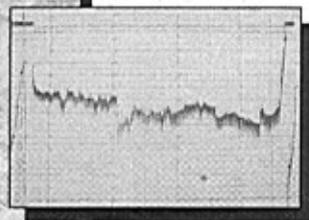




**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
EZEQUIEL ZAMORA**

Postgrado en Recursos Naturales Renovables
Mención Manejo de los Recursos Agua y Suelo.

**EVALUACION DE LOS APORTES DE SEDIMENTOS AL EMBALSE
BOCONO Y PROPUESTA PARA SU ESTIMACION INDIRECTA.**



RESUMEN

EVALUACIÓN DE LOS APORTES DE SEDIMENTOS AL EMBALSE BOCONO Y PROPUESTA PARA SU ESTIMACIÓN INDIRECTA

TOBIÁS R. GÁSPERI R.¹ y HERVÉ J. JÉGAT ²

¹ Líder de Programa, PDVSA Palmaven, Apartado 6035,
San Tomé, Edo. Anzoátegui, Venezuela.

² Profesor, CIDIAT, Apartado 219. Mérida, Venezuela.

RESUMEN

La cuenca del Río Boconó es una referencia en estudios de erosión hídrica; sus condiciones físicas, hidroclimáticas, y la acción antrópica, promueven una elevada producción de sedimentos que pone en riesgo el desarrollo sostenible de la cuenca y la vida útil del embalse que lleva su nombre. La topobatimetría se realizó de abril a septiembre de 1.997 completando con altimetría original a escala 1:5000. Se usó el software Variowin para analizar espacialmente los datos y en Surfer se obtuvieron las nuevas áreas y volúmenes. La ecuación de regresión para estimar la producción de sedimento fue recalculada con la información de Chacón (1.981) y los resultados topobatimétricos. Se registró en todo el embalse una pérdida de 20,25 % en volumen por sedimento acumulado ($2,9874 * 10^8 \text{ m}^3$) en 14 años. El volumen muerto se redujo en 53,7% y la vida útil restante quedó en 21 años y 2 meses. La producción de sedimento se estima en $24,20 * 10^6 \text{ t/año}$. La nueva ecuación dispone ahora de 9 parámetros para estimar la producción de sedimento.

ABSTRACT

The basin of the Río Boconó is a reference in studies of hydro erosion; their physical conditions, hydroclimate, and the action of the man, they promote a high production of silts that puts in risk the sustainable development of the basin and the useful life of the reservoir that it takes their name. The topobathymetric was carried out from April to September of 1.997 completing with original mapping to scale 1:5000. The software Variowin was used to analyze the data spacely and in Surfer the new areas and volumes were obtained. The regression equation to estimate the silt production was calculated again with the information of Chacón (1.981) and the results topobathymetric. It registered in the whole reservoir a loss of 20,25% in volume for accumulated silt ($2,9874 * 10^8 \text{ m}^3$) in 14 years. The dead volume decreased in 53,7% and the remaining useful life was in 21 years and 2 months. The silt production is considered in $24,20 * 10^6 \text{ t/año}$. The new equation has 9 parameters now to estimate the silt production.

1. INTRODUCCIÓN

El diagnóstico de la condición de sedimentación del Embalse Boconó puede brindar de manera directa, gran parte de la información requerida para su manejo en función de mantener sus objetivos de producción de energía, riego, control de inundaciones y fuente de agua potable. Paralelamente, se obtiene información con la cual estimar la producción de sedimento, la degradación específica de la cuenca y por consiguiente, el futuro de los recursos naturales que se encuentran en ella y el de todas las actividades humanas vinculadas con el uso del recurso suelo.

Este estudio trata de confirmar que la afectación de los volúmenes del embalse que se detecten con el levantamiento topobatimétrico, debería ser el reflejo de la condición en la que se encuentre la cuenca en términos de producción de sedimento y de la degradación de suelo.

Bajo altas inversiones de dinero se han establecido planes de conservación en la cuenca, financiados mayormente con recursos de organismos internacionales de los cuales el país y en especial su área de influencia desea conocer los resultados. Sin contar con conclusiones recientes de estudios como este para hacer seguimiento a esta situación, queda como herramienta alterna, el uso de los modelos de estimación indirecta como el que se propone.

2.- MATERIALES Y METODOS

2.1.- Batimetría

En la georeferenciación de puntos el equipo utilizado para este caso fue el Sistema Trimble Geo Explorer II, compuesto por un GPS móvil y una estación base ubicada en Guanare, con una antena externa magnética (Geo Explorer Tripod Mount). El software de apoyo para el procesamiento de la data y obtener las coordenadas definitivas de este punto fue el Pathfinder Office (1.1), con el se aplicó el Procesamiento por Fase.

En el caso que ocupa esta tesis se contó de una ecosonda RAYTHEON 719-A, dispuesta en el interior conforme lo muestra la Figura 1 junto al resto de materiales y equipos sobre el espejo de agua.

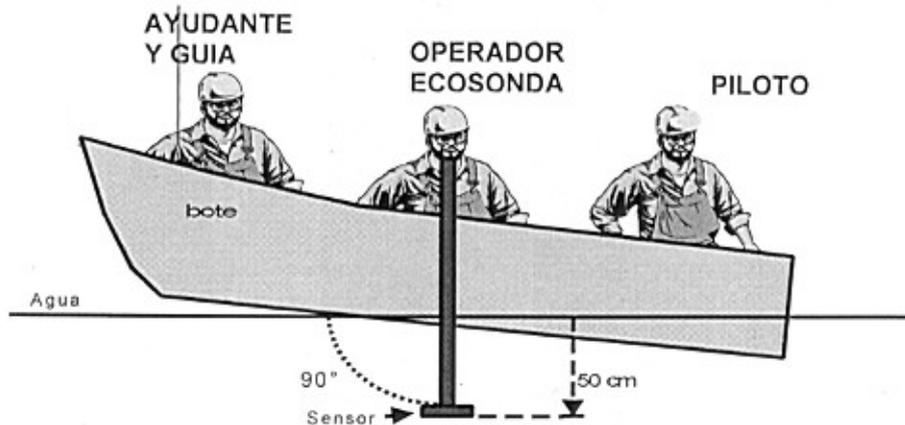


Figura 1.- Personal, equipo y materiales sobre el agua. Batimetría Embalse Boconó 1.997

Completado todo el proceso preparatorio se inició la jornada de levantamiento batimétrico. De las 44 secciones planificadas se ejecutaron finalmente 39, tomando como criterio variaciones insignificantes de una sección a otra reportadas en la banda gráfica. Bajo esta premisa se descartaron secciones y se procedía a medir la siguiente buscando cambios importantes. (Figura 2)

2.2.- Topografía del delta

El hecho de hacer la batimetría durante la época seca, conlleva al levantamiento topográfico de un delta con mayor superficie. Para este estudio se tomó como referencia la cota máxima de diseño establecida en el embalse Boconó (269 m.s.n.m.), y de los 17 perfiles planificados se levantaron 11. (Figura 3)

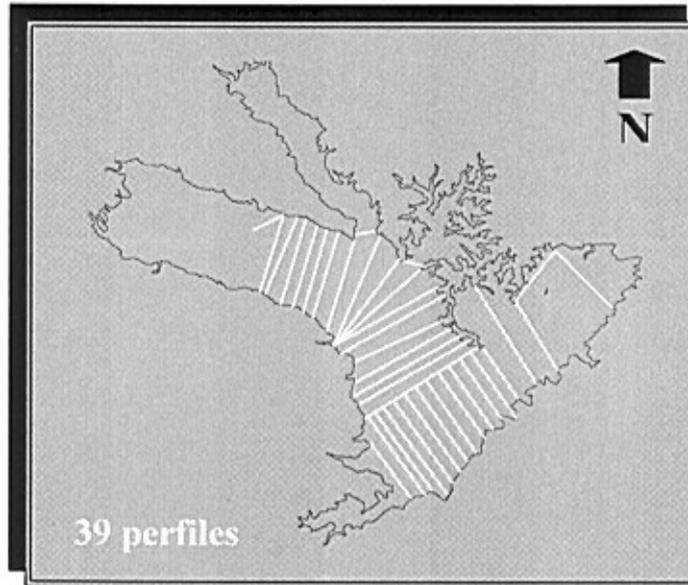


Figura 2.- Perfiles batimétricos ejecutados. Batimetría Embalse Boconó 1.997

El equipo de trabajo estaba compuesto por un topógrafo y un conjunto de ayudantes que fue incrementando su número de 2 hasta 6 en la medida que se penetraba la parte más alta del delta, ya que la vegetación se hacia más densa y alta. Los equipos utilizados en el proceso consistían en un teodolito Wild T2, un nivel Wild N° 2 y un distanciómetro laser Ranging Bushnell.

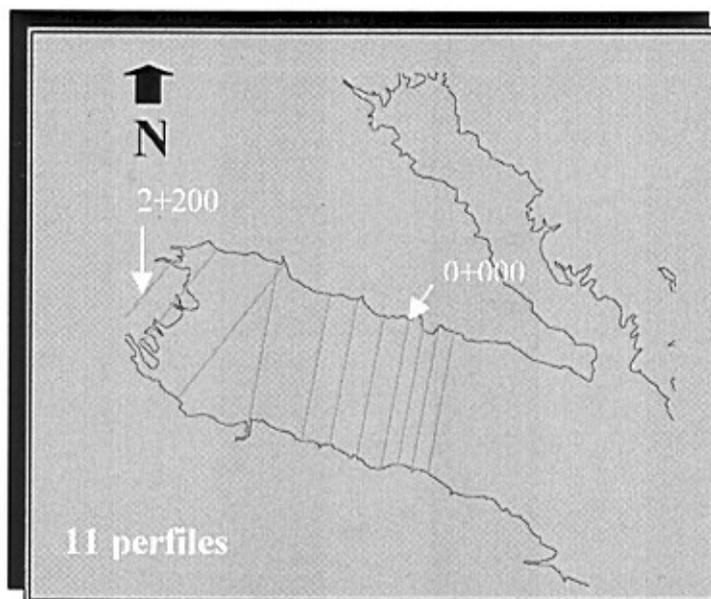


Figura 3.- Perfiles topográficos ejecutados en el delta. Batimetría Embalse Boconó 1.997

2.3.- Extracción de datos complementarios

Los datos complementarios se refieren a los puntos del embalse en sectores que no fueron levantados con batimetría o topografía, éstos fueron extraídos de planos topográficos de la zona de estudio antes de entrar en funcionamiento el Embalse Boconó. (Figura 4) Con este fin se utilizaron 17 planos topográficos a escala 1:5000 producto de la restitución aerofotogramétrica de los vuelos de noviembre de 1.956 y abril de 1.957, misiones 050302 y 050303, elaborados por el M.O.P. en 1.978.

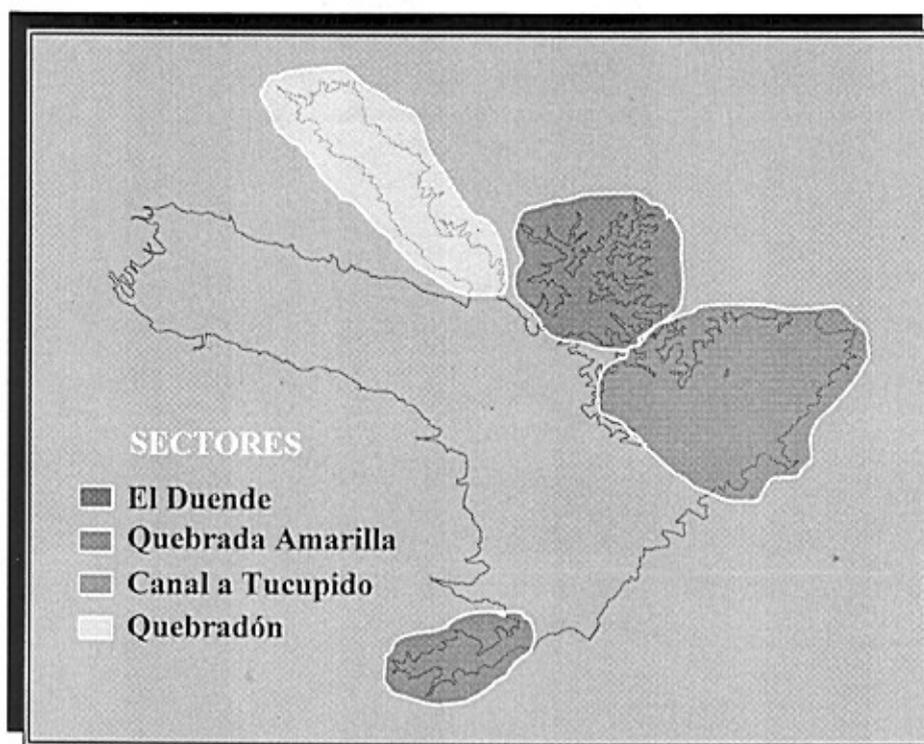


Figura 4.- Sectores sujetos a datos complementarios. Batimetría Embalse Boconó 1.997

2.4. Procesamiento de datos

Todos los datos obtenidos a nivel de campo y de información disponible, debieron cumplir una serie de pasos que progresivamente nos llevaron a obtener los objetivos de este estudio.

En primer lugar está el análisis estadístico espacial a través del software Variowin (Pannatier, 1.996), que permite corregir datos erróneos. Luego con datos depurados y modelados se calcula los volúmenes y superficies por medio del software Surfer (Golden, 1.996), estimando con sus productos nuevas curvas de área capacidad, producción de sedimentos y la vida útil del embalse Boconó, apoyándose este último cálculo en el Método Modificado de Áreas Reducidas (Suárez, 1.982).

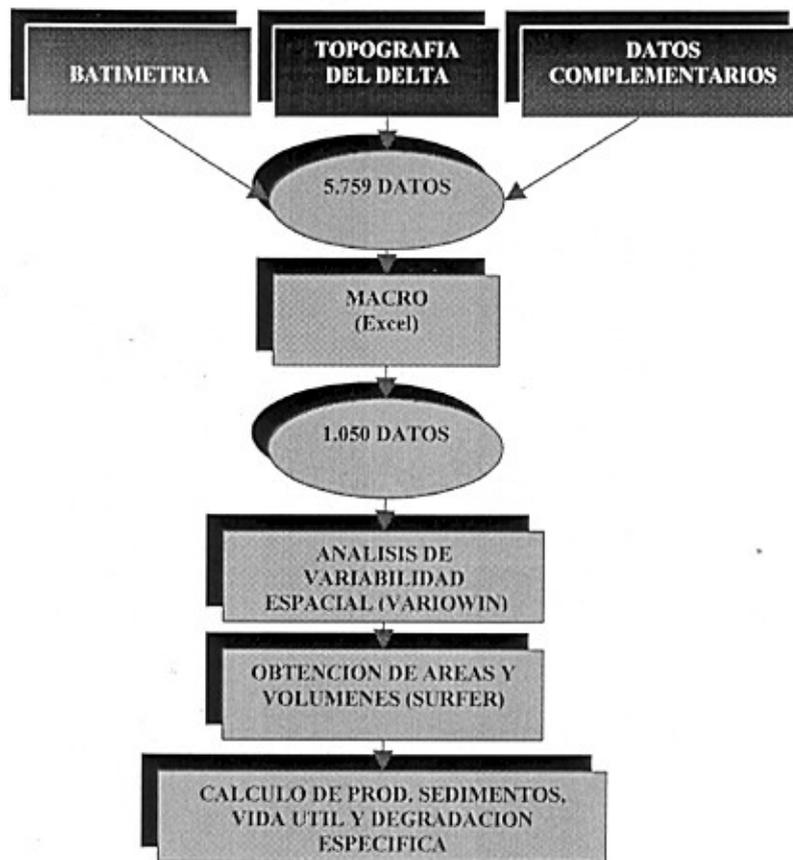


Figura 4.- Procesamiento de datos. Batimetría Embalse Boconó 1.997

2.5. Ajuste de modelo matemático

El propósito principal de este punto radica en ajustar la ecuación propuesta por Chacón (1.981), para estimar indirectamente la producción de sedimento

en la cuenca del Boconó, a través del recálculo de la ecuación y la estimación actual de la producción de sedimento obtenida con la batimetría.

La ecuación de la recta es ($Y = m_1 X_1 + m_2 X_2 + \dots + b$), donde Y es la variable dependiente (producción de sedimento t/año), $X_{(i)}$ variable independiente, y $m_{(i)}$ el coeficiente que acompaña a $X_{(i)}$; b es un valor constante que señala la intersección de la recta con el eje Y . Dentro de las variables independientes se manejaron las mismas propuestas por Chacón (1981):

$X_1 =$ Area de la cuenca (km^2)

$X_2 =$ Longitud del cauce (km.)

$X_3 =$ Diferencia de cotas (m.s.n.m.)

$X_4 =$ Pendiente media de la cuenca (m/km)

$X_5 =$ Pendiente media del cauce (%)

$X_6 =$ Coeficiente de masividad X_5 / X_4

$X_7 =$ Precipitación media anual (m)

$X_8 =$ Precipitación máxima en 3 h y T_r de 5 años

$X_9 =$ Escurrimiento media anual (m)

$X_{10} =$ Litología (%)

$X_{11} =$ Cobertura vegetal (%)

$X_{12} =$ Uso de la tierra (%)

Se definió en Excel la fórmula matricial con la cual se procesarán los datos tal como se observa en la fórmula 1:

(1) = {ESTIMACION.LINEAL (M2: M20, A2: L20, FALSO, VERDADERO)}

Procesados los datos y obtenido el reporte, se va evaluando para cada parámetro su efecto sobre los estadísticos, especialmente r^2 (coeficiente de determinación) cada vez que cualquiera de ellos es eliminado del análisis.

3.- RESULTADOS Y DISCUSION

De un total de 39 secciones analizadas, se obtuvieron 5.120 puntos, cada uno con sus coordenadas Norte, Este y la cota sobre el nivel del mar.

Luego de analizar la variabilidad espacial de los datos, estos se redujeron a 1.146, que son los utilizados para dibujar las isolíneas de profundidad y el modelo gráfico 3D.

Procesados los datos en el Surfer, el área y capacidad fueron estimados cada metro. De forma resumida y comparando con los datos originales del proyecto, los datos de área capacidad son resumidos cada 5 m en la Tabla 1 y graficados en la Figura 5. Con la información anterior, el volumen de sedimento acumulado en el embalse en 14 años de operación es de $2,9874 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ en un área de 4.988,9 ha al nivel máximo de llenado (269 m.s.n.m.).

Tabla 1.- Datos de área – capacidad comparados (1.983 vs 1.997)

| ELEVACION (m) | 83 AREA (m2) | 97 AREA (m2) | 83 VOLUMEN (m3) | 97 VOLUMEN (m3) | Cantidad Sedim. (m3) Vol 83-Vol 97 | Porcentaje Acumulado Sedimento |
|---------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| 200 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.00% |
| 205 | 2.5000E+06 | 0.0000E+00 | 1.0000E+07 | 0.0000E+00 | 1.0000E+07 | 3.35% |
| 210 | 5.0000E+06 | 0.0000E+00 | 2.5000E+07 | 0.0000E+00 | 2.5000E+07 | 8.37% |
| 215 | 7.5000E+06 | 1.2430E+06 | 5.6250E+07 | 1.1305E+06 | 5.5120E+07 | 18.45% |
| 220 | 1.0500E+07 | 5.2521E+06 | 9.5000E+07 | 1.8409E+07 | 7.6592E+07 | 25.64% |
| 225 | 1.3750E+07 | 8.7409E+06 | 1.5500E+08 | 5.3495E+07 | 1.0151E+08 | 33.98% |
| 230 | 1.7000E+07 | 1.2660E+07 | 2.3125E+08 | 1.0702E+08 | 1.2423E+08 | 41.58% |
| 235 | 2.0000E+07 | 1.6576E+07 | 3.2564E+08 | 1.8034E+08 | 1.4530E+08 | 48.64% |
| 240 | 2.3450E+07 | 2.0463E+07 | 4.3461E+08 | 2.7307E+08 | 1.6154E+08 | 54.07% |
| 245 | 2.7000E+07 | 2.4081E+07 | 5.5900E+08 | 3.8480E+08 | 1.7420E+08 | 58.31% |
| 250 | 2.9950E+07 | 2.7092E+07 | 6.9625E+08 | 5.1289E+08 | 1.8336E+08 | 61.38% |
| 255 | 3.5000E+07 | 2.9662E+07 | 8.6994E+08 | 6.5535E+08 | 2.1459E+08 | 71.83% |
| 260 | 3.9850E+07 | 3.4234E+07 | 1.0566E+09 | 8.1357E+08 | 2.4304E+08 | 81.36% |
| 265 | 4.4500E+07 | 3.9801E+07 | 1.2563E+09 | 9.9822E+08 | 2.5803E+08 | 86.37% |
| 269 | 4.8250E+07 | 4.9889E+07 | 1.4750E+09 | 1.1763E+09 | 2.9874E+08 | 100.00% |

Fuente: MOP, 1.978 y Cálculos propios

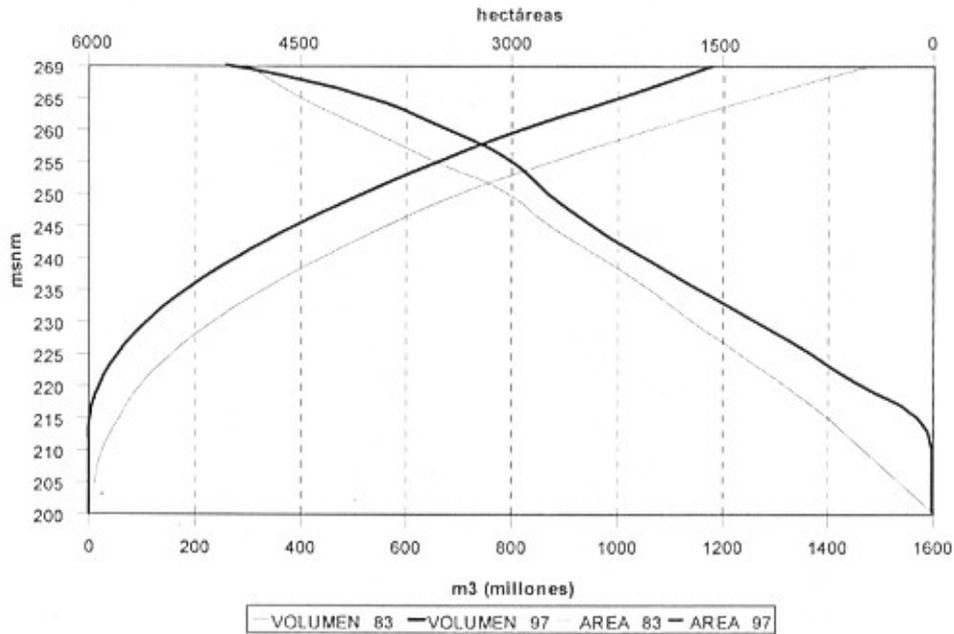


Figura 5.- Comparación de curvas área-capacidad del Embalse Boconó (1.983 vs 1.997)

El volumen total de sedimento acumulado en el embalse redujo en 20.25% la capacidad del embalse a nivel máximo. Del sedimento acumulado, el volumen de $1,74512 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ (58.42%) está por encima de la cota mínima de operación 230 m.s.n.m., por diferencia esto indica que el área crítica para la acumulación de sedimentos que ocupa el volumen muerto, recibe aproximadamente 41.59% de lo que anualmente descarga la cuenca del Río Boconó y que hasta 1.997 se estimaba en $1.24228 \cdot 10^8 \text{ m}^3$. (Tabla 1)

Analizando el área de cada uno de los sectores mencionados, sobre el volumen muerto se ocupa 1.265,95 ha lo que representa el 25% del total, es decir, cerca de la mitad de los sedimentos se depositan en el embalse concentrándose en una cuarta parte de la superficie total del embalse, justamente sobre el área más crítica en función de la vida útil del embalse, tomando en cuenta la producción hidroeléctrica.

Con 260 m.s.n.m. como cota promedio anual, el volumen existente entre esta cota y la cota máxima de llenado (269 m.s.n.m.) es de $5,569 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ (18,64%) y representa lo que sería el delta con una superficie aproximada de 601,97 ha

(12,06%). Con esto se deduce que entre la cota mínima de operación (230 m.s.n.m.) y 260 m.s.n.m. se acumula el 39,78% del sedimento depositado hasta 1.997 en el embalse del Río Boconó.

El avance en términos de superficie ocupada por los sedimentos que puede confirmar la reducción en un 12,06% del área que no la cubre el agua durante todo el año, puede observarse en la foto 1A y 1B donde se compara una imagen de satélite de enero de 1988 con una foto aérea de octubre de 1995. Teniendo presente a enero como un mes seco, (Foto 1A) el espejo de agua es mayor que la de la otra imagen (Foto 1B), tomada casi ocho (8) años después durante un mes donde finalizan las lluvias donde la cota de no ser igual estaría por encima de la medida en enero.

Otra forma de poder evidenciar el avance del delta y que deja ver la magnitud del sedimento que se incorpora al resto del embalse se observa en las fotos 2A y 2B. Las orillas o bordes de los médanos sobre los cuales caminan las personas, al momento de bajar las crecientes en los meses de lluvia, caen en bloques gigantescos por la fuerza del agua y se incorporan a la corriente de entrada al embalse, manteniendo una elevadísima concentración de sedimentos suspendidos, repotenciando más lo que pudiese venir de la cuenca.

Otra vista de la distribución de los sedimentos en su contacto entre el delta y el embalse se observa en las fotos 3A y 3B, donde los cambios de nivel producto de la época del año deja descubiertos los sedimentos en la época seca. (Foto 3B)

Observando tanto los datos como las curvas de área-capacidad (Tabla 1 y Figura 5) se detalla como en el fondo del embalse hasta la cota 212 m.s.n.m aproximadamente, ya no existen datos y los valores en la curva son cero en la curva que dibuja los datos de área y volumen de 1.997.

La brecha descrita por las curvas en la Figura 14, demuestra la forma como se distribuyen los cambios. Situación curiosa se tiene en la parte superior de estas curvas donde las mismas se cruzan, detallando la posibilidad de que el embalse por encima de la cota 267 sufrió cambios que hicieron modificar el

relieve. Paradójicamente, es que el mapa base de 1.978 fue el que ayudó a definir la forma exterior del embalse en su cota máxima al momento de corregir las isolíneas de profundidad en Surfer. Por lo tanto, podemos estar en presencia de algún detalle que en el proyecto original no permitió estimar con exactitud la superficie en este tramo.

Considerando la diferencia entre el volumen muerto original ($2,3125 \cdot 10^8 \text{ m}^3$) y el determinado por este estudio ($1,07022 \cdot 10^8 \text{ m}^3$) resulta una cantidad de $1,24228 \cdot 10^8 \text{ m}^3$, volumen muerto perdido en 14 años de operación del embalse.

La vida útil del embalse considerando la ubicación de la boca según la información de la empresa DESURCA en 230 m.s.n.m., se estimó en 21 años y dos meses partiendo del mes abril de 1.997, fecha en la cual se ejecutó la batimetría.

Existen en la actualidad ciertas diferencias en cuanto a la ubicación real de la boca toma; este estudio seleccionó la elevación utilizada por la empresa DESURCA, la cual considera la cota 230 m.s.n.m. y es en función de esta cota con la cual se estima el volumen muerto, que alberga el 41,58 % de los sedimentos que se depositaron en 14 años en el embalse Boconó, reduciendo su volumen a $1,24228 \cdot 10^8 \text{ m}^3$, es decir, un 53,7%. Sin analizar mucho este resultado por cualquier vía estadística, se puede ratificar firmemente que este valor evidencia una diferencia bastante significativa, desencadenando resultados desalentadores tanto para la cuenca, como en la represa y su vida útil como generadora de electricidad. Con respecto a este último efecto Espinosa y Jégat (1.996), señalan que la capacidad de los embalses afecta su potencial de generación continua de electricidad al reducirse su volumen.

En función de la fecha de ejecución de los trabajos de campo de este estudio al embalse de Boconó, los 100 años de vida útil proyectados se reducirían a 35 años y 2 meses, tomando en cuenta los 14 años transcurridos a la fecha del estudio y los 21 años y 2 meses que restarían para que los sedimentos lleguen a la boca toma. Se debe mencionar que la Producción de Sedimento en esos 14 años representa un valor promedio, toda vez que la intervención progresiva

de la cuenca y su deterioro incorporan mucho más focos erosivos de un año a otro, si esto es así, podemos especular que esos 21 años se pueden convertir en un periodo menor de tiempo.

Al tomarse el volumen total acumulado de sedimento a todo lo largo del embalse Boconó hasta el nivel máximo de operación ($2.9874 \cdot 10^8 \text{ m}^3$), ajustamos con Coeficiente de Retención de 98% (CIDIAT, 1.996), resultando $3,048 \cdot 10^8 \text{ m}^3$, este valor lo fraccionamos entre el número de años de operación, para obtener una Producción de Sedimento (Ps) para la cuenca del Río Boconó de $21,77 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{año}$, que llevada a unidades de masa resulta en $24,201859 \cdot 10^6 \text{ t/año}$.

Si tenemos en cuenta 230 m.s.n.m. y su volumen en la Tabla 9 para el año 1.983, el aporte anual de sedimento debió ser de $2,3125 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{año}$ que comparado con la estimación de este estudio representa un incremento de 941% en la producción de sedimento en 14 años.

Teniendo como referencia las evaluaciones hechas por Velázquez (1.992) quien alertó sobre la falta de correspondencia entre los planes y programas de conservación en la cuenca y el incremento del más de 100 % en la producción de sedimentos, solamente en una de las subcuencas del que fue objeto de su análisis, es una evidencia palpable de que los resultados que aquí se plasman, representa la lamentable continuidad de aquel hecho que adquirió dimensiones exponenciales. Porque es de suponer, que la subcuenca con la que este autor llega a su conclusión estaba incorporada a estos programas desde el año 1.968, pero para el resto de la subcuencas sin ningún tipo de apoyo, ¿cuáles serían sus incrementos?

Tomando como base 1.580 km^2 como superficie de la cuenca del Río Boconó hasta el dique en Peña Larga, la degradación específica promedio es de $153,17 \text{ t/ha}$.

Al referirnos a la cuenca y proyectar la degradación específica que resulta con los datos de este estudio, representa un valor que la FAO (1.980) califica como alta. Es de esperar que esta pérdida de suelo no se manifiesta de manera

uniforme por toda la cuenca, y habrán algunos sectores y subcuencas que representen el foco principal del problema reportando valores de degradación mucho mayores; todo bien encadenado a la sensibilidad de cada sector y a la presencia de eventos climáticos importantes entre los que se pueden citar las crecientes de 1.981 y 1.990, que dejaron focos erosivos importantes.

La recalculación de la ecuación propuesta por Chacón (1.981) para estimar la producción de sedimento, fue definida con la totalidad de los parámetros con la excepción de X_6 , X_8 y X_{10} y resultando la ecuación número 2.

$$(2) \quad Y = 0,556 x_1 - 22,354 x_2 + 0,917 x_3 - 79,865 x_4 + 3675,11 x_5 - 2841,74 x_7 + 2418,89 x_9 + 4870,56 x_{11} + 2384,64 x_{12}$$

Los estadísticos obtenidos fueron favorables, con un coeficiente de determinación $r^2 = 0,87$ y la prueba de F con un valor calculado 7.442 y el tabulado al 1% (gl/n = 9 y gl/d = 9) de 5,35, confirma la aleatoriedad de los datos y la utilidad de la ecuación de regresión en la predicción de Y.

Se reemplaza en la ecuación 2 todos los parámetros correspondientes a la cuenca del Río Boconó, con la excepción de (X_{11}), el coeficiente (m_{12}), el valor de (X_{12}) y la producción de sedimentos (Y). El valor de X_{11} es sustituido por el complementario de X_{12} , tomando en cuenta los resultados de estudios en el área entre ellos los de Álvarez (1.997) con los cuales se pronosticó un área intervenida de 70 %, X_{12} queda con 0,70 y X_{11} queda con 0,30. El valor de Y será sustituido por el nuevo valor obtenido por el estudio de $24,201859 \cdot 10^6$ t/ha. Despejando m_{12} se obtiene la estimación del coeficiente de X_{12} , es decir m_{12} .

$$Y = 420,37 + 4870,56 X_{11} + m_{12} X_{12}$$

$$Y = 420,37 + 4870,56 \cdot 0,30 + m_{12} \cdot 0,70$$

$$24,201859 \cdot 10^6 \text{ t/año} = 420,37 + 1587,27 + m_{12} \cdot 0,70$$

$$24,201859 \cdot 10^6 - 2007,64 = m_{12} \cdot 0,70$$

$$24.199.851 = m_{12} * 0,70$$

$$m_{12} = 34.571.216$$

Con el ajuste definitivo y todos sus componentes, la fórmula para la estimación de la producción de sedimentos en la cuenca del Río Boconó queda expresada en la formula 3:

$$(3) Y = 0,556 x_1 - 22,354 x_2 + 0,917 x_3 - 79,865 x_4 + 3675,11 x_5 - 2841,74 x_7 + 2418,89 x_9 + 4870,56 x_{11} + 34.571.216 x_{12}$$

Con los niveles de producción de sedimentos que se estiman en este estudio, la aplicabilidad de la ecuación de regresión múltiple de Chacón (1.981) para la cuenca del Río Boconó no es posible, porque aún cuando se incrementen al máximo todos los parámetros factibles de modificar, no se acerca en lo mínimo a la producción de sedimento actual.

Parte del reajuste buscaba la desincorporación de la constante en la ecuación de la línea, cuestión lograda con el empleo del Microsoft Excel y su Estimación Lineal. Un aspecto importante de la nueva estimación de la ecuación de regresión múltiple es la incorporación de parámetros que ante la presencia de la constante afectaban el coeficiente de determinación. Bajo el nuevo planteamiento se integran a la fórmula parámetros como: área de la cuenca, diferencia de cota y pendiente de la cuenca. Se reconfirma la salida de la ecuación del coeficiente de masividad y litología, añadiéndose a la lista la precipitación máxima de 3 horas y tiempo de retorno de 5 años.

4.- CONCLUSIONES

Los sedimentos acumulados en el embalse Boconó desde su puesta en marcha hasta abril de 1.997 fueron de $2,987410^8 * 10^3$, los cuales reducen en un 20.25 % el volumen total del Embalse.

Del total de sedimentos acumulados en el embalse, el 41.59 % ocupan el fondo hasta la cota 230 m.s.n.m. (volumen muerto), el 39.78 % entre los 230 m.s.n.m. y el delta y 18,64% ocupan el delta.

Tomando 260 m.s.n.m. como nivel promedio para definir el delta, para 1.997 alcanzó una superficie de 601.97 ha que representa una reducción de la superficie a cota máxima de llenado de 12,06 %.

El volumen muerto sufrió una reducción en su volumen original de $1,24228 * 10^8 \text{ m}^3$, que representa el 53,7 % del total.

A la vida útil al Embalse le restan 21 años y 2 meses, que sumado a los 14 años transcurridos a 1.997 totalizan 35 años y dos meses, mucho menos de la mitad con que se proyectó.

La producción de sedimentos en la cuenca del Río Boconó para 1.997 con un coeficiente de retención de 98% en el del embalse es de $21.77 * 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ o $24,20 * 10^6 \text{ t/año}$, lo que representa un incremento de 941 % de lo previsto en el proyecto original.

La degradación específica de la cuenca del Río Boconó considerando una superficie de 1.580 km^2 es de 153.77 t/ha , valorado como alto según los criterios de la FAO.

La aplicación de la ecuación de regresión múltiple de Chacón (1.981) no es procedente para el caso particular de la cuenca del Boconó, porque los cambios generados en cuanto a producción de sedimentos, para el peor de los escenarios el valor final de producción de sedimentos es menor a lo estimado por este estudio.

Basado en los datos recopilados por Chacón (1.981), se generó una nueva ecuación de regresión múltiple para estimar la producción de sedimentos en la cuenca del Río Boconó cuyos resultados se observan en la ecuación 3. Producto del análisis estadístico en la estimación de la ecuación se pudo verificar que de las 9 variables que finalmente conforman la ecuación, las que mayor peso tienen son: pendiente media del cauce, pendiente media de la cuenca y cobertura vegetal.

De continuar la indiferencia colectiva en torno a la conservación de la cuenca del Río Boconó, el mejor regalo que quedará para nuestros hijos y nietos con miras al nuevo siglo es la colmatación total del embalse para el año 2.055.

5.- RECOMENDACIONES

Concretar algunas batimetrías interanuales sobre el Embalse Boconó para conocer el rendimiento verdadero a la producción de sedimentos que la cuenca genera, verificando la correspondencia que debe existir con los programas de conservación de cuencas que se establezcan y ajustar los pronósticos establecidos de vida útil.

Analizar profundamente la implantación de futuros proyectos de conservación en la cuencas del Río Boconó, donde estos tengan que estar en sintonía con la realidad de la cuenca, orientando el principal esfuerzo hacia las subcuencas o sectores que previamente fueron identificados como más críticos.

Debe acometerse lo más pronto posible una caracterización de la cuenca desde el punto de vista de conservación y manejo, que permita marcar pautas a los programas y proyectos, que a futuro quieran invertirse para mejorar su condición.

En función de la propuesta de Espinosa y Jégat (1.996) para valorar el impacto de la sedimentación sobre la generación de electricidad, se sugiere a la empresa responsable del manejo de la Central Hidroeléctrica Rodríguez Domínguez, propiciar la aplicación de esta metodología aprovechando los resultados de este estudio o los que ellos puedan generar, para conocer la realidad del potencial hidroeléctrico y proyectar su trabajo en función de la nueva realidad del aporte anual de sedimentos provenientes de la cuenca.

A escasos años de iniciar operaciones el Embalse Boconó ya la cuenca tenía estudios que vislumbraban problemas de conservación, que hasta el presente son reportados por muchos trabajos con tecnología de punta confirmando el deterioro creciente. Todo esto hace sugerir, que en el ámbito de las universidades e instituciones involucradas con el tema, se divulguen todos

estos estudios con el apoyo de los gobiernos regionales y nacional, para que no se queden olvidados en las bibliotecas y poder poner en práctica sus recomendaciones y minimizar los efectos, como los que este estudio reporta para la cuenca del Río Boconó.

Sustentados en los diferentes decretos y estudios que definen el mejor uso de la tierra, llamar la atención a las autoridades nacionales, regionales y los mismos habitantes de la cuenca, para reducir a la mínima expresión su intervención y la del entorno del embalse, que desde 1.996 se ha incrementado de manera alarmante, incorporándose como un elemento más a los problemas de la cuenca alta, lo que estimula la aparición de focos erosivos adicionales que ayudaran a acelerar más el deterioro de este cuerpo de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, M. 1.997. Propuesta de uso y aprovechamiento de la tierra en la subcuenca media del Río Boconó. Tesis de Postgrado UNELLEZ. Guanare. pp. 75-92
- Chacón, F. 1.981. Estudio para desarrollar una metodología conducente a la evaluación preliminar de acarreo de sedimentos en cuencas sin mediciones. III Jornadas Nacionales de Ingeniería Hidráulica. Barquisimeto.
- CIDIAT, 1.996. Curso de Postgrado en Recursos Hidráulicos. Material de Apoyo. Barquisimeto.
- Espinosa, C y Jégat, H. 1.996, Valoración del impacto de la sedimentación en el embalse sobre la generación de hidroeléctrica. Memorias del XVII Congreso de Latinoamericano de Hidráulica. Ecuador.
- FAO, 1980. Metodología para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. FAO Roma.
- Golden Software, 1.996, Surfer. Golden Software Inc. USA. pp. 1-91.
- Pannatier, Y. 1.996. Variowin. Springer. Switzerland. pp. 1-91.

Suárez, L.M. 1.982. Ingeniería de Presas. Obras de Toma, Descarga y Desviación. Ediciones Vega s.r.l. Caracas. pp 275-288.

Velásquez, 1.992. Conservación Vs Producción de Sedimentos en la cuenca alta Boconó. IV Jornadas Nacionales de Hidrología, Metodología y clima. Tema 2. Caracas.

ANEXO FOTOGRAFICO

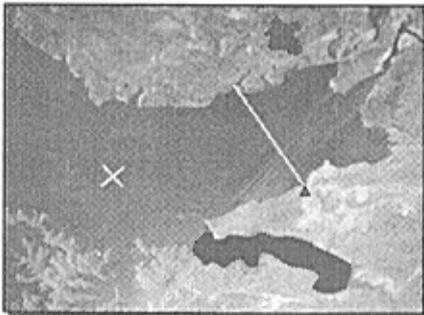


FOTO 1A
Imagen Landsat TM 006-054
Fecha: 20/01/88
Cota aprox: 259,84 msnm

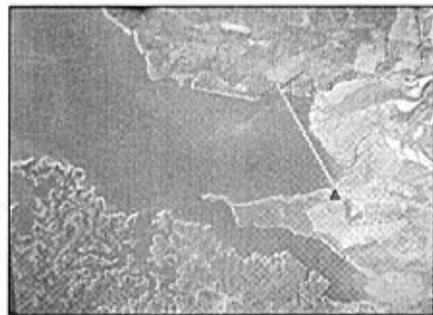


FOTO 1B
Foto Aérea Misión 05/03/110
Fecha: 30/10/95
Cota: 259 msnm



FOTO 2A
Sedimento acumulado en el delta con vista al Embalse Boconó.
Fecha: Mayo 1.997



FOTO 2B
Sedimento acumulado en el delta con vista a la cuenca del Río Boconó.
Fecha: Mayo 1.997

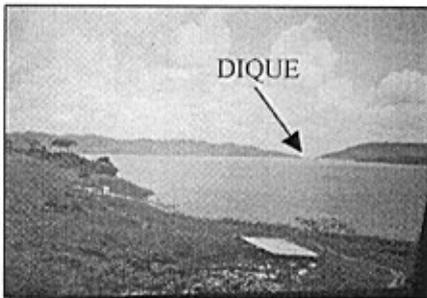


FOTO 3A
Vista del Embalse Boconó a 6 km del dique.
Fecha: Agosto 1.997

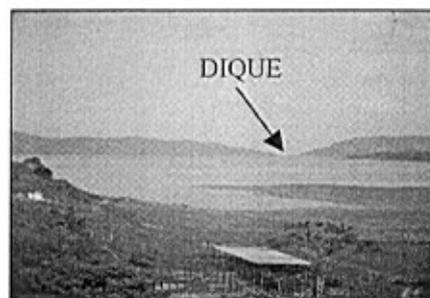


FOTO 3B
Vista del Embalse Boconó a 6 km del dique.
Fecha: Abril 1.997

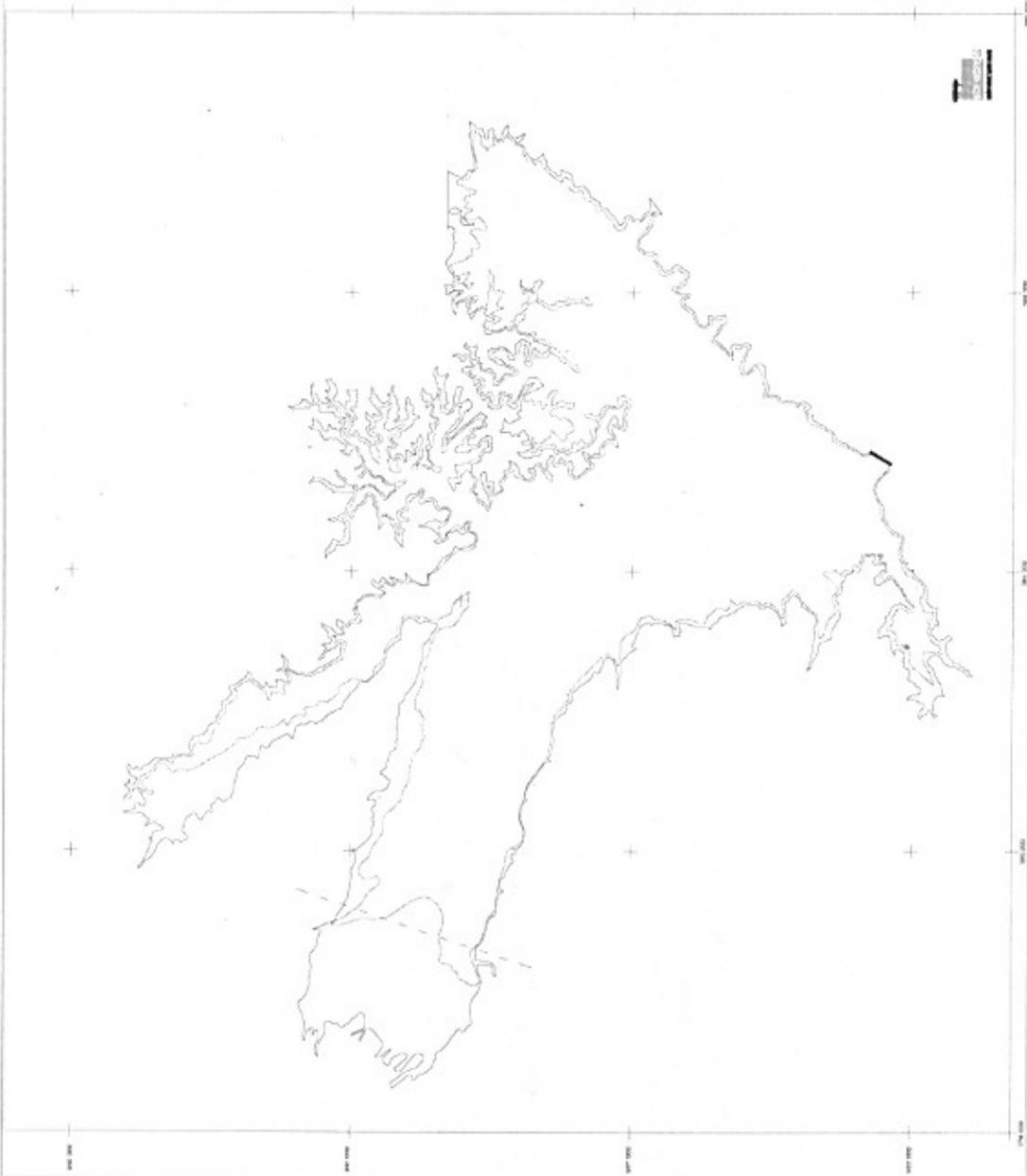


LEYENDA

- DIQUE PERA LARGA
- COSTA 20% (MAYORA)
- COSTA 25% (BATIMETRÍA)
- - - - - DIFERENCIA ENTRE DE AGUA
COSTA 20% (20/100/1%)



| | |
|----------------------|---|
| ELABORADO | ING. TOMÁS E. GARCÍA B. |
| REVISADO | ING. JOSÉ M. HERNÁNDEZ ING. ANA MARÍA RUIZ ING. JOSÉ M. GARCÍA B. |
| APROBADO | ING. TOMÁS E. GARCÍA B. |
| FECHA DE ELABORACIÓN | ING. JOSÉ M. GARCÍA B. |
| FECHA DE REVISIÓN | ING. JOSÉ M. GARCÍA B. |
| FECHA DE APROBACIÓN | ING. JOSÉ M. GARCÍA B. |



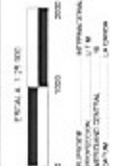


UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
MÓDULO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA Y SISTEMAS
Centro de Investigación en Estudios de Ingeniería y Tecnología
Escuela de Ingeniería de Sistemas de Información y Comunicaciones
Proyecto de Investigación: "Análisis de la Capacidad de Carga de un Canal de Riego"

PERFILES BATIMÉTRICOS
TOPOGRÁFICOS Y COMPLEMENTARIOS

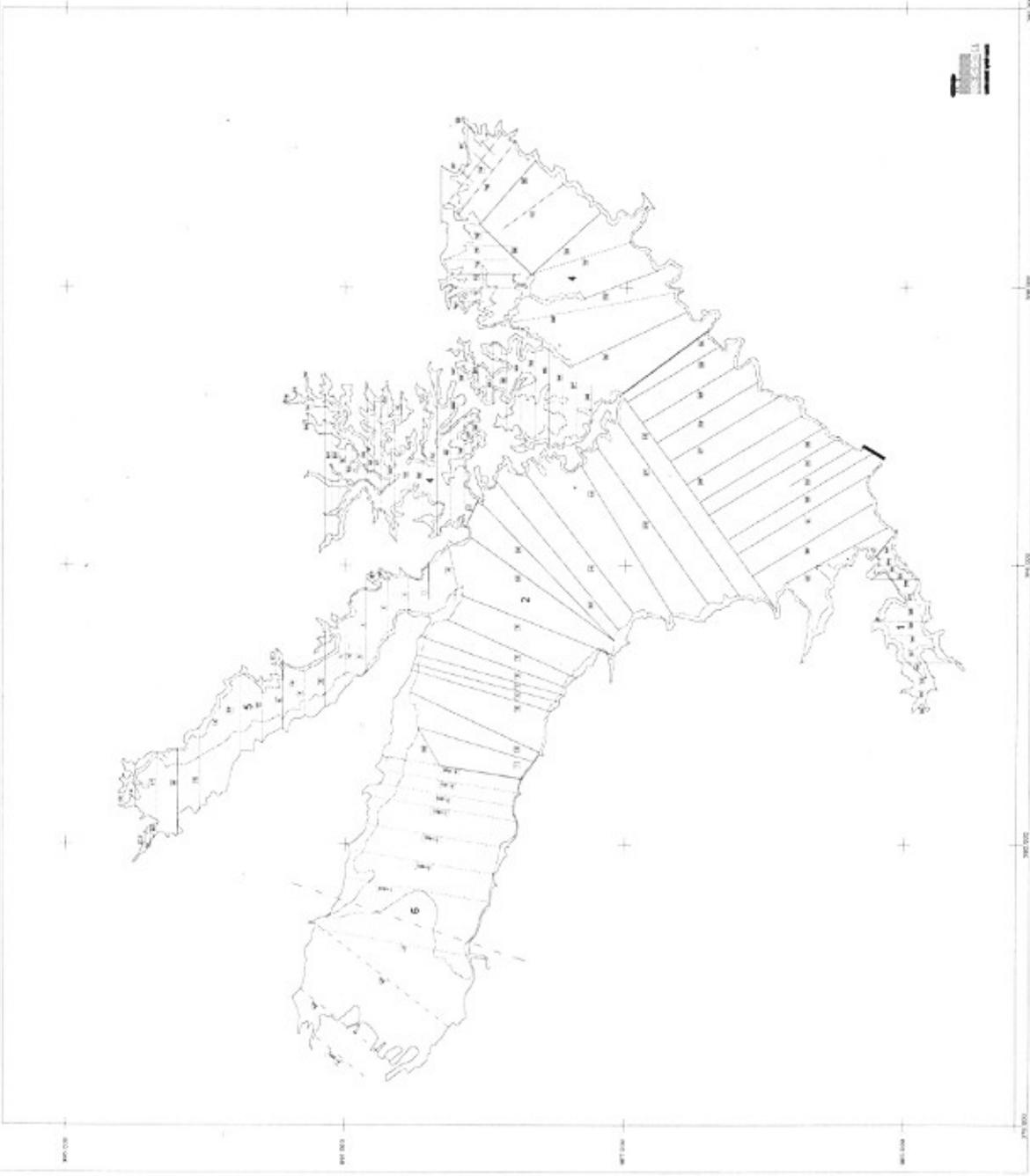
MAPA
4



LEYENDA

| | |
|---|-------------------------------|
| — | DIQUE PEÑA LARGA |
| — | COTA 260 (MARIVA) |
| — | COTA 257 (BATIMETRÍA) |
| — | PERFILES TOPOGRÁFICOS (DELTA) |
| — | PERFILES BATIMÉTRICOS |
| — | PERFILES COMPLEMENTARIOS |
| — | UNICIÓN, EMPUDO DE AGUA |
| — | COTA 264.62 (30/09/97) |
| □ | SECTOR QUERRADA AMARILLA |
| □ | SECTOR CANAL PRINCIPAL |
| □ | SECTOR CANAL A TUCUTIDO |
| □ | SECTOR EL DUEÑE |
| □ | SECTOR QUERRADON |
| □ | SECTOR DELTA |

| | |
|------------------|--|
| LABORANTE | ING. TORIBIO S. GARCERAN B. |
| PROFESORADO | ING. JOSÉ M. WINDGIZ T. EUGENIO AMARAL PÉREZ SCOTCHIELLA |
| AYUDANTE | ING. TORIBIO S. GARCERAN B. |
| AYUDANTE | ING. HEYDIE J. JACAY |
| PROFESOR EN JEFE | ING. TORIBIO S. GARCERAN B. |
| PROFESOR EN JEFE | ING. TORIBIO S. GARCERAN B. |





UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUEL ZAMORA"

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS Y ZOOVETERINARIAS
LABORATORIO DE INVESTIGACIONES EN SUELO
CONSEJO AGROPECUARIO DEL ESTADO BOLÍVAR
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS Y ZOOVETERINARIAS
LABORATORIO DE INVESTIGACIONES EN SUELO

ISOLINEAS DE PROFUNDIDAD 1:87
MAPA
5

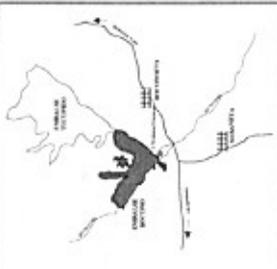


PROYECTO: ...
FECHA: ...
AUTOR: ...

LEYENDA

- DIQUE (PEÑA LARGA)
- CURVA MÁXIMO LLENADO (25mm)

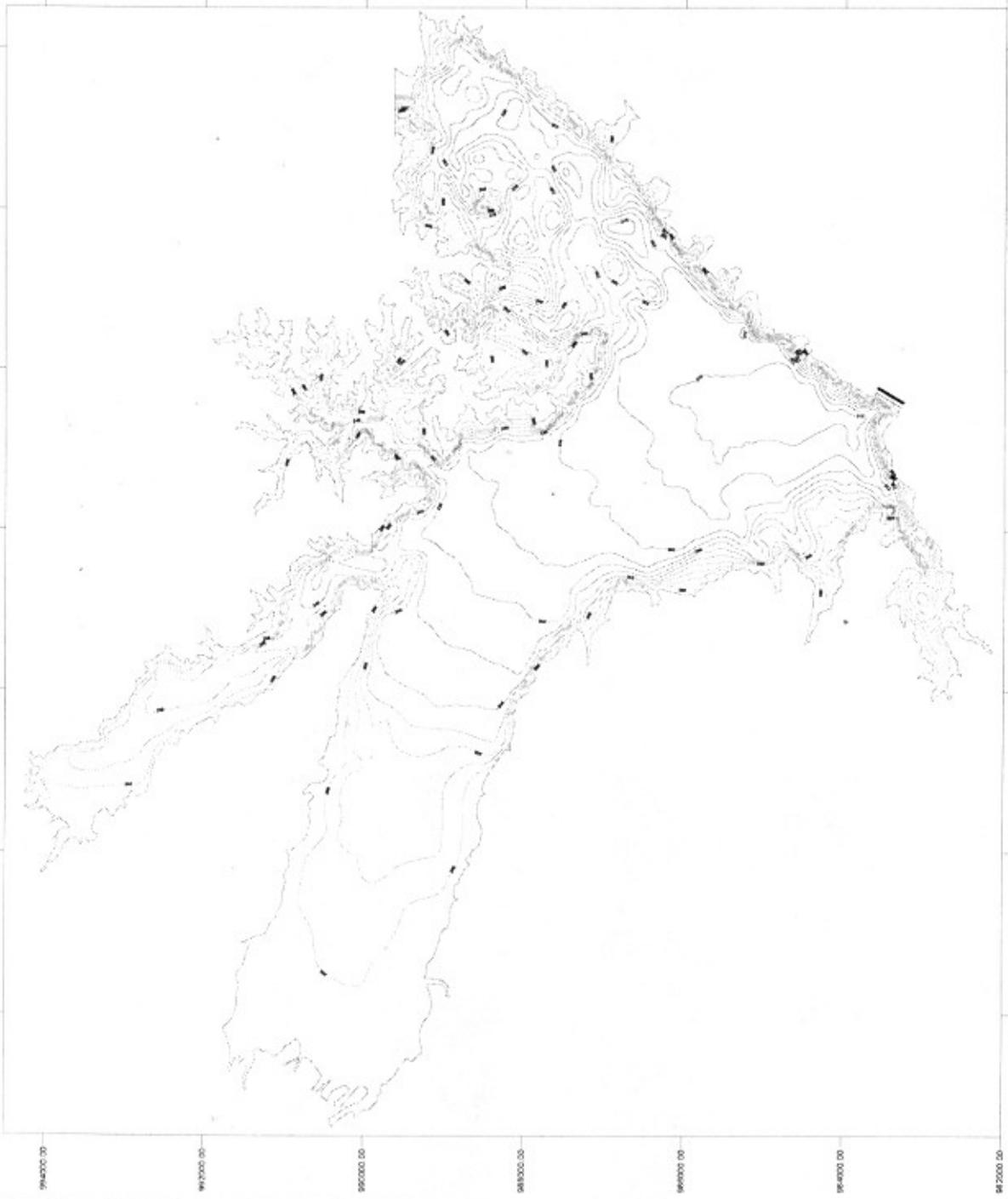
LUBICACIÓN RELATIVA



LEVANTADO: Ing. Tobias Roberto Gáspari Romero
DIGITALIZADO: Ing. José Martínez
Ing. Tobias R. Gáspari R.
Ing. María María Paz P.
Edu. S.M.

REVISADO: Ing. Tobias Roberto Gáspari Romero
APROBADO: Dr. Henry Jazet
ESCALA: 1:25,000
FECHA: 17/04/98

FUENTE: Barriera (Chaparrí, 1977), TOTAL DE MAPAS: 8





UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUEL ZAMORA"

POSTGRADO EN INGENIERÍA EN AGUAS INNOVACIONES
Y SISTEMAS DE AGUAS
MÓDULO DE LOS RECURSOS AGUAS Y SUELO
Catedrático de Hidrología y Recursos Hídricos
Presentado en la Universidad de los Andes, en la Carrera de
Ingeniería en Aguas, en el Estado de los Andes, Venezuela,
el día 15 de mayo de 2018.

RANGOS DE PROFUNDIDAD EN ESCALA
DE COLORES 1:100' MAPA
6

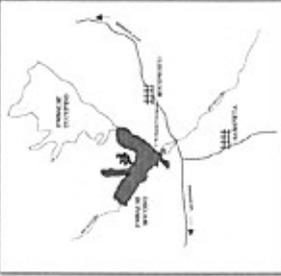


LEYENDA

— DIQUE (PEÑA LARGA)

— CUEVA MAXIMO LLENADO (200m/1000m)

UBICACIÓN RELATIVA



LEVANTADO: Ing. Tobías Rafael Galperí Romero

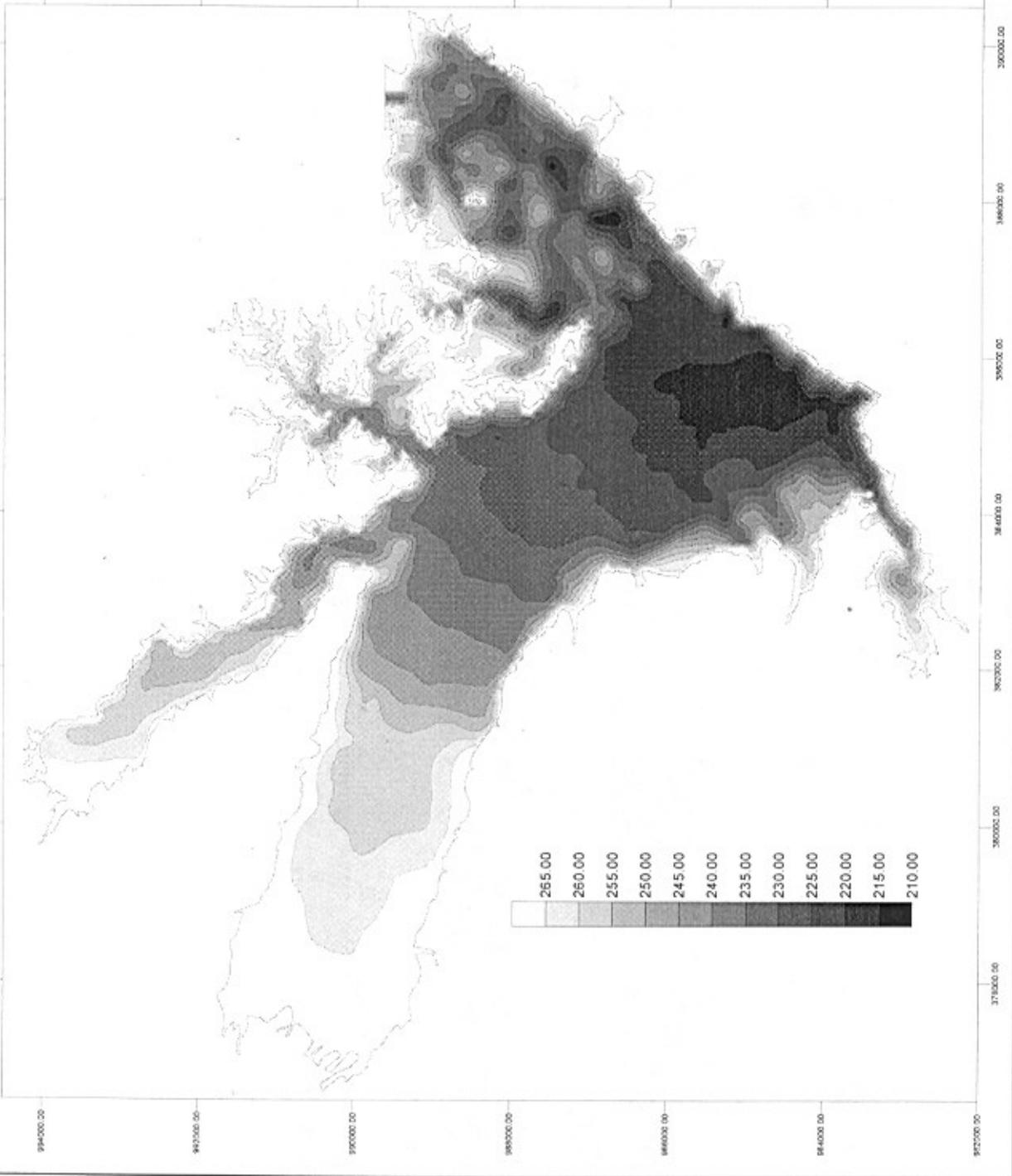
DIGITALIZADO: Ing. José Manuel
Torres R. Galperí
T.S.U. Ana María Paz P.
Elián Silva

REVISADO: Ing. Tiberio Roberto Cabret Romero

APROBADO: Dr. Henry Jirgin

ESCALA: 1:25.000 FECHA: 17/04/19

FUENTE: Barrera (Galperí, 1997). TOTAL DE MAPAS: 8





UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LÍNGÜES OCCIDENTALES
"FRANCISCO DE MIRANDA"

INSTITUTO DE INGENIERÍA Y SISTEMAS
MÓDULO DE INGENIERÍA EN SISTEMAS Y SERVICIOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS Y SERVICIOS
PROYECTO DE INGENIERÍA EN SISTEMAS Y SERVICIOS
PROYECTO DE INGENIERÍA EN SISTEMAS Y SERVICIOS
PROYECTO DE INGENIERÍA EN SISTEMAS Y SERVICIOS

PROYECCIÓN ORTOGONAL DEL
EJE EN EL BOCADO 1: 1000



LEYENDA

— DOBLE LÍNEA (CALLE)

— CUPIA EN UNO LEVANTADO (DIRECCIONAL)

UBICACIÓN RELATIVA



LEVANTADO: ING. TAYLA ROSARIO OLIVERA SUAREZ

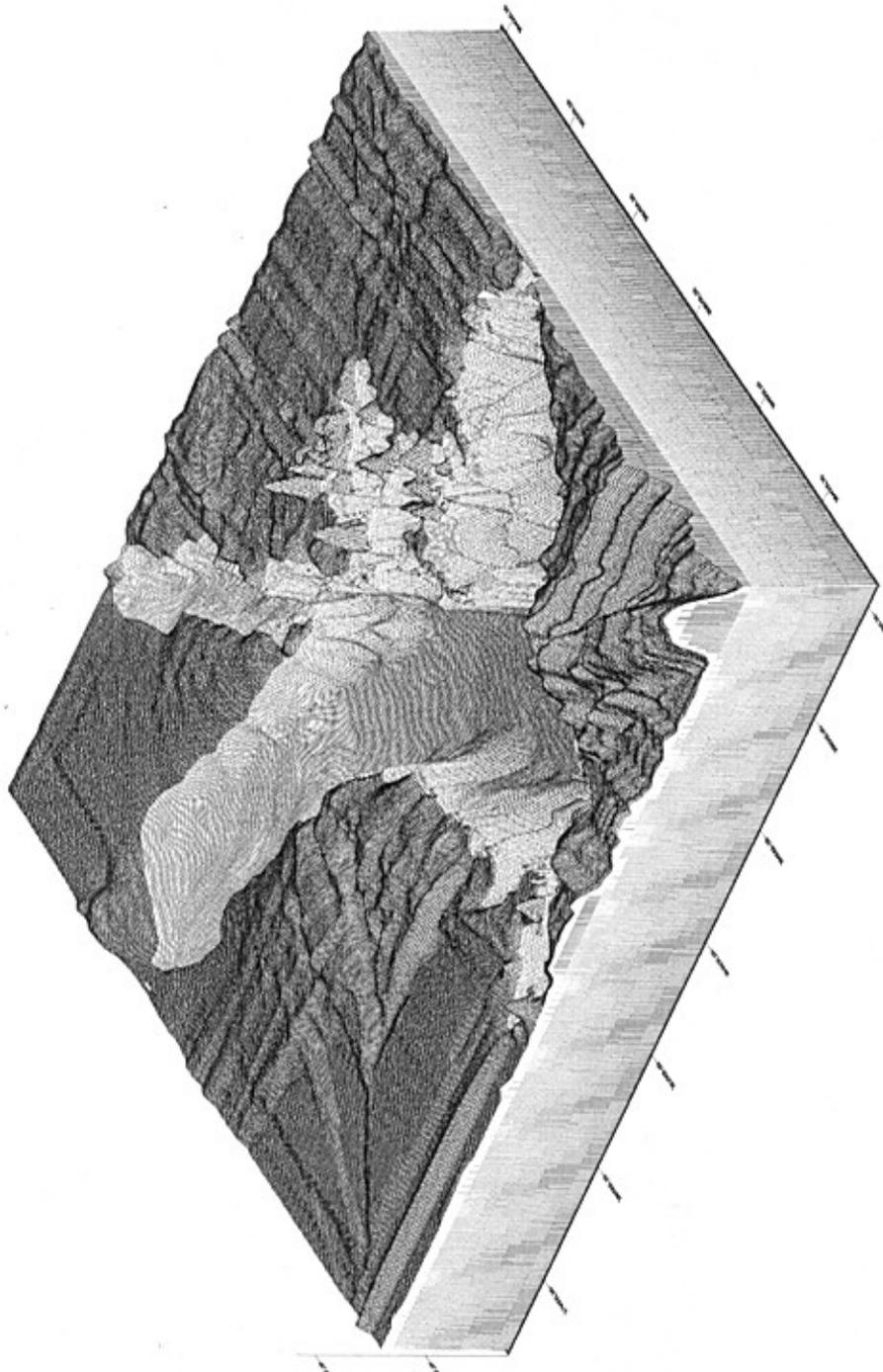
DISEÑADO: ING. ANDRÉS MORALES
ING. TAYLA ROSARIO OLIVERA SUAREZ
ING. TAYLA ROSARIO OLIVERA SUAREZ

REVISADO: ING. TAYLA ROSARIO OLIVERA SUAREZ

APROBADO: DR. VERA VEGA

FECHA: 11/05/2023

FUENTE: BARRIO DE SAN FRANCISCO DE ASIS, ZONA 10



MAPA

7

ESCALA 1:25.000

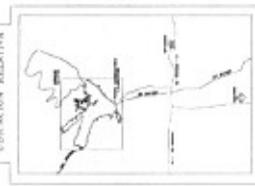


ELABORADOR: INGENIERO NACIONAL
INSTRUMENTACIÓN: U. N.
DISEÑO: LA CÁMERA

LEYENDA

| | |
|---|--|
| — | SECTOR DELA LARCA |
| 1 | SECTOR (Influencia aproximada: 1000 N) |
| 2 | SECTOR PPL (Influencia aproximada: 2000 N) |
| 3 | SECTOR (Influencia aproximada: 4000 N) |

UBICACIÓN RELATIVA



| | |
|----------------------|---|
| UNIVERSIDAD | ING. TOMÁS S. GARCÍA R. |
| PROFESOR | ING. JOSÉ M. MENDOZA T. S. LUANA ROSA P. P. ELIPE SELVA |
| AYUDANTE | ING. TOMÁS S. GARCÍA R. |
| ELABORADO | ING. MARIO RIZZO |
| REVISADO POR | ING. JOSÉ M. MENDOZA |
| FECHA DE ELABORACIÓN | NOVIEMBRE DE 1997 |



+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

174.000

174.500

175.000

175.500

176.000

176.500

177.000

177.500

178.000

