

NOTA DE INVESTIGACIÓN

CALCULO HIDROLÓGICO DE UN EMBALSE CON FINES DE RIEGO EN LA PROVINCIA DE CORRIENTES

CURRIE, Héctor M¹.; RUBERTO, Alejandro Ricardo²

¹Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE, e-mail: hmcurrie@agr.unne.edu.ar;

²Facultad de Ingeniería, UNNE, e-mail: aruberto@ing.unne.edu.ar

RESUMEN

La cuenca del arroyo Seco se desarrolla con orientación norte - sur en el centro de la provincia de Corrientes. Funciona como subcuenca del sistema del arroyo Curupicay que descarga en la cuenca del río Miriñay. El objeto principal de este trabajo es la ejecución de una presa sobre el cauce del arroyo Seco, realizando el estudio hidrológico del curso superficial y su cuenca hidrográfica con el fin de justificar su construcción y aplicarlo a un sistema productivo de arroz. Para ello se efectuó el levantamiento digital de la topografía y las áreas de drenaje del arroyo, para luego trazar la divisoria de la subcuenca y obtener la superficie de aporte hacia la presa. La cuestión hidrológica fue abordada calculando de escurrimiento por el método sintético de la Curva Número, comprobándose por medio del balance hídrico por el método de Thornthwaite. Finalmente se ha verificado la estabilidad de la presa con un grado de seguridad ($F_s = 4,3 > 1,5$ para obras hidráulicas menores) que satisface las condiciones impuestas en los reglamentos existentes. La presa aquí proyectada, garantiza el riego de entre 300 a 400 ha adicionales, dependiendo de la estrategia y la eficiencia del riego.

Palabras Claves: Presa, Arroyo Seco, arroz, Corrientes

SUMMARY

Seco rivulet basin is located at the centre of Corrientes Province, being north to south orientated. It is Curupicay rivulet subcatchment and discharges into Miriñay river basin. The aim of the present work was the construction of a dam over Seco Rivulet, studying superficial hydrological course and its basin in order to justified and to apply to a rice crop system. Digital raising of topographic and drainage areas were done, tracing the subcatchment boundary and obtaining the contributed area to the dam. Hydrological aspects were considered by runoff measurement using Curve Number method,

checking with Thornthwaite balance method. Dam stability had an adequate security rate ($F_s=4,3>1,5$ for small hydraulic works) that satisfied the rules of standing regulation. The projected dam will guarantee the irrigation of 300 o 400 additional hectares (741,3 to 988,4 acres) depending on management strategies and irrigation efficiency imposed.

Key words: dam, arroyo Seco, rice, Corrientes.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del arroyo Seco se encuentra ubicada en el centro este de la provincia de Corrientes en el Departamento Mercedes y funciona como subcuenca del arroyo Curupicay, teniendo su cauce principal una marcada orientación norte - sur. (Figura N°1)

La subcuenca de arroyo Seco tiene una superficie de 1.567,39 ha, representando un 1,2‰ de la cuenca del río Miriñay.

Los límites de la misma corresponden a las coordenadas 6.416.000 y 6.422.000 en sentido este - oeste y 6.760.000 y 6.780.000 en sentido norte - sur según el sistema de proyección de Gauss - Krüger utilizado por el IGM.

La cuenca hidrográfica tiene red de drenaje de tipo dendrítico - subdendrítico con afluentes que aportan intermitentemente hacia el cauce del Seco en períodos húmedos y cerca de la desembocadura ingresa en una planicie que le hace perder energía abruptamente sobre el arroyo Curupicay para posteriormente desembocar unos pocos kilómetros aguas abajo sobre el cauce del río Miriñay .

OBJETIVO

Diseñar y proyectar una presa de materiales sueltos sobre el cauce del arroyo denominado Seco para el uso consuntivo sobre el cultivo de arroz.

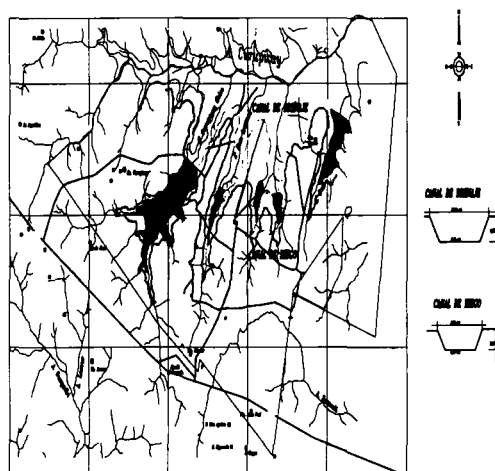


Figura 1: Croquis de la presa de arroyo Seco integrada presa Curupicay, tajamares y el sistema actual de riego.

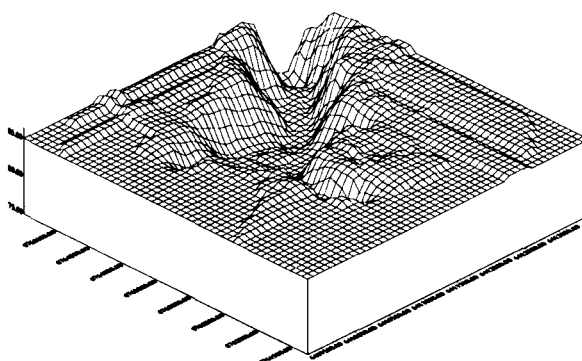


Figura 2: Modelo digital de terreno visto de aguas arriba hacia aguas abajo, en la traza de la presa (SURFER.7)

METODOLOGÍA:

1. Materiales - Dentro de los sistemas productivos de la cuenca del río Miriñay sobresale, por los volúmenes de consumo de agua, el cultivo del arroz hacia el cual se orientó éste estudio por ser proporcionalmente el de mayor presión sobre el recurso.

1.a. Hidrología - Para la realización del estudio hidrológico se comenzó por la digitalización (AUTOCAD® 2000) de la topografía existente más la de detalle necesaria para la cubicación del vaso dentro de lo que se considera el área de drenaje del arroyo Seco a fin de poder trazar la divisoria de cuenca y así obtener la superficie de aporte total en la sección de la presa. El área del proyecto se localiza sobre una planicie ondulada que se ubica entre las cotas 72 y 85 m.s.n.m. según IGM aproximadamente.

El arroyo Seco tiene una longitud del cauce principal de 5.214 m desde las nacientes del cauce hasta el cruce con la traza de la presa, un desnivel extremo de 8 m a considerar dentro del área a embalsar y una pendiente media del cauce principal medida en toda la cuenca de 4,93 m km⁻¹ ó 0,49%. (Figura 2). Posee una relación entre la superficie total de la cuenca de aporte y la superficie del lago de 1:12,5 (mayor a 1:10) que la torna aceptable para el embalse de volúmenes posibles para el llenado del vaso. Se calculó el aporte proveniente del escurrimiento directo con los métodos Racional y de la Curva Número (Aparicio, 1994). (Tabla 1). Los valores obtenidos fueron:

Tabla 1: Valores de Escurrimiento directo

Método	Caudal pico (m ³ s ⁻¹)
Racional	57,46
Curva Número	16,77

Dichos valores son caudales de punta necesarias para generar el hidrograma de escurrimiento directo tomando como sección de control la traza del embalse.

1.b. Edafología - Dentro del área de influencia de la cuenca se han identificado seis series de suelos (Escobar et al, 1996): Arroyo Vaca Cuá, Mocoretá, Mascada, Caneto, Pueblito y Puesto Colonia (Tabla 2). El vaso del embalse y los ensayos de mecánica de suelos se han realizado sobre los suelos de las series Arroyo Vaca Cuá, Mocoretá y Mascada

1.c. Vegetación - Ocupa el Subdistrito de las Sabanas parque de espinillos y sabanas abiertas; constituye la región natural de las colonias mesetiformes escalonadas del centro - sur de la provincia de Corrientes.

1.d. Precipitaciones - Los datos utilizados provienen de registros del INTA Mercedes, del Servicio Meteorológico Nacional y Estancia Itá Caabó (Período 1933/02). (Tabla 3).

Los valores anuales obtenidos fueron: el máximo absoluto acumulado de 541,6 mm en Enero de 1936; el máximo absoluto de 458 mm en 1965. Las precipitaciones mínimas absolutas se dan en los meses de Junio a Agosto con valores cercanos a 7 u 8 mm.

No existen registros pluviográficos cercanos al área del embalse, por lo que a falta de curvas IDF se consultaron las curvas de distribución del INTA Paraná; no obstante se calcularon las intensidades por el método de Nash (44 mm h⁻¹). Siendo que de las curvas IDF del INTA Paraná dio 33 mm h⁻¹ se optó por adoptar el valor de 44 mm h⁻¹ obtenido por Nash para un Tiempo de Retorno de 25 años de recurrencia.

Tabla 2: Principales variables físicas y químicas de los suelos del área de influencia de l embalse Arroyo Seco (Escobar y otros, 1996)

SERIE: MOCORETA								
HZTE	PROF. (cm)	ARC (%)	LIMO (%)	ARENA (%)		pH	S/T	PSI
				FINA	GRUESA			
A1	0-13	50.4	45.0	3.7	0.8	5.0	74	4.2
A2	13-30	51.7	44.5	3.3	0.4	5.6	75	8.8
Btss1	30-43	58.4	33.1	6.9	1.5	6.2	86	9.7
Btss2	43-98	56.4	32.9	8.6	2	7.2	95	13.0
Css	98+	35.2	46.5	15.0	3.2	7.6	98	10.5
SERIE: ARROYO VACA CUA								
A	0-24	30.6	58.4	9.1	1.9	7.8	99	11.0
AC	24-37	30.6	55.0	10.6	3.7	8.4	-----	-----
Ck	37-59	36.9	45.2	10.7	7.1	8.5	-----	-----
Cgk	59+	40.3	49.1	8.6	1.9	8.3	-----	-----
SERIE: MASCADA								
E	0-9	20.6	63.5	13.6	2.2	6.8	84	12.3
BAn	9-18	23.2	64.5	11.0	1.2	8.2	100	15.9
Btn	18-32	31.8	58.5	8.4	1.2	8.5	100	16.1
Btkn1	32-51	40.6	52.1	6.4	0.7	8.5	100	14.9
Btkn2	51-101	34.6	56.8	5.7	2.6	8.8	100	17.0
Ckn	101+	44.0	46.1	4.8	4.0	9.2	100	17.3

Tabla 3: Precipitaciones máximas, mínimas y medias absolutas para Mercedes (1933-1994) (Ruberto y otros, 2001)

PPT	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
MEDIA	125.4	133.9	143.6	165.21	113.25	82.22	65.15	58.9	73.9	146.3	133.7	115.8
MAX	540	441	418	559	361	380	197	171	291	369	417	376
MIN	7	5	23	14	7	1	3	6	7	9	7	2

1.e. Temperaturas - En el cuadro inferior se aprecian los promedios, las máximas y mínimas

absolutas. Téngase en cuenta que para una temperatura promedio de 20°C la

evapotranspiración diaria para el cultivo del arroz es de 6,58 mm.

1.f. Algunas consideraciones sobre la demanda hídrica del cultivo de arroz en la Provincia de Corrientes

El riego en el cultivo del arroz tiene un ciclo de 110 días, durante los cuales tiene una lámina permanente de agua de entre 5 y 10 cm que lo mantiene inundado desde unos 35 días luego de la siembra y hasta una dos semanas antes de la cosecha. La arrocera moderna consume en su ciclo alrededor de 12.500 a 15.000 m³ ha⁻¹ ciclo⁻¹ (1,25 a 1,5 m³ m⁻² ciclo⁻¹) como volumen más o menos fijo, con una dosis variable de riego de entre 0,9 a 1,2 l s⁻¹ ha⁻¹. Esta dosis es mayor durante la etapa inicial del riego, circunstancia en la cual alcanza hasta 2 l s⁻¹ ha⁻¹. Esto es en suelos de textura arcillo – limosos; en suelos arenosos, las dosis pueden ser sensiblemente mayores. El volumen de agua demandado en un ciclo agrícola de arroz es entre 790 a 950 hm³. Este volumen de agua demanda algo más de 15,3 millones de litros de gas – oil para su bombeo y rebombeo (Tabla 4), (Currie, 2002).

2. MÉTODOS

2.a. Generalidades - La construcción de pequeñas presas de materiales sueltos es practicada en la zona de estudio en varios lugares del Departamento Mercedes, (Corrientes), la construcción de las mismas tienen ventajas comparativas respecto a las de hormigón o de roca.

2.b. Estudio de suelos - El objetivo consiste en determinar las propiedades geotécnicas de los suelos existentes, para ser utilizados como fundación de una obra de presamiento y como material de construcción de la misma.

a. Como material de fundación: descripción del perfil estratigráfico del subsuelo mediante la identificación y clasificación de los estratos y determinar las propiedades de permeabilidad del suelo inalterado.

b. Como material de construcción: La determinación de las propiedades geotécnicas del subsuelo se realizó a partir del análisis e interpretación de los resultados de ensayos y estudios de campo y laboratorio.

En campo se realizaron sondeos de reconocimiento con barrenos y un ensayo de permeabilidad con carga variable (Terzaghi y Peck, 1955).

Tabla 4: Balance hídrico del cultivo de arroz por el Método de Blaney y Criddle

MESE	T°C MD	TP AJST	Ins. (P)	F = Pa x Ta	Coef. UC (K)	U. C. (mm)	UC (mm/día)	P	P x 0.8	Lam. Rep (0.8*P - UC)	CT (Lam./Ef)	N° Rg/Mes	LÁMINA (mm/día)
AGOS.	14,30	1,071	7,80	8,35	0,65	54,30	1,81	25,0	20,00	-34,30	-46,30	15,00	-3,09
SET.	15,20	1,227	8,09	9,93	0,70	69,49	2,32	168,0	134,40	64,91	87,64	15,00	5,84
OCT.	19,30	1,448	9,00	13,03	1,00	130,32	4,34	17,0	13,60	-116,72	-157,57	30,00	-5,25
NOV.	21,40	1,779	9,40	16,72	1,10	183,95	6,13	0,0	0,00	-183,95	-248,33	30,00	-8,28
DIC.	23,60	2,020	9,80	19,80	1,20	237,55	7,92	30,0	24,00	-213,55	-288,30	30,00	-9,61
ENE.	23,40	2,175	9,69	21,08	1,30	273,98	9,13	42,0	33,60	-240,38	-324,52	30,00	-10,82
FEB.	21,10	2,130	8,33	17,74	1,10	195,17	6,51	185,0	148,00	-47,17	-63,68	30,00	-2,12
MAR.	22,20	1,856	8,63	16,02	0,90	144,16	4,81	162,5	130,00	-14,16	-19,11	15,00	-1,27
ABR.		1,458	11,50	0,00	0,00	0,00		0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAYO		1,185	10,60	0,00	0,00	0,00		0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
JUNIO		1,000	10,20	0,00	0,00	0,00		0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
JULIO		0,947	10,40	0,00	0,00	0,00		0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						1288,92*	5,370				-1013,87**		

* Lámina del cultivo del Arroz: (1,3 = m³/m²/ciclo)

** Lámina de Riego A Compensar :(1,014 = m³/m²/ciclo)

Tabla 5: Principales variables mecánicas de los suelos del área de influencia del embalse Arroyo Seco (Escobar y otros, 1996)

Perf N°	Prof(m)	Wn(%)	LL(%)	LP(%)	IP(%)	SUCS	H.R.B.	DESCRIPCIÓN
1	0-0.25	21.7	44.0	28.0	16.0	OL	A-7-6(9)	Limo Orgánico de baja plasticidad
1	0.25-0.75	22.2	55.4	22.5	32.9	CH	A-7-6(20)	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
2	0.0-0.30	18.3	48.4	28.0	20.8	OL	A-7-6(11)	Limo Orgánico de baja plasticidad
2	0.30-0.80	20.1	58.4	20.6	37.8	CH	A-7-6(20)	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
2	0.80-1.40	18.7	62.0	21.8	40.2	CH	A-7-6(20)	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
3	0.0-0.20	17.7	44.8	16.2	28.6	OL	A-7-6(16)	Limo Orgánico de baja plasticidad
3	0.20-0.75	20.7	59.3	21.2	38.1	CH	A-7-6(20)	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
Coeficiente de permeabilidad horizontal							kh	1.28E- ⁰⁵ cm s ⁻¹
Coeficiente de permeabilidad vertical							kv	1.29E- ⁰⁷ cm s ⁻¹
Densidad máxima							da	1.68 g cm ⁻³
Humedad Optima							HO	20.30%

Los sondeos con barrenos permitieron identificar los diferentes horizontes del subsuelo y el ensayo de permeabilidad en campo tuvo como propósito

determinar los coeficientes de permeabilidad horizontal y vertical para permitir el trazado de las líneas de flujo bajo la presa.

En laboratorio se realizaron ensayos para determinar la humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el porcentaje retenido sobre el tamiz N° 200, de cada una de las muestras recolectadas en campo (Tabla 5). Con material de los estratos que serán utilizados en la construcción de la presa, se realizaron ensayos de compactación, permeabilidad sobre muestras compactadas y dispersión (Pin hole) (Terzaghi y Peck, op.cit).

2.c. Dimensionamiento - Se estableció la cota del vertedero a un valor 79,80 IGM condicionado por las obras de canalizaciones ya existentes. Al coronamiento dio un valor de 5,00 m, para el cual se ha previsto un camino superior transitable que vincule ambas márgenes. Dicho valor satisface la condición mínima, dada por el Bureau of Reclamation de 12 pies ó 3,66 m (USBR, 1972).

Se ha adoptado un talud de espaldón de aguas arriba de 1:3 y el de aguas abajo es de 1:2; límite extremo permitido para obras pequeñas, considerando el material de la sección homogéneo de arcilla seleccionada, con propósito de almacenamiento y no estando sujeta a desembalse rápido.

El talud de aguas arriba se protegerá con roca excavada del lugar colocada a mano sobre una capa de grava inferior de 30 cm de espesor. Para el de aguas abajo se colocará un pequeño manto de tierra vegetal y pasto del lugar a fin de proteger el mismo contra la erosión y la dispersión de los suelos; tendrá un espesor de 20 cm.

Para el resguardo o altura de protección se ha calculado, con suficiente margen aplicando la fórmula de Stevenson (Vallarino, 1995), dando un valor de altura de la ola de 0,91 m. También se han seguido recomendaciones de la ASCE calculando el fetch y su respectiva altura de ola, dando 0,96 m. Según Gaillard (Vallarino, op. cit.) para valores comprendidos entre 0,3 m y 2,1 m la velocidad del agua es de $v = 1,52 - 2 \cdot 0,96$ (en m. s⁻¹) dando = 3,44 m s⁻¹; y según Knappen (Vallarino op. cit.) el resguardo mínimo dio 1,35 m. Con todos estos métodos se optó por adoptar un resguardo conservador de 1,5 m.

2.d. Verificación de la estabilidad de taludes -

Se ha calculado el factor de seguridad contra el deslizamiento como la relación del promedio de la resistencia al esfuerzo cortante, determinada sobre la base de un planteo estático. Se realizó la verificación de los coeficientes de estabilidad durante la construcción (en donde se funda directamente sobre roca), dando:

- Talud de aguas arriba: $F_s = 4,88 > 1,5$ para obras hidráulicas menores.; - Talud de aguas abajo: $F_s = 4,25 > 1,5$ para obras hidráulicas menores.

Una falla por deslizamiento del talud de una presa llena suele acarrear consecuencias catastróficas, por lo que en este caso se ha

resuelto adoptar una actitud conservadora y adoptar los recaudos de seguridad necesarios para garantizar la estabilidad de la misma.

Para el cálculo la supuesta faja deslizante se ha subdividido en franjas verticales trapezoidales y triangulares en los extremos. Los lados curvos se sustituyeron por segmentos rectos. Para que todo esto sea admisible y la subdivisión responda a la estructura interna de la presa se han seguido las siguientes reglas:

1) El ancho de las rebanadas lo más uniforme posible y que la forma de rectificación de la parte curva sea lo más aceptable posible, debiéndose reducir el ancho en caso de que la curvatura sea muy pronunciada.

2) El número de rebanadas debe ser mínimo, para que sea más fácil el cálculo, pero sin olvidarse de las condiciones del punto anterior.

En base a estas consideraciones se ha juzgado conveniente dividir cada posible superficie de falla en siete (7) fajas. Las fuerzas actuantes en cada rebanada y que serán lógicamente aquellas que determinarán la estabilidad de la presa serán:

- El peso **P** de la rebanada, igual a su área por el peso específico (suelo más agua embebida), que se descompone en una componente normal a la base, $N = P \cdot \cos \alpha$, y otra tangencial $T = P \cdot \sin \alpha$.

- La fuerza hidrostática interna **U** que actúa en la base, igual a su longitud por la presión intersticial **u**. Si **a** es el ancho de la rebanada

$$U = \frac{u \cdot a}{\cos \alpha} \quad [1]$$

- La fuerza resistente debida a la cohesión, **C** = $c \cdot a / \cos \alpha$, que actúa en la base y tangencialmente a ella (c es la cohesión del suelo obtenida del ensayo hecho en el laboratorio de suelos).

- La fuerza total que puede resistir la base debida al rozamiento

$$\text{tg } \alpha: (N-U) \cdot \text{tg } \phi \quad [2]$$

- Se prescinde del efecto de las fuerzas que actúan en planos de contacto entre rebanadas debido a que se anulan entre sí.

La suma de todas las fuerzas activas sobre la superficie deslizante es:

$$\sum T = \sum P \cdot \sin \alpha \quad [3]$$

y la de las fuerzas resistentes

$$\sum [C + (N-U) \cdot \text{tg } \phi] \quad [4]$$

Luego el coeficiente de seguridad será:

$$F_s = \frac{\sum [C + (N-U) \cdot \text{tg } \phi]}{\sum T} \quad [5]$$

$$F_s = \frac{\sum \left[\frac{c \cdot a}{\cos \alpha} + (P \cos \alpha - \frac{u \cdot a}{\cos \alpha}) \cdot \text{tg } \phi \right]}{\sum P \cdot \sin \alpha} \quad [6]$$

Del análisis del resultado arrojado por el método se estima el coeficiente de seguridad en un valor de $F_s \approx 4,3$ con lo que se supera holgadamente las necesidades impuestas a este tipo de obras. Para el vaciado rápido no se consideraron las consecuencias debido al uso a dar a la presa.

2.e. Vertedero - Se lo ha dimensionado con dos criterios de diseño: que descargue completamente el hidrograma de escurrimiento directo generado en la cuenca con el embalse lleno y diseñando un vertedero de forma trapecial (tipo Cipolletti) que posea taludes tales que permitan el tránsito de vehículos por sobre el coronamiento. Los resultados son, para evacuar $57,46 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, un ancho de solera de 50 m vertiendo un tirante de 1,00 m. Taludes de 1:5 (camino - vertedor), sección mojada de 55 m^2 .

Y la verificación del vertedor de pared gruesa de las velocidades generadas en su labio (con material rocoso) es de $1,04 \text{ m s}^{-1}$, valor aceptable y no erosivo para dicho material.

2.f. Filtro - Primeramente se realizó la red de filtración para determinar las fuerzas originadas por la acción del agua. El material para la construcción del filtro se compone de una primera capa de arena en la parte inferior, y luego una segunda capa, superior compuesta de enrocamiento asentado sobre grava, similar a la protección utilizada para el talud aguas arriba. El material a colocar en el interior del filtro será el que pasa por el tamiz 3" (7,5 cm) y queda retenido totalmente en el tamiz N° 40.

2.g. Canal de restitución - Se presenta en la Tabla 6 adjunta el dimensionamiento del canal de restitución, el cálculo de las pendientes entre curvas de nivel, y el cálculo del volumen de excavación.

Se han verificado las velocidades admisibles debido a las altas pendientes localizadas para suelos de roca excavada ($V_{adm} = 2,10 \text{ m s}^{-1}$).

Finalmente se diseñó el canal con descarga directa al cauce del arroyo y no fue necesario diseñar un cuenco amortiguador debido al bajo número de Froude obtenido (0,05).

RESULTADOS

El volumen de movimiento de suelos correspondiente a la presa propiamente dicha es de 105.381 m^3 .

El lago máximo a embalsar cubrirá una superficie de 126,24 ha a cota 79,80 IGM y podrá almacenar, a dicha cota $4,3 \text{ hm}^3$.

Los perfiles de suelo obtenidos se caracterizan por presentar gran homogeneidad, permitiendo realizar una descripción general para todo el sector de estudio:

* En superficie existe una capa de suelo limoso orgánico de aproximadamente 25 cm con presencia de materia vegetal, el cual clasifica como OL según el S.U.C.S. y como A-7-6 según el H.R.B (USBR, 1972).

* Entre los 0,25 y 0,80 m aproximadamente, existe un estrato de arcilla de alta plasticidad, clasificada en laboratorio como CH según el S.U.C.S. y como A-7-6 según el H.R.B. Este tipo de arcillas se caracteriza por presentar valores muy bajos de permeabilidad, con un Coeficiente k del orden de $1 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$ es decir, prácticamente impermeable.

* Como particularidad, en el Perfil N° 2 se encontró entre los 0,80 y 1,40 m se encontró un estrato de arcilla marrón que presentaba un pequeño porcentaje de grava. Esta arcilla también clasifica como CH según el S.U.C.S. y como A-7-6 según el H.R.B.

Tabla 6: Cuadro de comprobación de velocidades – Volumen de excavación – N° de Froude

Curvas de Nivel	Desnivel (m)	Longitud (m)	I (m m^{-1})	I (m km^{-1})	Velocidad (m s^{-1})	N° Froude
79,5-78	1,5	161,91	0,0093	9,26	2,10	0,05
78-76	2	334,56	0,0060	5,98	1,69	0,03
76-74	2	366,96	0,0055	5,46	1,61	0,03
74-72	2	174,79	0,0092	9,15	2,09	0,05
72-76	2	800,41	0,0062	6,25	1,73	0,02
		1.838,06		Rh	0,82	-----
				Vad	2,10	m s^{-1}
				Q	22,3	$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$
				Sección	10,62	m^2
				Vol Exc.	24.398	m^3
				Canal de Rest.		

El ensayo de permeabilidad en campo demostró que existe gran diferencia entre los coeficientes de permeabilidad vertical y horizontal, siendo el horizontal mucho mayor.

Los ensayos de compactación presentaron una curva "humedad-densidad" con un comportamiento característico a los suelos arcillosos, es decir con un pico bien identificado, permitiendo obtener en forma confiable valores

de densidad máxima y humedad óptima. Mediante el ensayo de Pin Hole se determinó que el estrato de arcilla encontrada entre los 0,25 y 0,80 m es altamente resistente a la erosión por dispersión (ND1). No pudo determinarse en forma precisa el coeficiente de permeabilidad del suelo compactado a partir del ensayo en laboratorio. Sin embargo, se puede estimar que el mismo es del orden de $1 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$.

Se ha trabajado con el caudal obtenido por el método racional de $56,46 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ que, si bien es tendencioso en exceso, cubre futuros cambios de uso del suelo que promuevan una concentración más rápida (en menor tiempo) del hidrograma de escurrimiento directo. La verificación de los coeficientes de estabilidad durante la construcción han dado valores satisfactorios de: - Talud de aguas arriba: $F_s = 4,88 > 1,5$ para obras hidráulicas menores y Talud de aguas abajo: $F_s = 4,25 > 1,5$ para obras hidráulicas menores. El vertedor soporta velocidades de $1,04 \text{ m s}^{-1}$ y el canal de restitución será sometido a velocidades de $2,10 \text{ m s}^{-1}$ sobre la roca constitutiva de la solera. El número de Froude a que descarga dicho canal es de 0,05 (Flujo subcrítico).

CONCLUSIONES

Basándose en lo visto anteriormente puede asegurarse la **estabilidad de la presa** con un grado de seguridad que satisface plenamente las condiciones impuestas en los reglamentos existentes. La pequeña presa aquí proyectada se conecta al sistema de riego existente en todo el campo, garantizando el **riego de entre 300 a 400 ha** más, dependiendo de la estrategia y la eficiencia de la lámina de aplicación efectiva de riego. El estrato de arcilla encontrada entre los 0,25 y 0,80 m es altamente **resistente a la erosión por dispersión (ND1)**. La **permeabilidad** del suelo seleccionado es muy baja ($1 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$), lo que minimiza el flujo subsuperficial de manera notable. El conjunto **vertedor canal de restitución** soporta altas velocidades y producen la restitución al cauce disipando totalmente la energía que poseen.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio Mijares, Javier. (1994). "Fundamentos de hidrología de superficie"; Limusa-Noriega editores; México DF.
- AutoCAD® 2000. AutoDesk Copyright®, (°1982-1999) Inc. All rights reserved. USA
- Currie, H.M. (2002) "Evaluación de los sistemas arroceros a través de indicadores de eficiencia". AGROTECNIA N° 8 (2002) SIN: 0328-4077: 8-13

- Escobar, E.H.; Ligier, D.H.; Melgar, R.; Vallejos, O. (1996). Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes. Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales E.E.A. INTA - Corrientes. 218 pp.
- Ruberto, A.; Currie, H. (2001) Evaluación del recurso hídrico de la cuenca del Río Miriñay con aplicación a la actividad productiva. Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Cuenas Hidrográficas (UNR - PHI-PNUMA-UNESCO). Rosario, Santa Fe, Argentina - 08 al 12 de Octubre de 2001. Resúmenes, : 94.CD-T22.
- SURFER®. Version 7. Copyright® 1999. Golden software, Inc. USA .
- Terzaghi, K y Peck, R. (1955). "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica". Ed. El Ateneo, sexta reimpresión: 53.
- United States Bureau of Reclamation. (1972). "Diseño de pequeñas presas". Ed. CECOSA. México.
- Vallarino, E. (1995). "Tratado básico de presas". Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid. España. 1013 p.