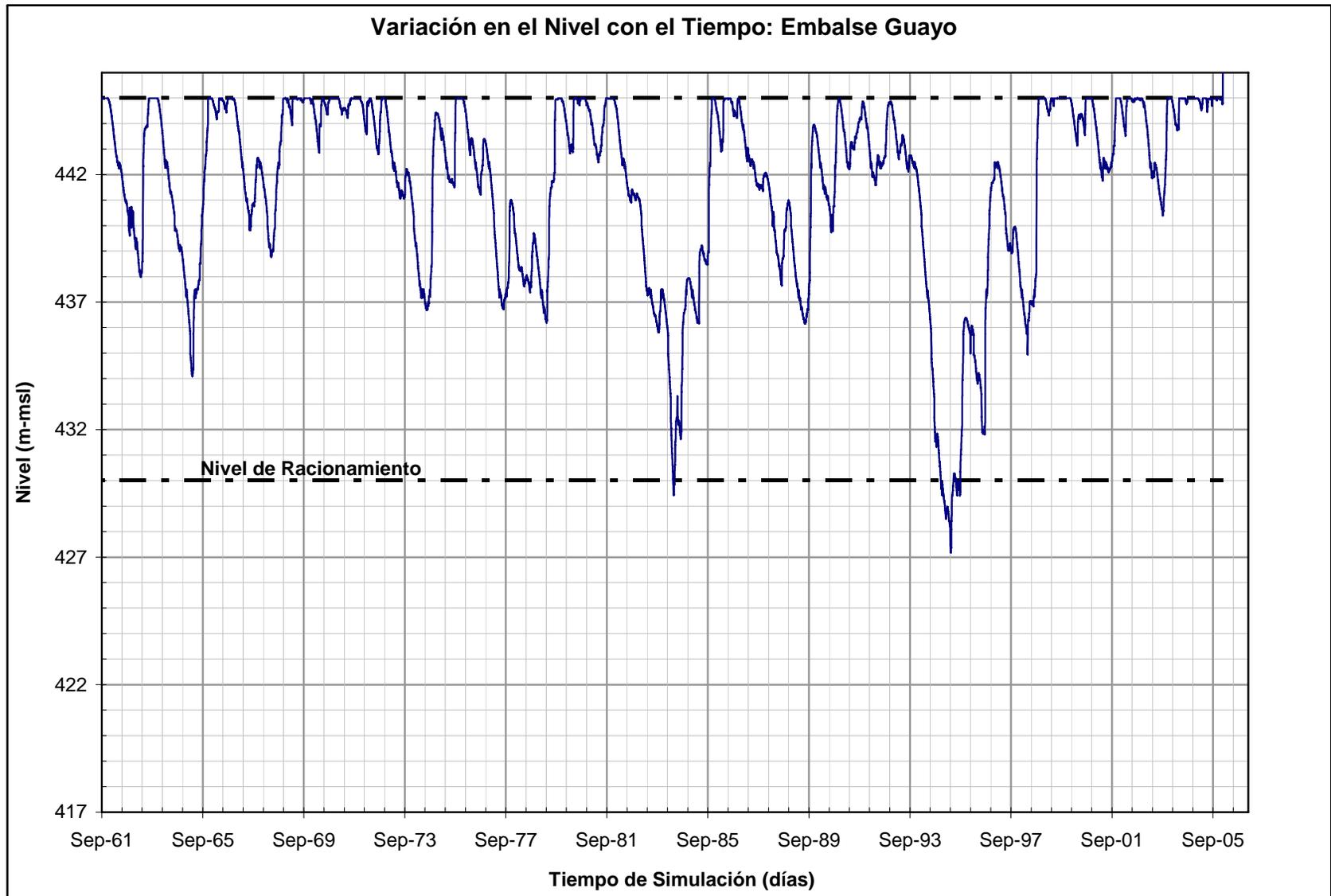


Ilustración 41: Comportamiento de nivel para el Embalse Guayo, resultante del análisis de rendimiento.

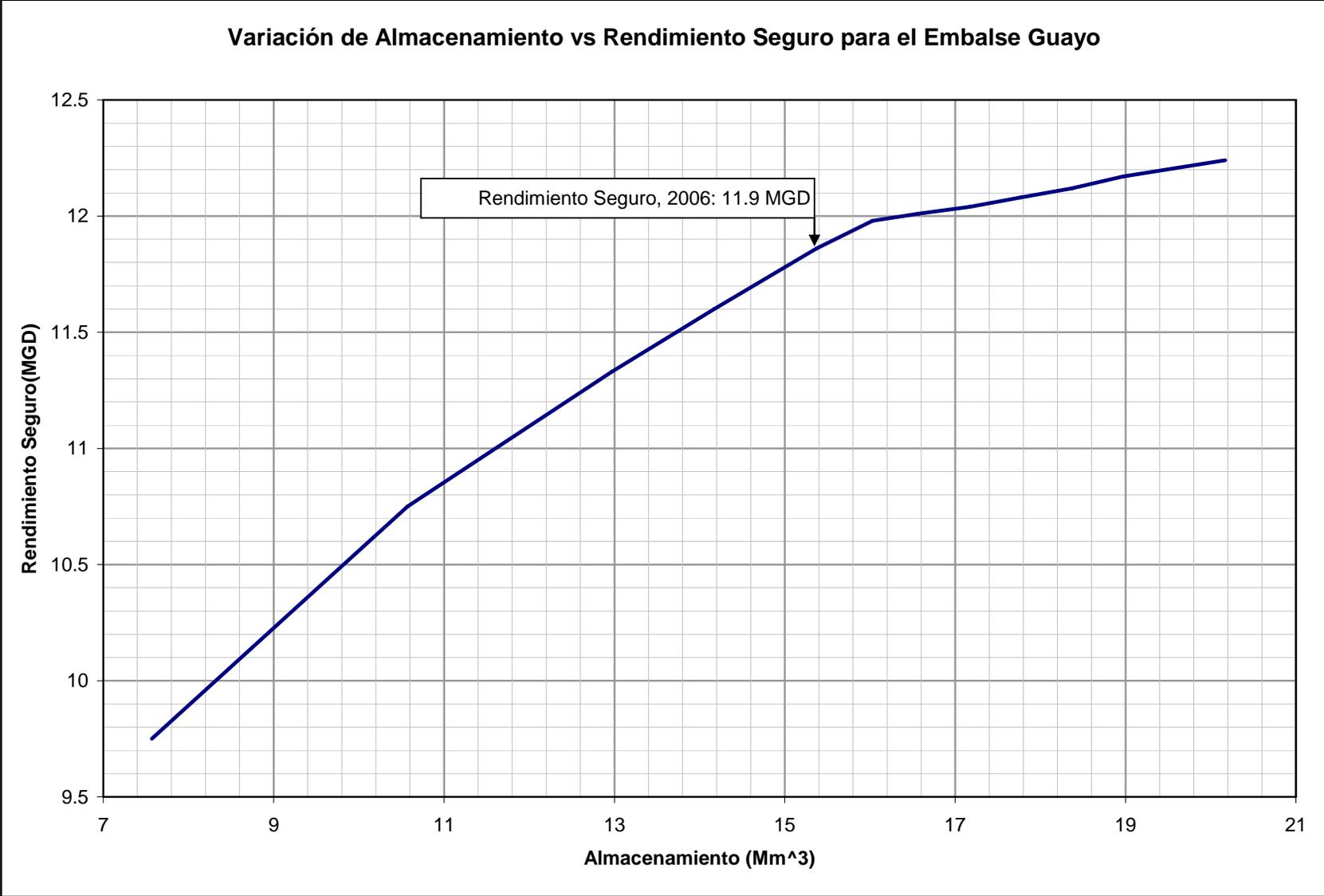


Ilustración 42: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Guayo.

7.14. Embalse Loco

Embalse Loco está ubicado en el Municipio de Yauco. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50124000, localizada en Río Guayanilla. Las características principales del Embalse Loco se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18: Datos del Embalse Loco.

Longitud de Represa (m) ^A	182.9
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	70.1
Capacidad Original, 1951 (Mm ³) ^A	2.1
Capacidad en 2000 (Mm ³) ^A	0.87
Capacidad Activa/Muerta, 2000 (Mm ³) ^A	0.87/0
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.0312
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	0.68
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	0.68/0
Embalse Loco	
Área de Captación (mi ²)	8.43
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	57
Caudal Promedio Estimado (cfs)	12.9
Estación del USGS: 50124200	
Área de Captación (mi ²)	18.9
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	81.7
Caudal Promedio Estimado (cfs)	25.9
Factor de Ajuste, I	0.5

^A Obtenido del Informe "Sedimentation Survey of Lago Loco, Puerto Rico, March 2000".

La Ilustración 43 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago Loco, Puerto Rico, March 2000" (Soler-López 2001c). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en seis años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el Informe del USGS.

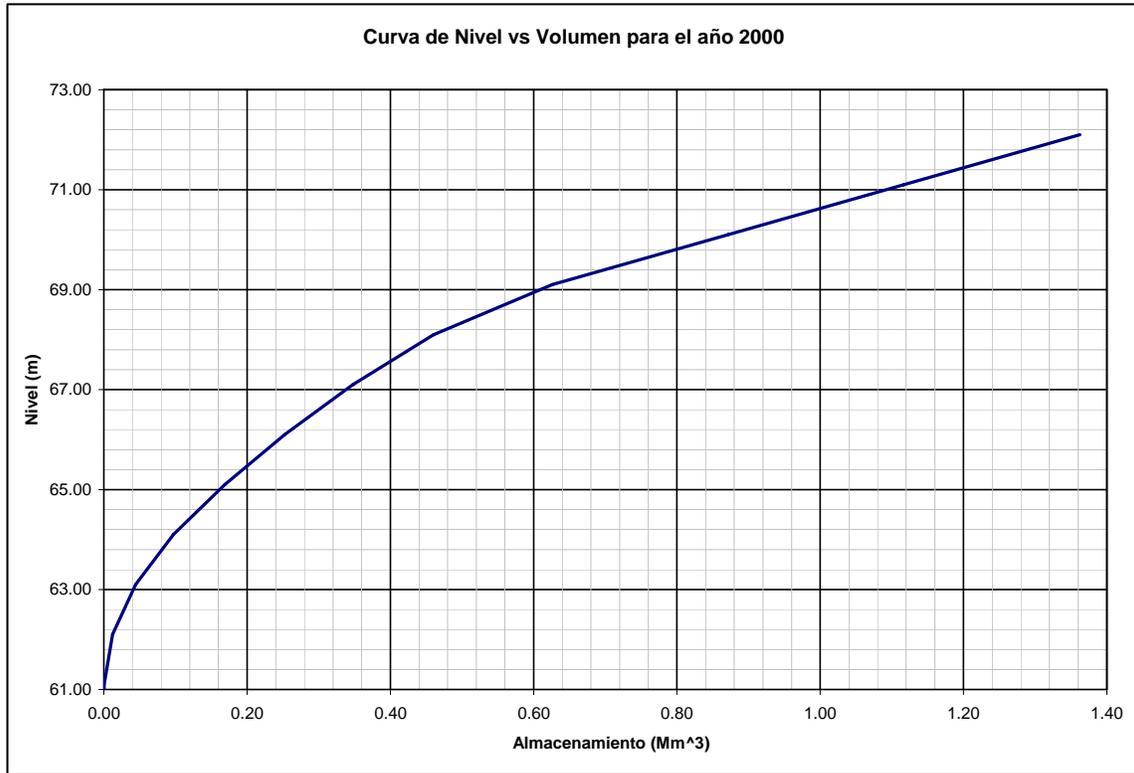


Ilustración 43: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Loco.

El análisis de simulación estimó el rendimiento seguro en 1.84 MGD. La Ilustración 44 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 45 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

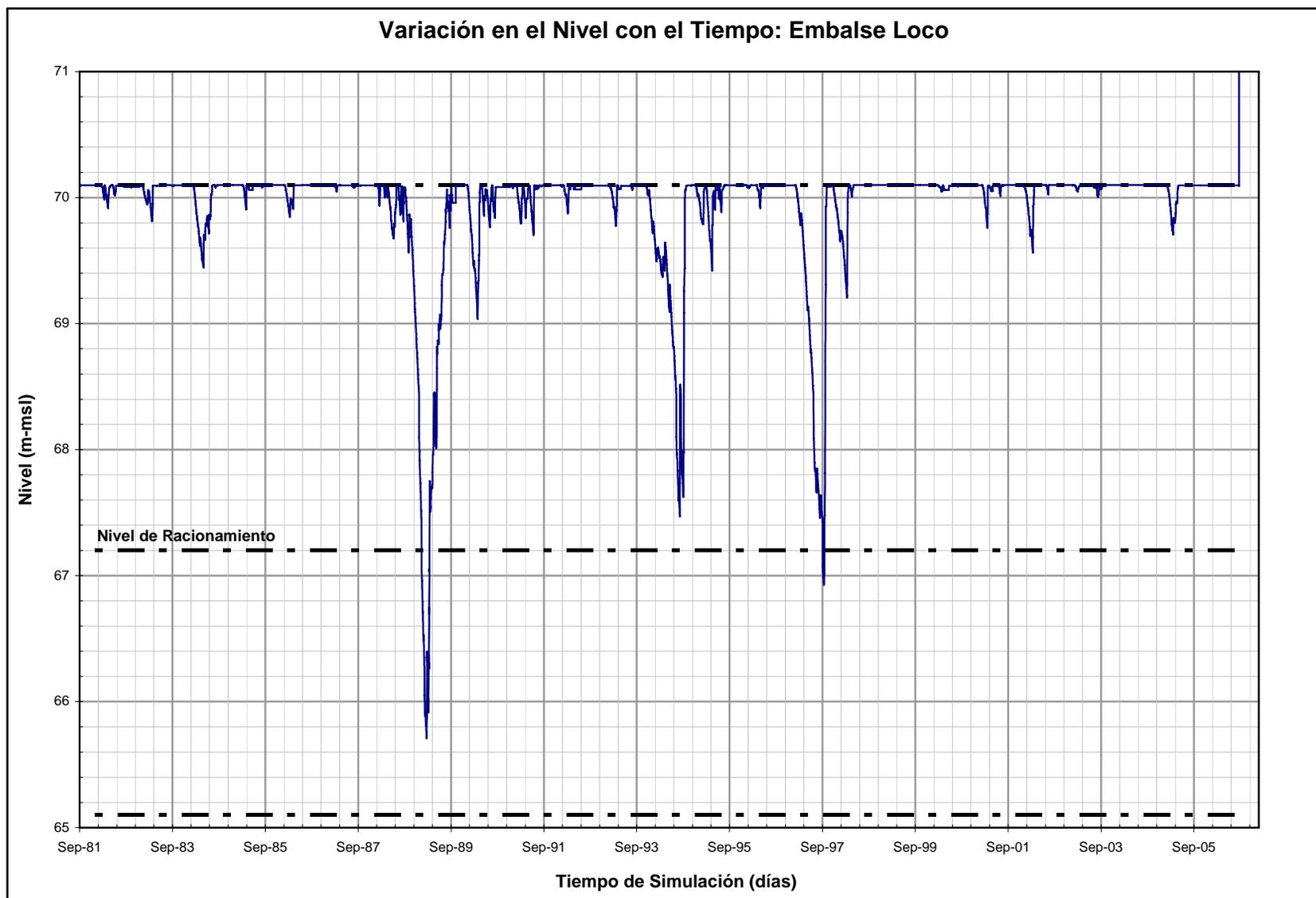


Ilustración 44: Comportamiento de nivel para el Embalse Loco, resultante del análisis de rendimiento.

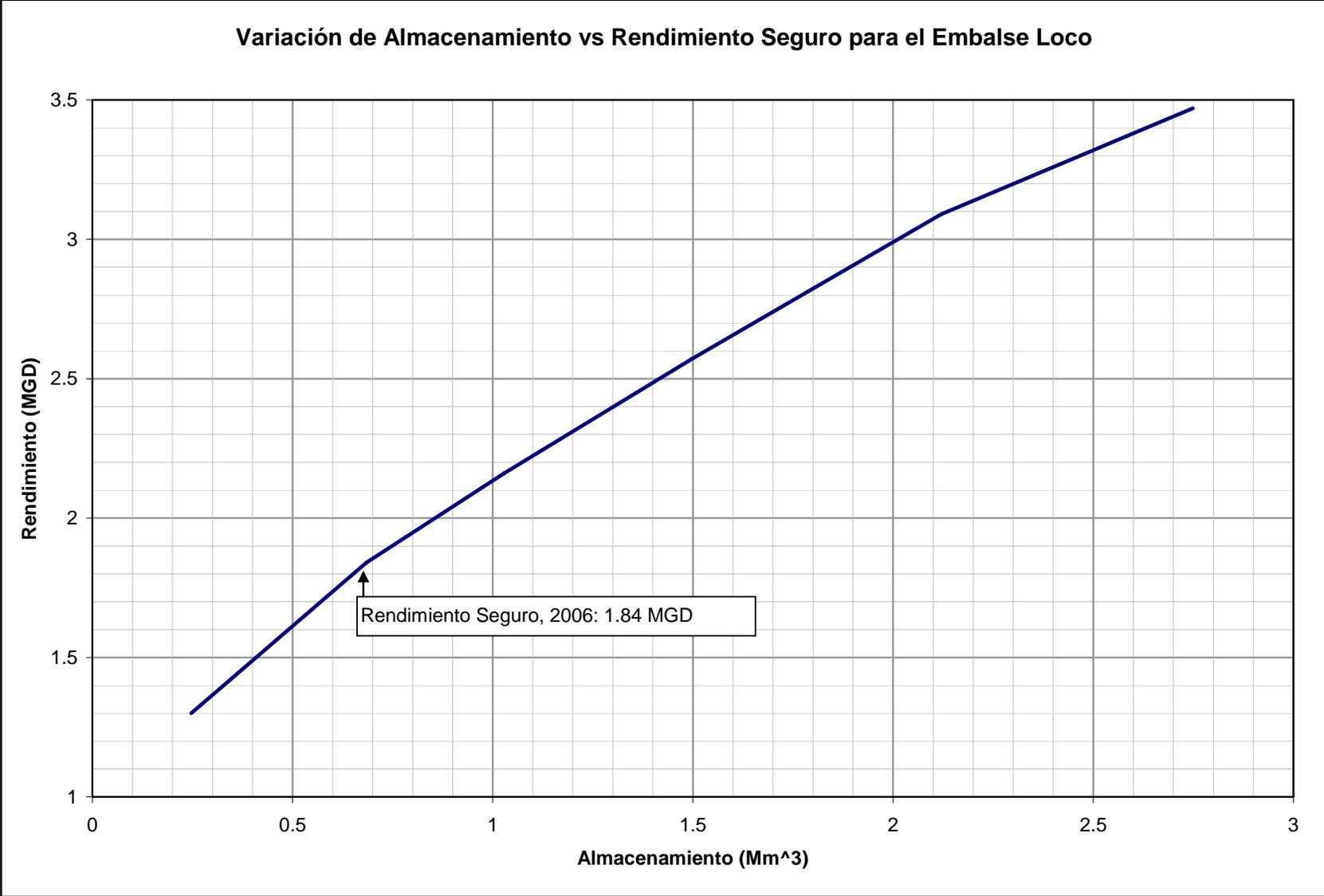


Ilustración 45: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Loco.

7.15. Embalse Lucchetti

Embalse Lucchetti está ubicado en el Municipio de Yauco. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50124000, localizada en Río Guayanilla. Las características principales del Embalse Lucchetti se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19: Datos del Embalse Lucchetti.

Longitud de Represa (m) ^A	174.04
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	173.74
Capacidad Original, 1952 (Mm ³) ^A	20.35
Capacidad en 2000 (Mm ³) ^A	11.88
Capacidad Activa/Muerta, 2000 (Mm ³) ^A	11.88/0
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.18
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	10.8
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	10.8/0
Embalse Lucchetti	
Área de Captación (mi ²)	17.4
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	72
Caudal Promedio Estimado (cfs)	35.1
Estación del USGS: 50124200	
Área de Captación (mi ²)	18.9
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	81.7
Caudal Promedio Estimado (cfs)	25.9
Factor de Ajuste, I	1.4

^A Obtenido del informe "Sedimentation Survey of Lago Lucchetti, Puerto Rico, March 2000".

La Ilustración 46 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago Lucchetti, Puerto Rico, March 2000" (Soler-López 2001a). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en seis años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el Informe del USGS.

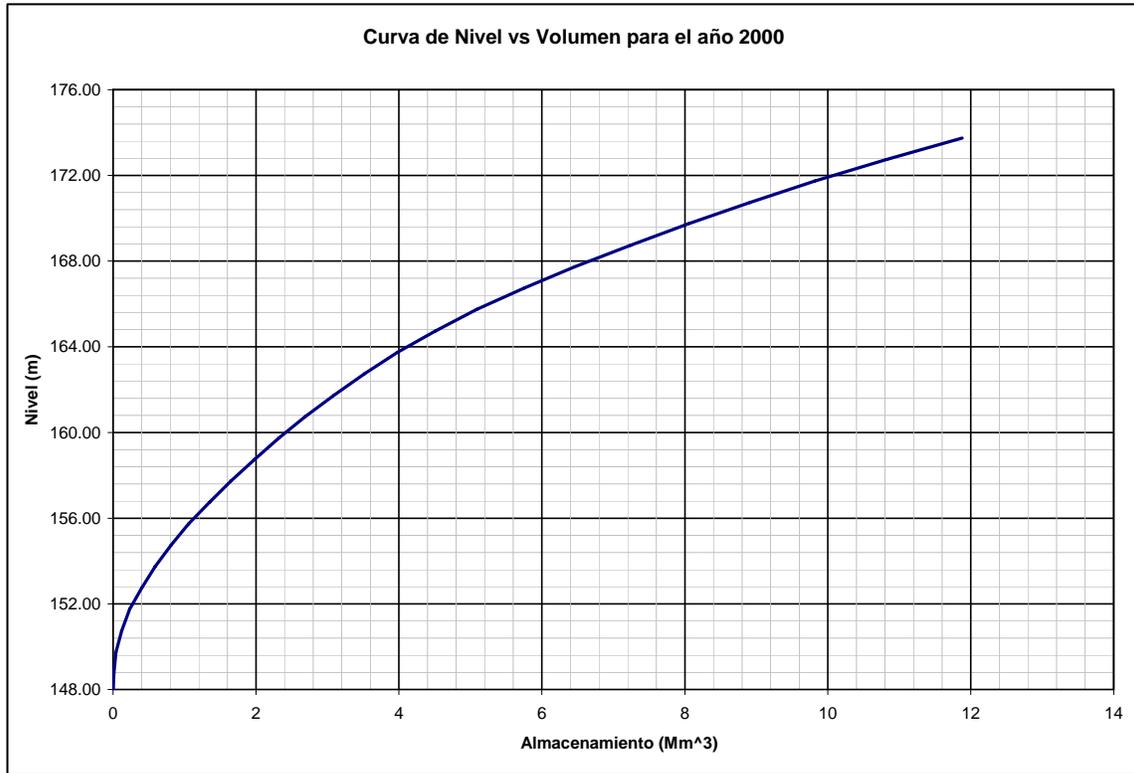


Ilustración 46: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Lucchetti.

El análisis de simulación estimó el rendimiento seguro en 11.7 MGD. La Ilustración 47 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 48 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

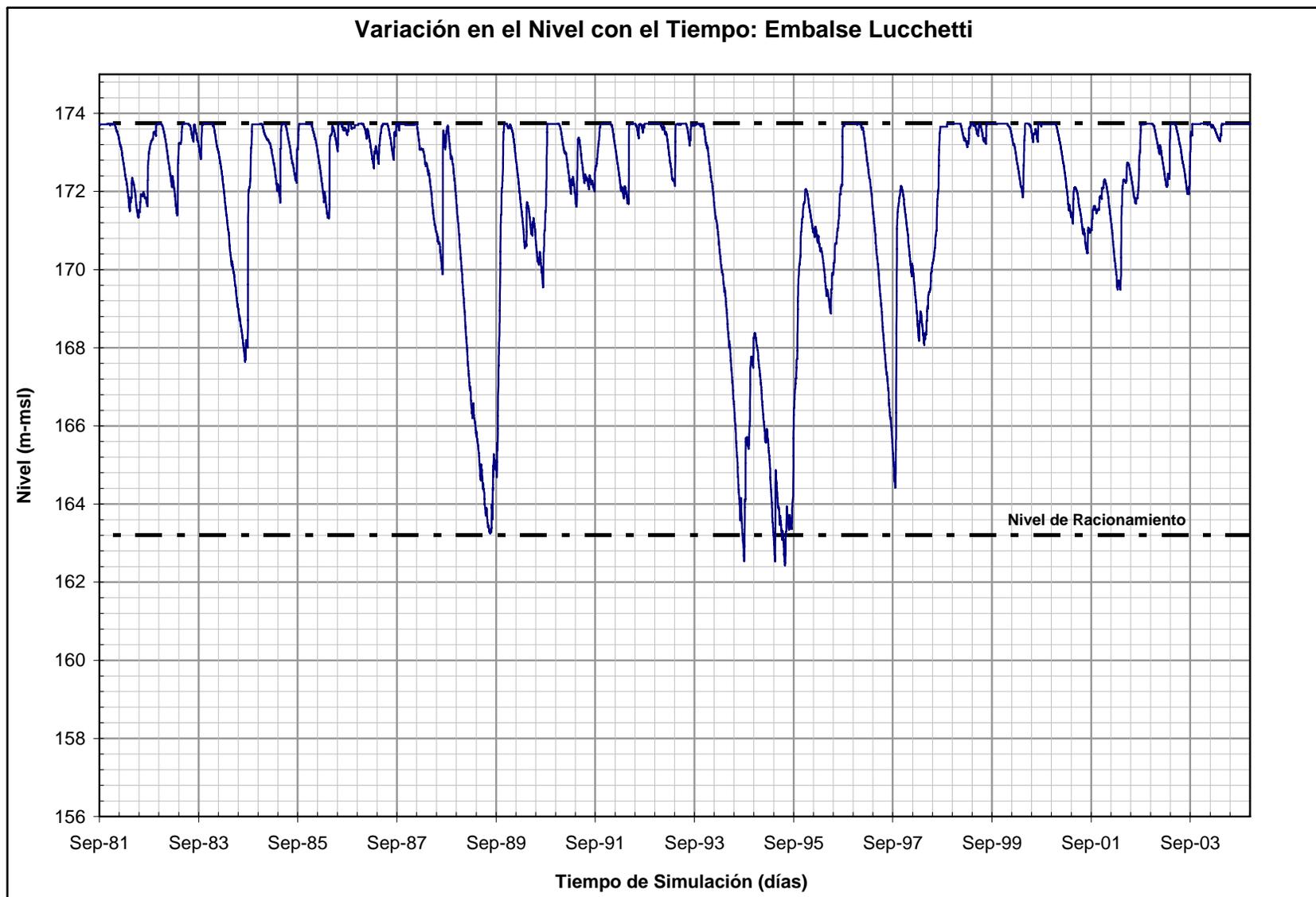


Ilustración 47: Comportamiento de nivel para el Embalse Lucchetti, resultante del análisis de rendimiento.

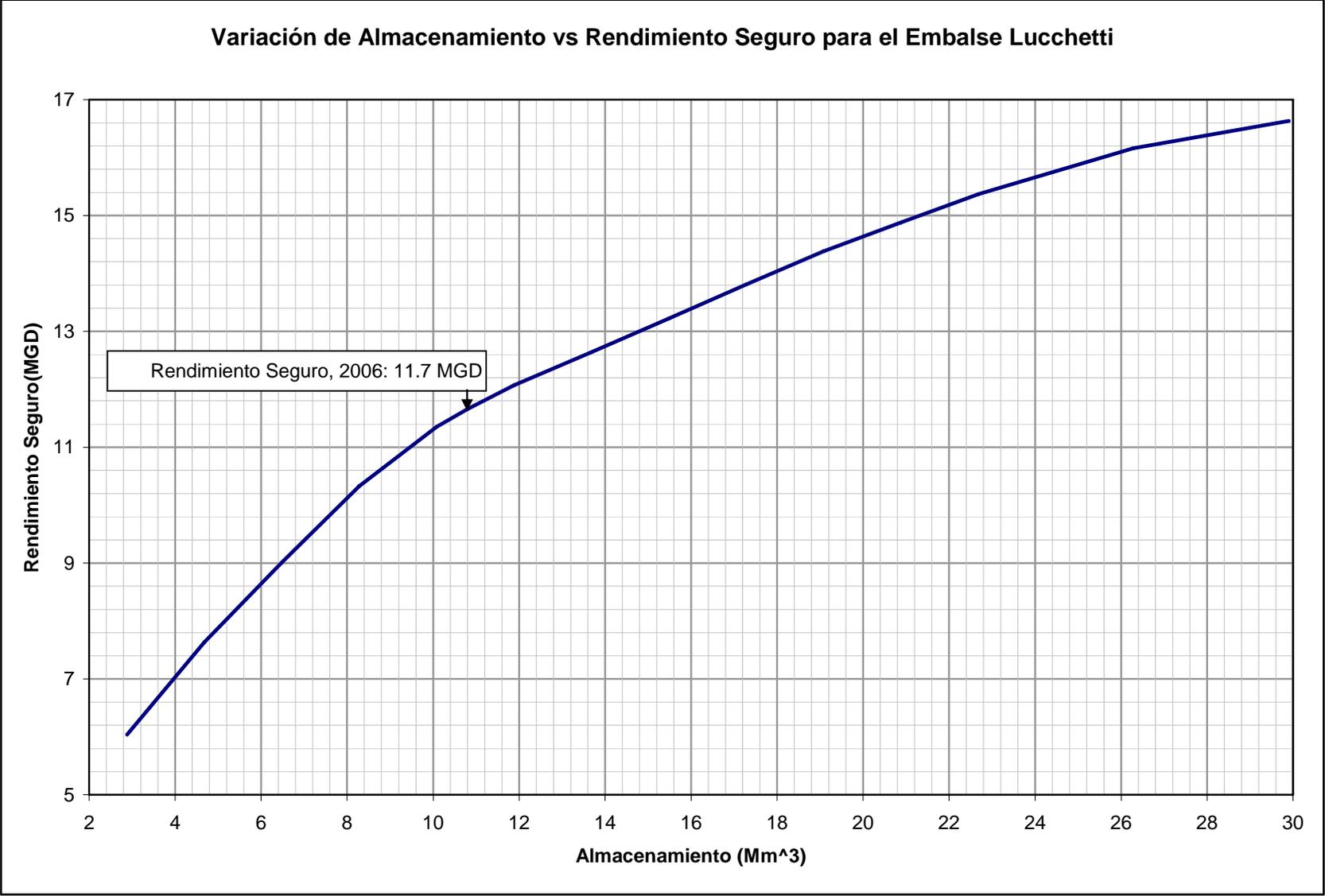


Ilustración 48: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Lucchetti.

7.16. Embalse Prieto

Embalse Prieto está ubicado en el Municipio de Adjuntas. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50025000, localizada en Río Tanama. Las características principales del Embalse Prieto se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20: Datos del Embalse Prieto.

Longitud de Represa (m) ^A	75.25
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	452.63
Capacidad Original, 1955 (Mm ³) ^A	0.766
Capacidad en 1997 (Mm ³) ^A	0.22
Capacidad Activa/Muerta, 1997 (Mm ³) ^A	0.22/0
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.0129
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	0.11
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	0.11/0
Embalse Prieto	
Área de Captación (mi ²)	9.5
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	77
Caudal Promedio Estimado (cfs)	23.1
Estación del USGS: 50025000	
Área de Captación (mi ²)	18.4
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	79.5
Caudal Promedio Estimado (cfs)	51.1
Factor de Ajuste, I	0.45

^A Obtenido del informe "Sedimentation Survey of Lago Prieto, Puerto Rico, October 1997".

La Ilustración 49 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago Prieto, Puerto Rico, October 1997" (Soler-Lópea y Webb, 1999). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en nueve años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el informe del USGS.

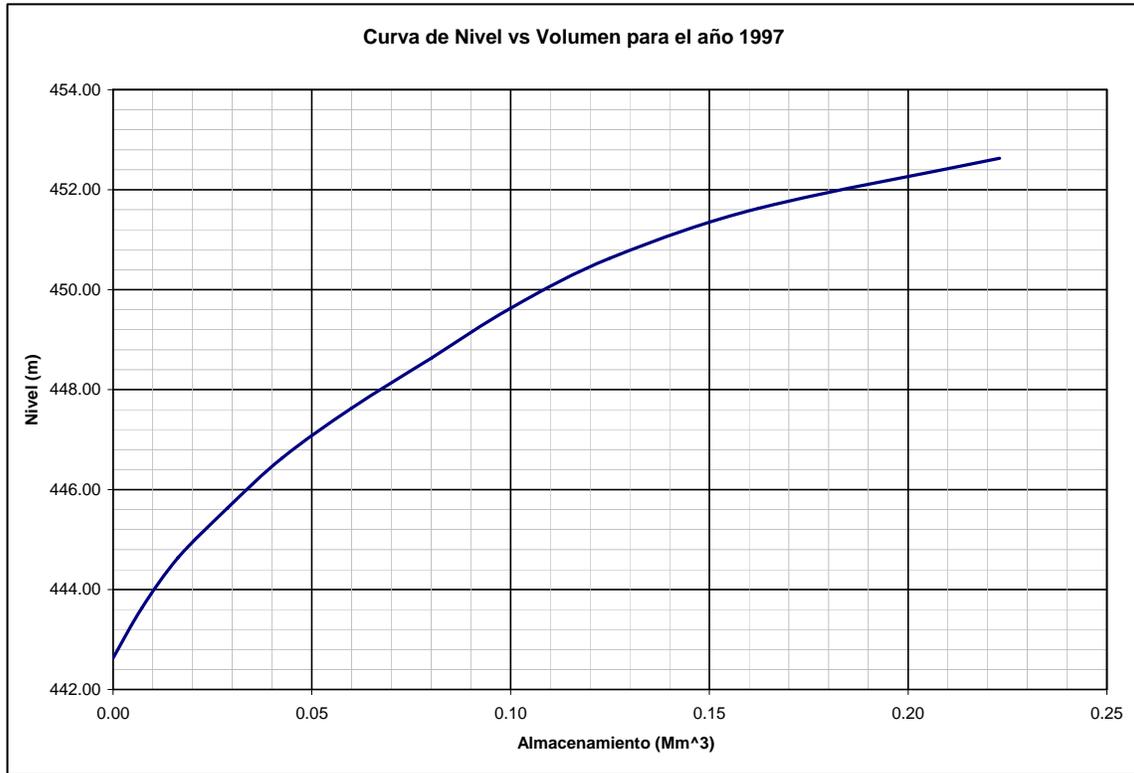


Ilustración 49: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Prieto.

El análisis de simulación estimó el rendimiento seguro en 4.2 MGD. La Ilustración 50 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 51 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

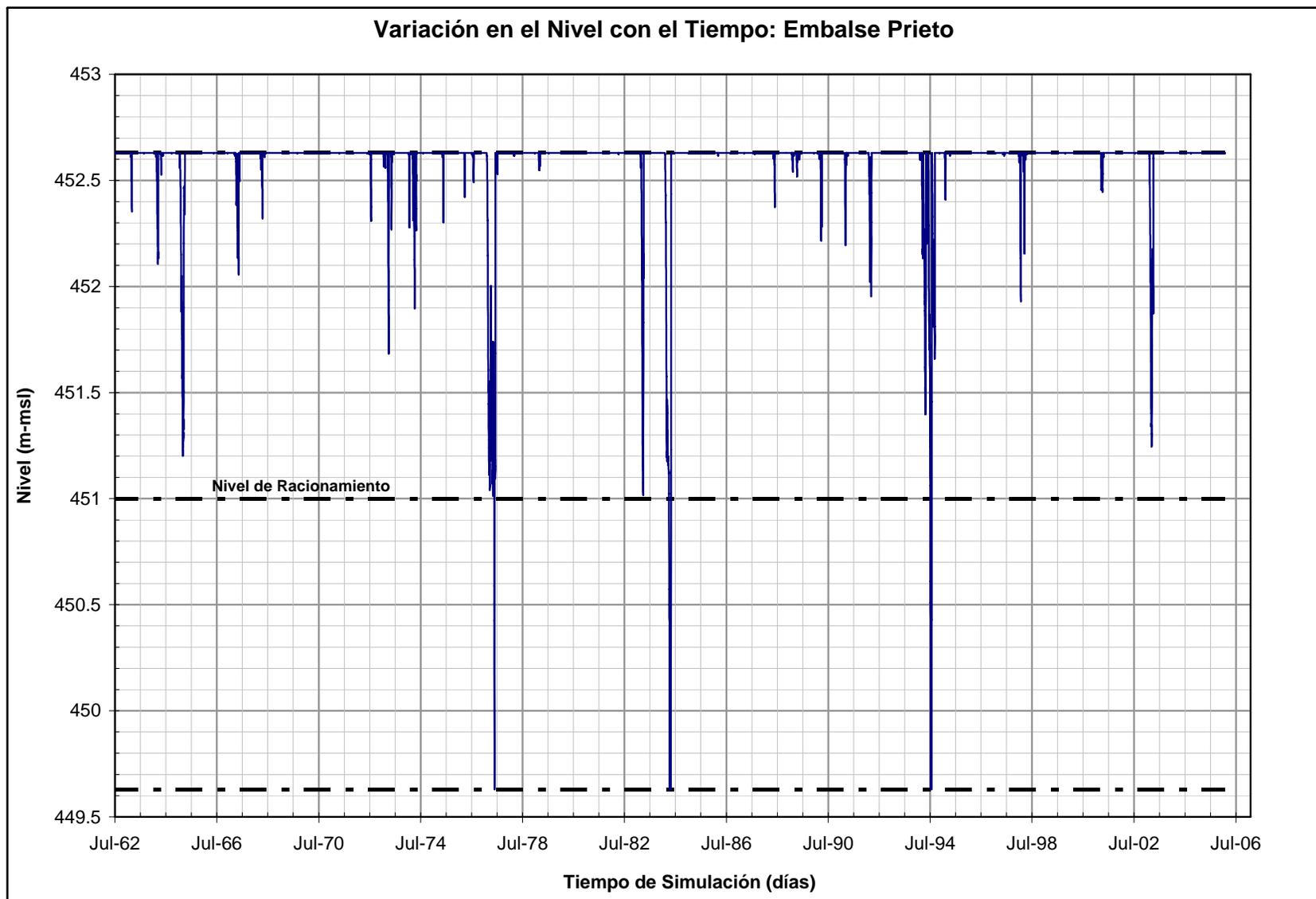


Ilustración 50: Comportamiento de nivel para el Embalse Prieto, resultante del análisis de rendimiento.

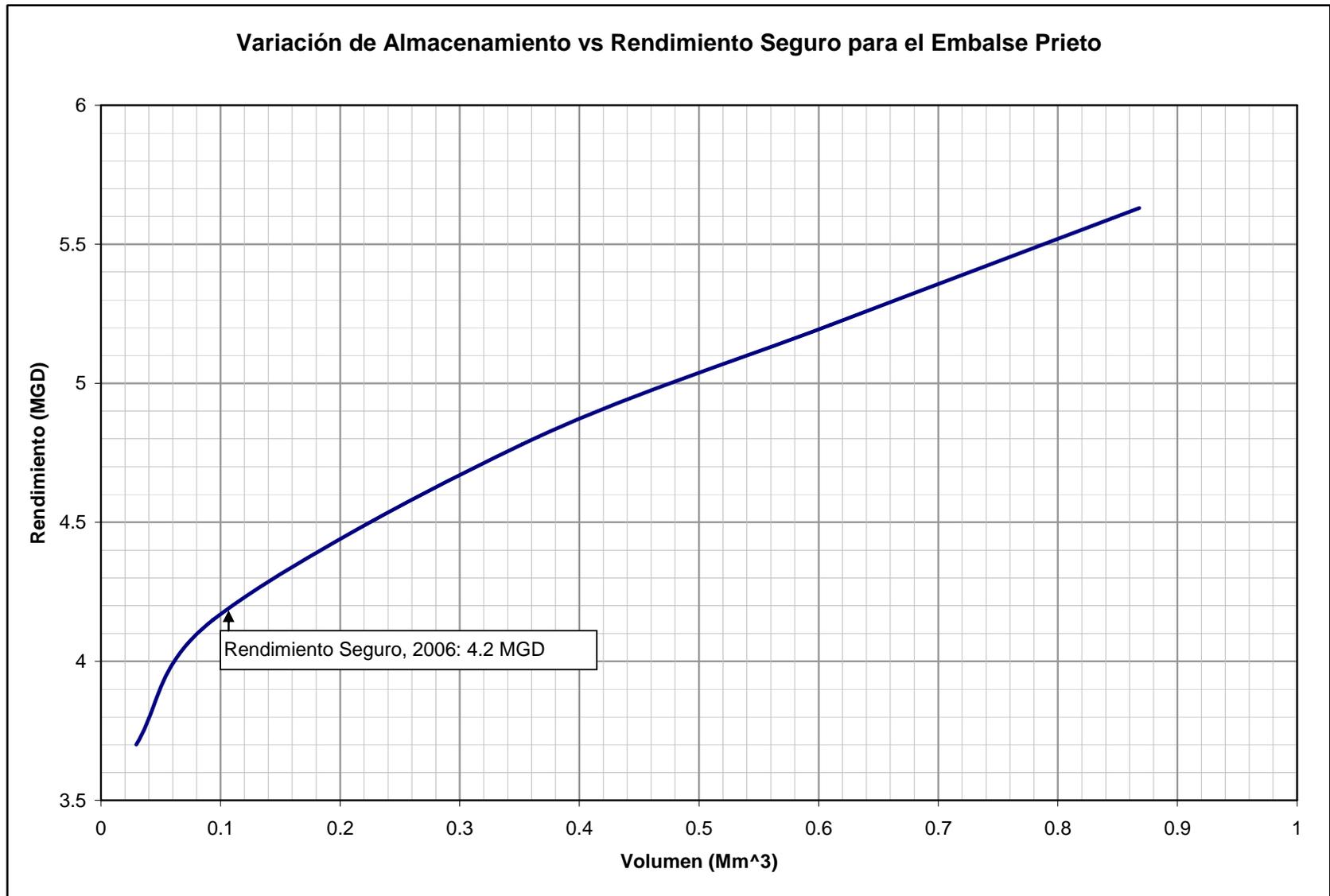


Ilustración 51: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Prieto.

7.17. Embalse Yahuecas

El Embalse Yahuecas está ubicado en el Municipio de Adjuntas. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50025000, localizada en el Río Tanamá. Las características principales del Embalse Yahuecas se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21: Datos del Embalse Yahuecas.

Longitud de Represa (m) ^A	137.16
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	448.36
Capacidad Original, 1956 (Mm ³) ^A	1.76
Capacidad en 1997 (Mm ³) ^A	0.33
Capacidad Activa/Muerta, 1997 (Mm ³) ^A	0.33/0
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.0348
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	0.0168
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	0.0168/0
Embalse Yahuecas	
Área de Captación (mi ²)	17.4
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	76
Caudal Promedio Estimado (cfs)	38.2
Estación del USGS: 50053025	
Área de Captación (mi ²)	18.4
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	79.5
Caudal Promedio Estimado (cfs)	51.1
Factor de Ajuste, I	0.75

^A Obtenido del informe "Sedimentation Survey of Lago Yahuecas, Puerto Rico, March 1997".

A base del volumen y la tasa de pérdida en capacidad informada por Soler-López y Webb (1998), ya para el año 2007 el Embalse Yahuecas debe estar completamente sedimentado. Esto implica que el rendimiento seguro igualaría el rendimiento del río en ese punto.

El análisis para el rendimiento seguro del río puede determinarse mediante análisis de excedencia utilizando los datos de flujo ajustados, para tener una consistencia con los demás cuatro embalses del sistema. La Tabla 22 y la Ilustración 52 muestran los resultados de este análisis.

Tabla 22: Análisis de Excedencia de Flujos.

Porcentaje de Excedencia	Flujo (ft ³ /s)	Flujo (MGD)
90%	12.75	8.24
95%	10.5	6.79
98%	8.25	5.33
99%	7.5	4.85

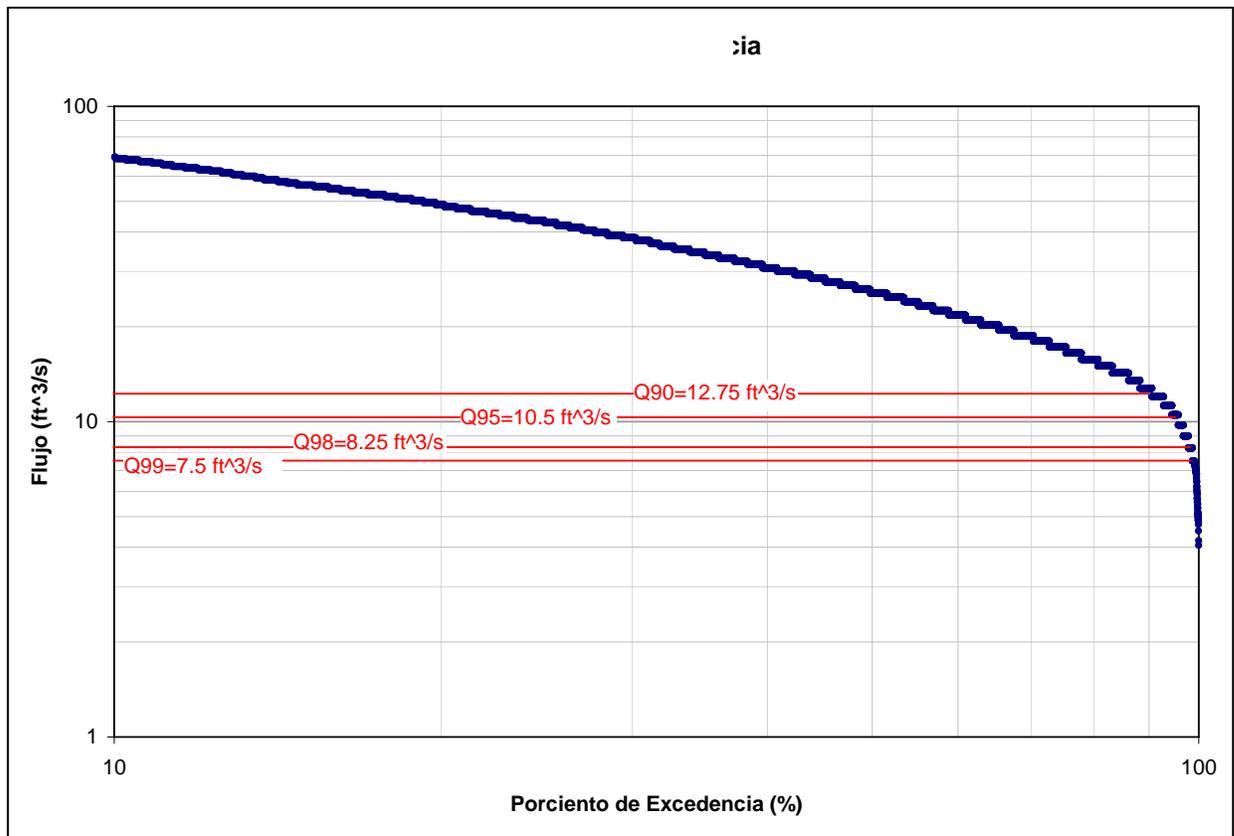


Ilustración 52: Análisis de Excedencia.

7.18. Sistema de Riego del Valle de Lajas

La fuente de abasto para el Sistema de Riego del Valle de Lajas consiste en cinco represas utilizadas para generar energía eléctrica y suplir agua a través del canal del Valle de Lajas. Estas cinco represas están interconectadas entre si por medio de túneles, y la transferencia de flujo entre estos embalses está controlada por las plantas generadoras de electricidad Yauco I y Yauco II.

El rendimiento seguro de este sistema de embalses se determinó para dos condiciones:

1. Rendimiento seguro mínimo (suma de los embalses individuales), y
2. Rendimiento seguro con operación optimizada.

El rendimiento seguro mínimo consiste en la suma de los rendimientos de cada embalse en el sistema operado individualmente, según descrito anteriormente en las secciones 7.13, 7.14, 7.15, 7.16 y 7.17. Sin embargo, el rendimiento del sistema aumenta al operar los embalses en conjunto, según analizado en esta sección.

El rendimiento seguro con operación optimizada consiste en un análisis en el que la contribución de cada embalse depende del volumen de almacenaje en comparación con el volumen total del sistema. La contribución es determinada para cada fracción de tiempo de la simulación. Este análisis se realizó utilizando el programa del Cuerpo de Ingenieros HEC-ResSim (Reservoir System Simulation).

La Tabla 23 muestra los resultados de ambos análisis. Las Ilustraciones 47-52 muestran el comportamiento de los niveles para los cinco embalses del sistema que corresponden a la simulación del sistema por el modelo HEC-ResSim.

Tabla 23: Rendimiento Seguro para el Sistema del Valle de Lajas.

Embalse	Rendimiento Seguro (MGD)
Loco	1.9
Lucchetti	11.7
Guayo	11.9
Prieto	4.2
Yahuecas	<u>4.8</u>
Suma de los embalses individuales	34.5
Rendimiento operando como sistema	44.0

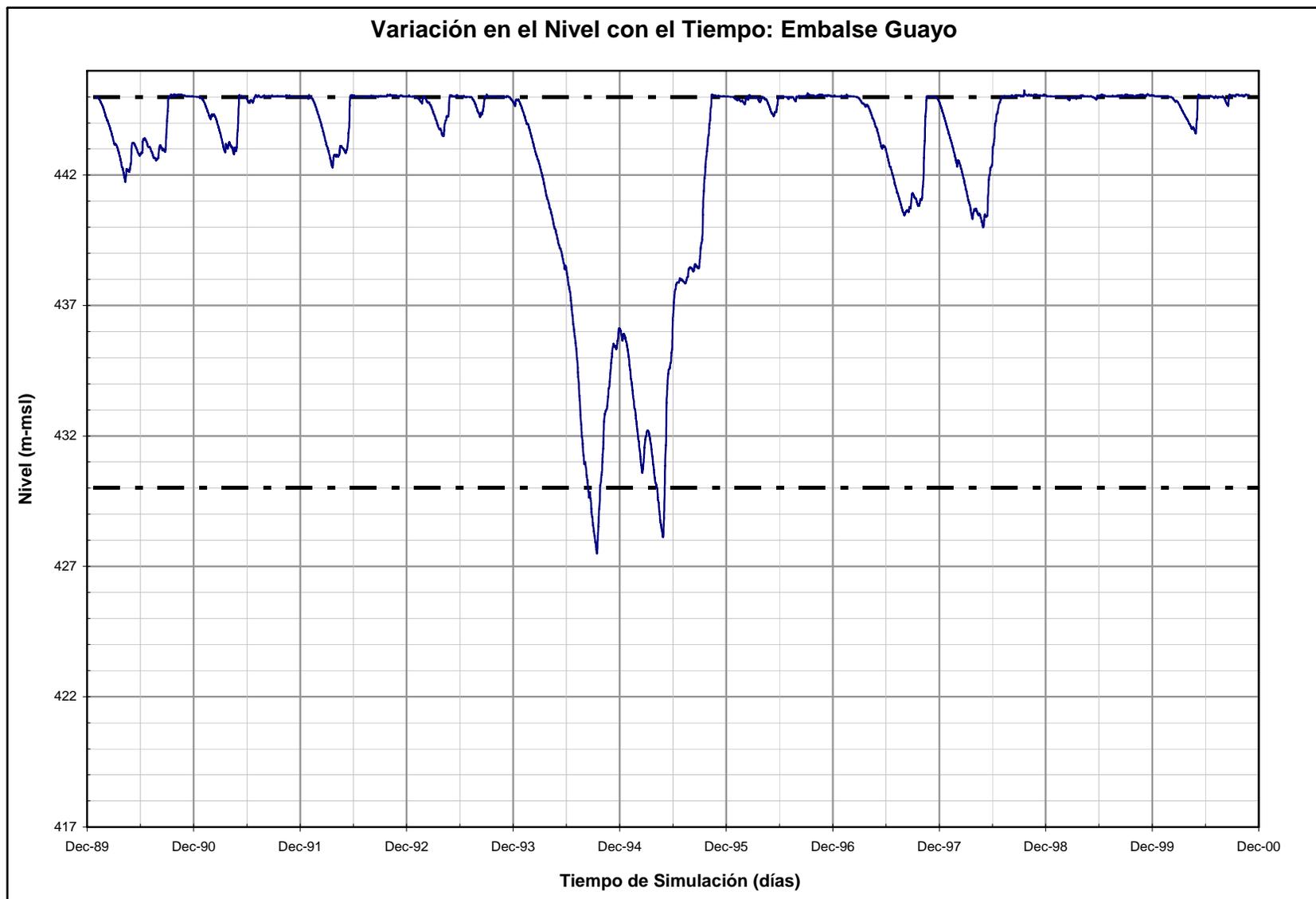


Ilustración 53: Comportamiento de nivel para el Embalse Guayo, resultante del modelo HEC-ResSim.

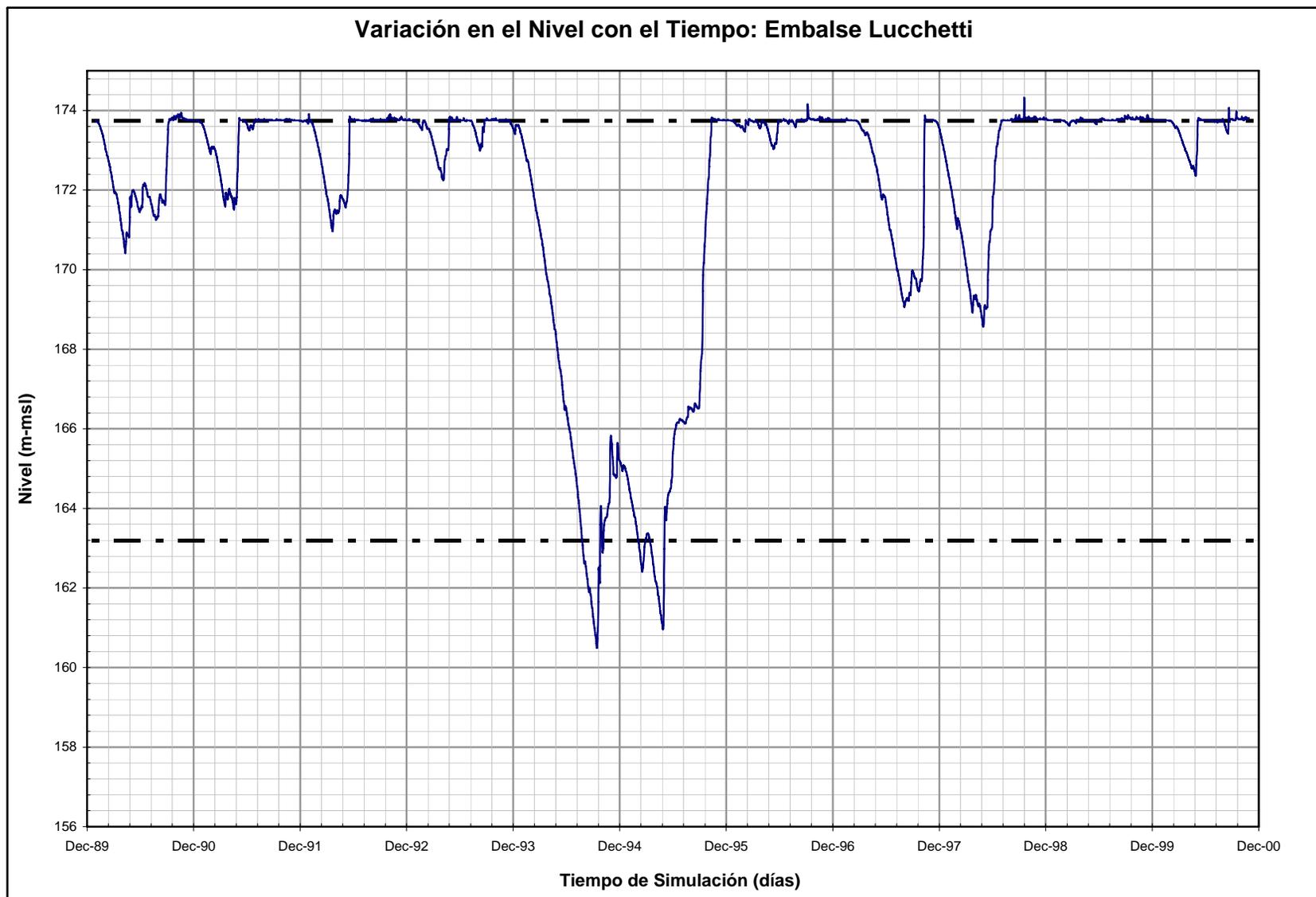


Ilustración 54: Comportamiento de nivel para el Embalse Lucchetti, resultante del modelo HEC-ResSim.

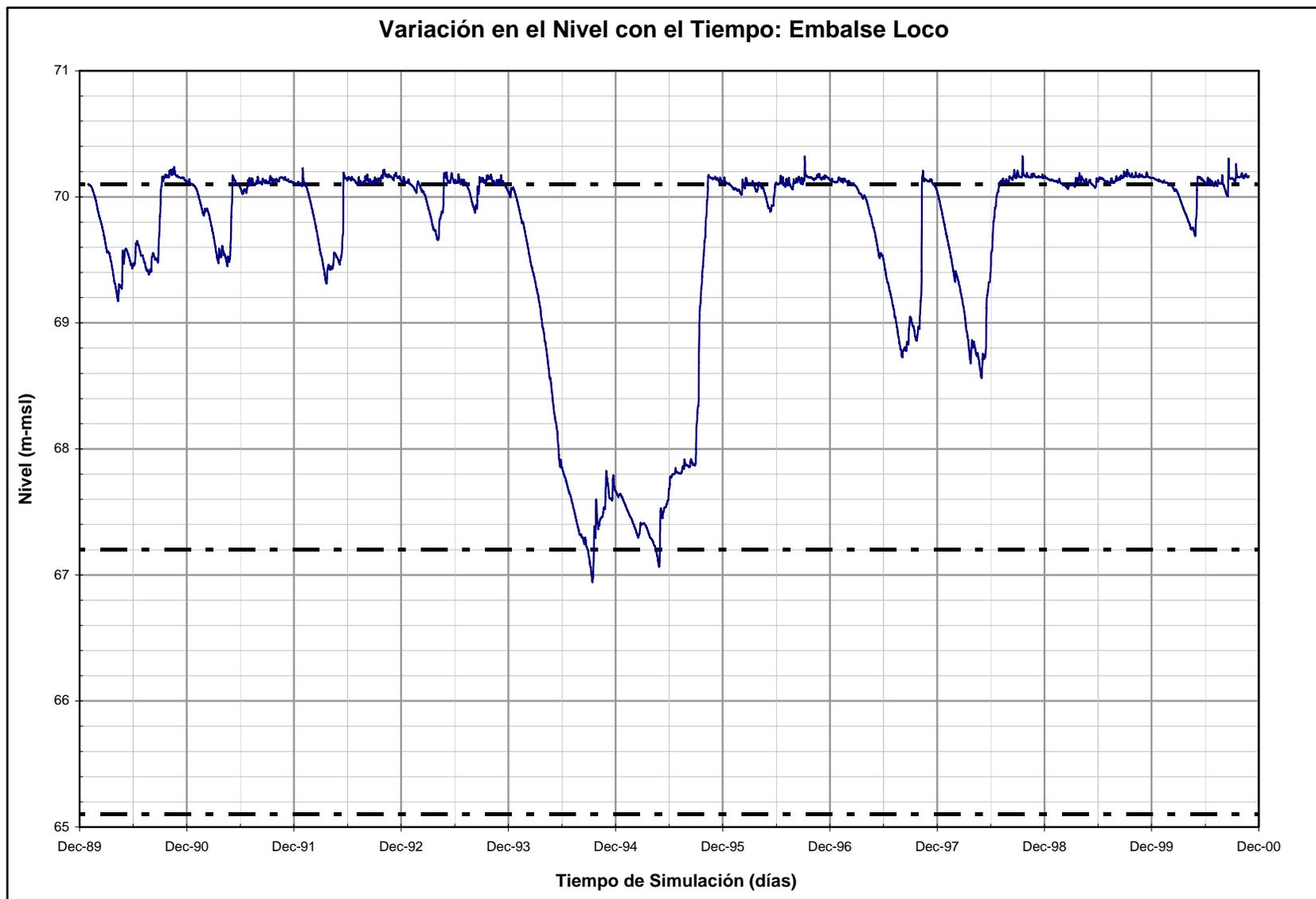


Ilustración 55: Comportamiento de nivel para el Embalse Loco, resultante del modelo HEC-ResSim.

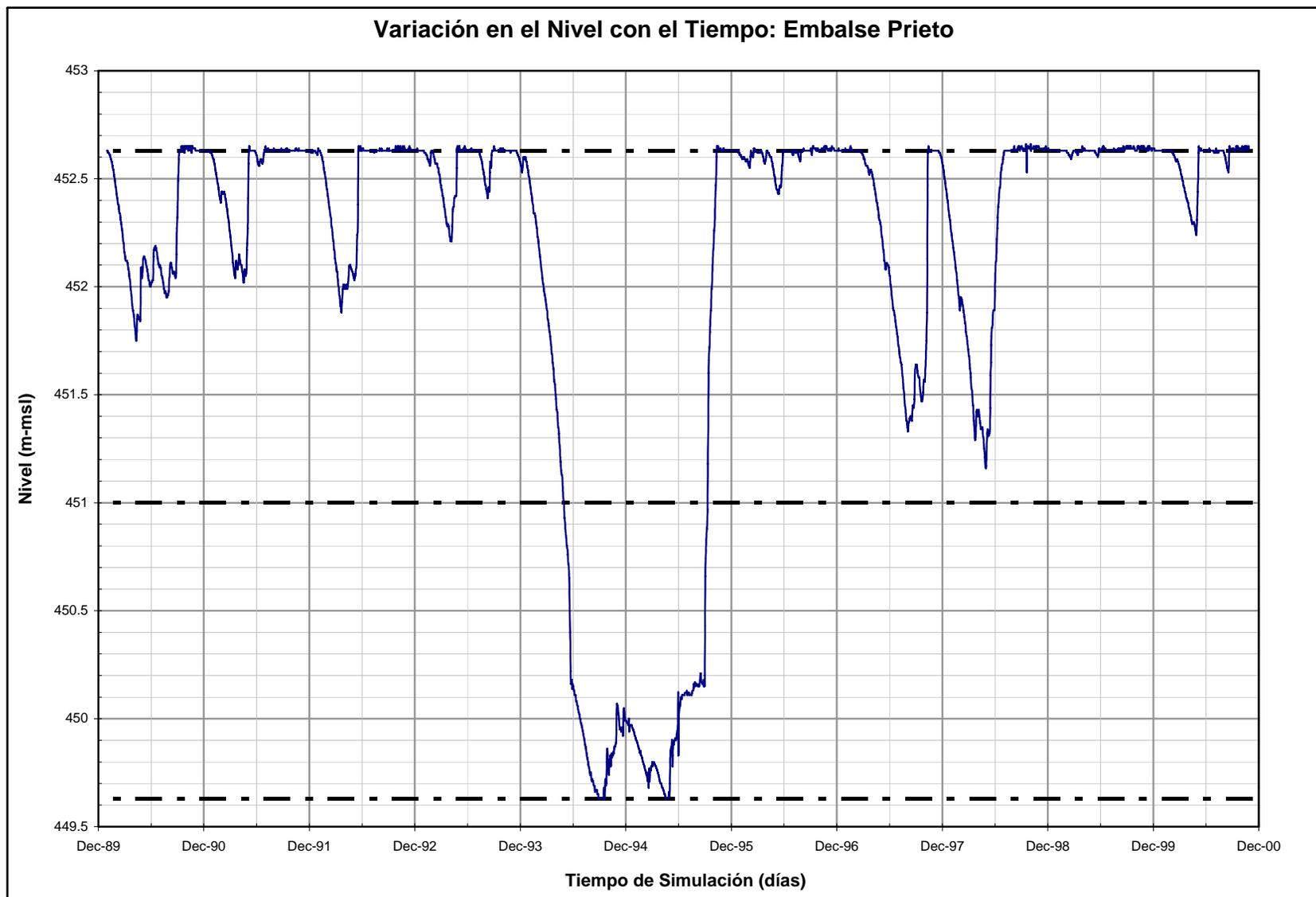


Ilustración 56: Comportamiento de nivel para el Embalse Prieto, resultante del modelo HEC-ResSim.

7.19. Embalse Toa Vaca

El Embalse Toa Vaca está ubicado en el Municipio de Villalba. La estación del USGS más cercana con datos continuos es la 50110900, localizada en el Río Toa Vaca. Las características principales del Embalse Toa Vaca se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24: Datos del Embalse Toa Vaca.

Longitud de Represa (m) ^A	530.5
Elevación del Vertedor (m-msl) ^A	154.83
Capacidad Original, 1972 (Mm ³) ^A	68.94
Capacidad en 2002 (Mm ³) ^A	64.02
Capacidad Activa/Muerta, 2002 (Mm ³) ^A	62.86/1.22
Pérdida Anual de Capacidad (Mm ³) ^A	0.162
Capacidad Presente Estimada, 2006 (Mm ³)	63.4
Capacidad Activa/Muerta, 2006 (Mm ³)	62.7/0.7
Embalse Toa Vaca	
Área de Captación (mi ²)	22.2
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	57.2
Caudal Promedio Estimado (cfs)	31.8
Estación del USGS: 50110900	
Área de Captación (mi ²)	14.2
Lluvia Anual Promedio (pulg.)	61
Caudal Promedio Estimado (cfs)	24.2
Factor de Ajuste, I	1.3

^A Obtenido del Informe "Sedimentation Survey of Lago Toa Vaca, Puerto Rico, June 2002".

La Ilustración 58 muestra la curva de Nivel vs. Volumen utilizada en la simulación. Esta curva se obtuvo del informe de sedimentación del USGS "Sedimentation Survey of Lago Toa Vaca, Puerto Rico, June 2002" (Soler-López, 2004). La misma se ajustó para tomar en cuenta la pérdida en volumen producida por la sedimentación en cuatro años utilizando la pérdida anual de capacidad provista en el informe del USGS.

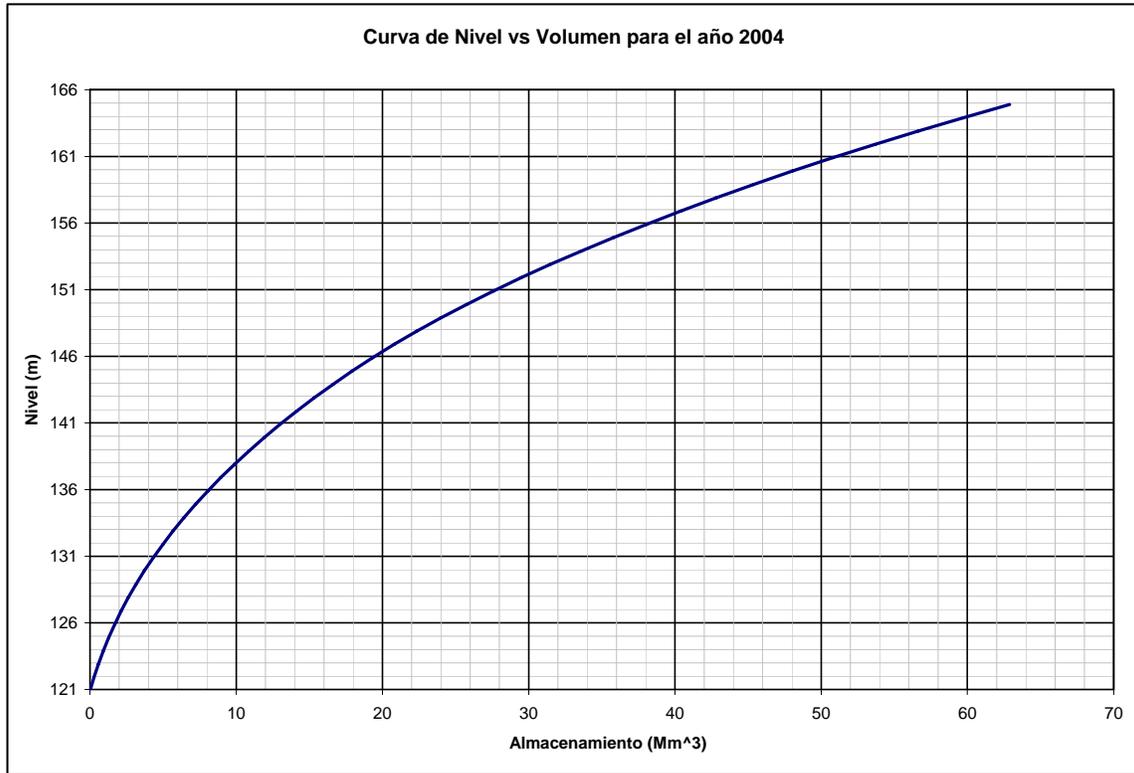


Ilustración 58: Curva de nivel vs volumen para el Embalse Toa Vaca.

El análisis de simulación estimó el rendimiento seguro en 13.5 MGD. La Ilustración 59 muestra el comportamiento del nivel del Embalse a lo largo del tiempo. La Ilustración 60 muestra la variación del rendimiento seguro vs el volumen de almacenamiento.

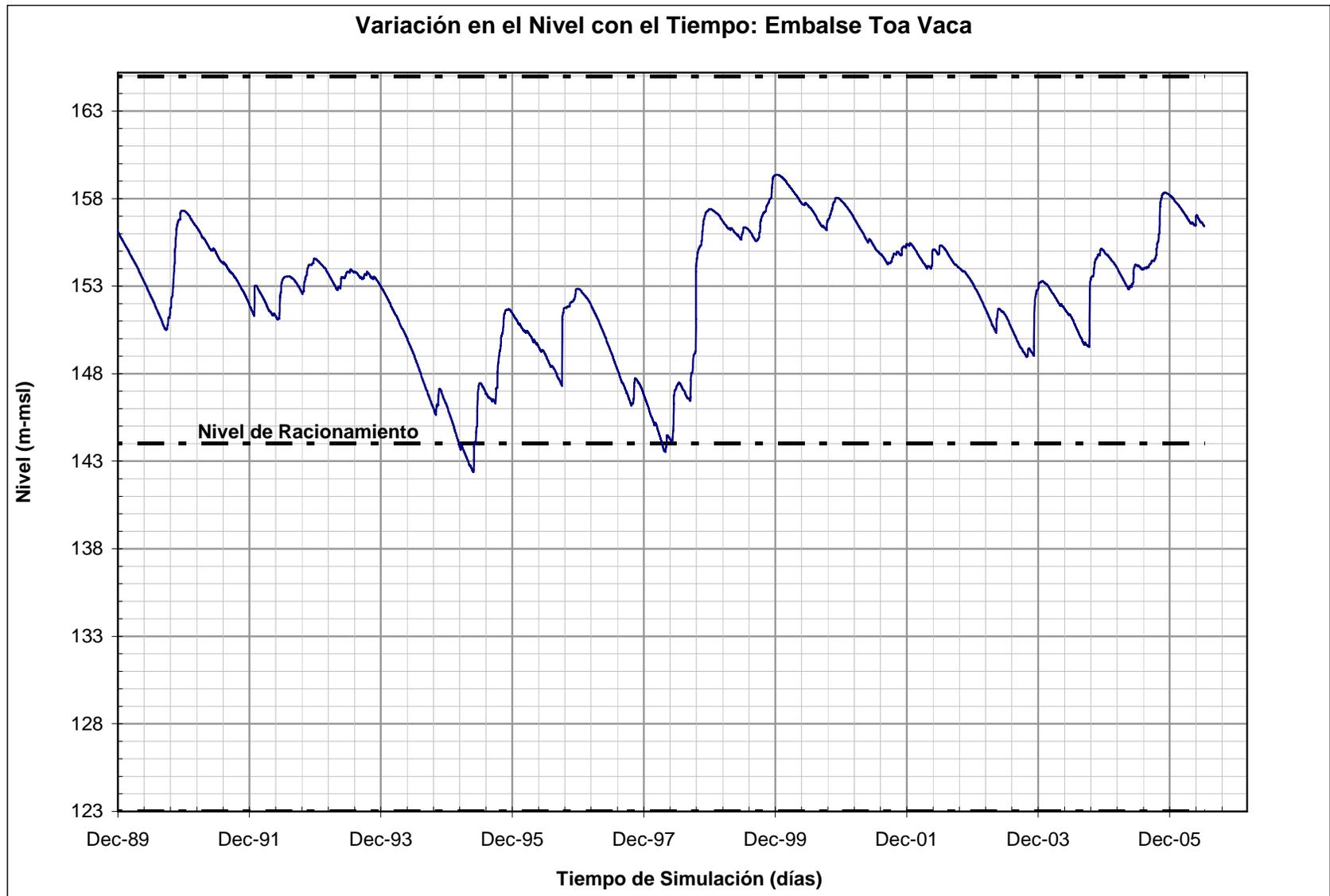


Ilustración 59: Comportamiento de nivel para el Embalse Toa Vaca, resultante del análisis de rendimiento.

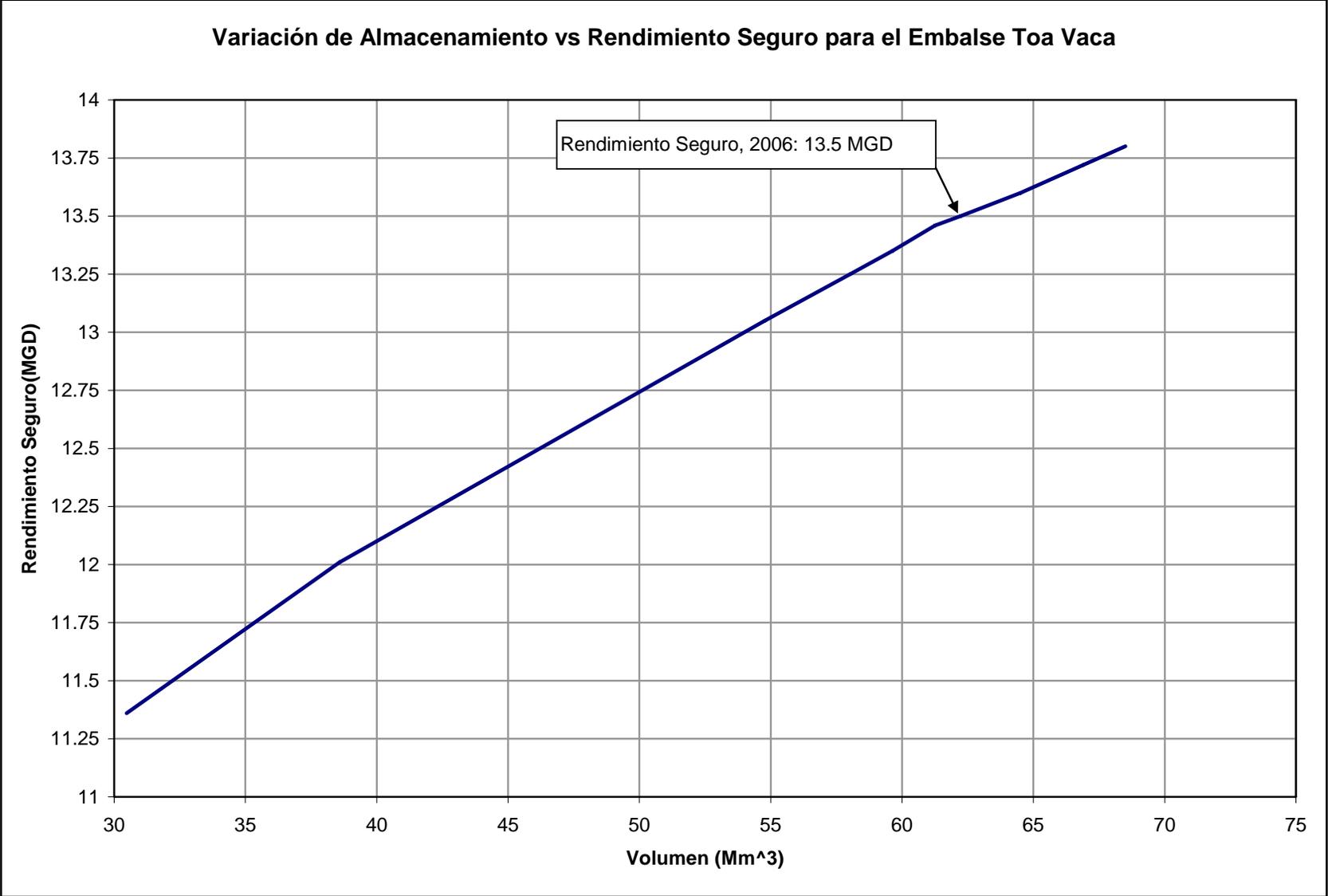


Ilustración 60: Variación de volumen vs rendimiento seguro para el Embalse Toa Vaca.

8. REFERENCIAS

- Black & Veatch/ Consulting Engineering. 1977. "Water Supply Study for the Entire Island of Puerto Rico". U.S. Army Corps of Engineers, Jacksonville District.
- Gregory L. Morris Engineering, 2000. "Firm Yield Analysis: New Municipal Water Supply Intake, Río Grande de Loíza above San Lorenzo." Report to AFI, San Juan.
- Gregory L. Morris Engineering, 2007. "Yield Analysis for Río Grande de Manati at Morovis Sur Intake." Report to CPM/MPPR, PRASA Project Manager. San Juan
- Helsel, D. R. and Hirsh, R. M. 2002. "Statistical Methods in Water Resources". USGS. Reston, VA.
- Larsen, Matthew C. 2000. "Analysis of 20th Century Rainfall and Streamflow to Characterize Drought and Water Resources in Puerto Rico." *Physical Geography* 21:494-521.
- McMahon, T. A. and Mein, R. G. 1986. "*River and Reservoir Yield*". Water Resources Publications, Littleton, Colorado.
- Soler-Lopéz, L. R. 1999. "Sedimentation Survey of Lago Cidra, Puerto Rico, November 1997". Water-Resources Invest. Report 99-4144, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. 2007. "Sedimentation History of Lago Dos Bocas, Puerto Rico, 1942-2005". Scientific Invest. Report 2007-5053, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. 2001. "Sedimentation Survey of Lago Caonillas, Puerto Rico, February 2000". Water-Resources Invest. Report 01-4043, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. 2004. "Sedimentation Survey of Lago Toa Vaca, Puerto Rico, June-July 2002". Water-Resources Invest. Report 2004-5035, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. Gómez-Gómez, F. 2005. "Sedimentation Survey of Lago Loíza, Puerto Rico, January 2004". Water-Resources Invest. Report 2005-5239, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. Webb, R. Perez-Blair, F. 1999. "Sedimentation Survey of Lago Garzas, Puerto Rico, September 1996". Water-Resources Invest. Report 99-4143, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. 1999. "Sedimentation Survey of Lago Guayo, Puerto Rico, October 1997". Water-Resources Invest. Report 99-4053, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. 2001a. "Sedimentation Survey of Lago Lucchetti, Puerto Rico, March 2000". Water-Resources Invest. Report 01-4105, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. 2001b. "Sedimentation History of Lago Guayabal, Puerto Rico, 1913-2001". Water-Resources Invest. Report 03-4198, USGS, San Juan.

- Soler-Lopéz, L. R. 2001c. "Sedimentation Survey of Lago Loco, Puerto Rico, March 2000". Water-Resources Invest. Report 01-4187, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. 2003a. "Sedimentation Survey of Lago El Guineo, Puerto Rico, October 2001". Water-Resources Invest. Report 03-4093, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. 2003b. "Sedimentation Survey of Lago El Matrullas, Puerto Rico, December 2001". Water-Resources Invest. Report 03-4102, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R. and Carrasquillo, R.A. 2000. "Sedimentation Survey of Lago Carite, Puerto Rico, October 1999". Water-Resources Invest. Report 00-4235, USGS, San Juan.
- Soler-López, L.R. and Webb, R. 1998. "Sedimentation Survey of Lago Yahuecas, Puerto Rico, March 1997. Water-Resources Invest. Report 98-4259, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L.R. and Webb, R. 1999. "Sedimentation Survey of Lago Prieto, Puerto Rico, October 1997". Water-Resources Invest. Report 99-4169, USGS, San Juan.
- Soler-López, L.R., Webb, R. and Carrasquillo-Nieves, R.A. 2000a. "Sedimentation survey of Lago La Plata, Puerto Rico, October 1998." Water-Resources Invest. Report 0-4045, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L.R., Webb, R. and Carrasquillo, R.A. 2000b. "Sedimentation Survey of Lago Guajataca, Puerto Rico, January 1999". Water-Resources Invest. Report 00-4044, USGS, San Juan.
- Soler-Lopéz, L. R., Webb, R. and Perez-Blair, F. 1999. "Sedimentation Survey of Lago Patillas, Puerto Rico, April 1997". Water-Resources Invest. Report 99-4030, USGS, San Juan.
- U.S. Army Corps of Engineering. 1997. "Water Control Manual for Cerrillos Dam and Reservoir". Jacksonville District.
- U.S. Army Corps of Engineering. 2003. "HEC-ResSim Reservoir System Simulation". Hydrologic Engineering Center, Sacramento.
- U.S. Geological Survey. 1977. "National Handbook of Recommended Method for Water Data Acquisition," Reston, VA.
- Webb, R. Gómez-Gómez, F. 1994. "Sedimentation Survey of Lago Dos Bocas, Puerto Rico, August 1994". USGS, San Juan.
- Webb, R. and Soler-López, L.R. 1997. "Sedimentation History of Lago Loíza, Puerto Rico, 1953-94." Water-Resources Investigations Report 97-4108. USGS, San Juan.