



**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LAS RESERVAS MENSUALES DE AGUA
EN EL PERÍODO 1960-2000, PARA LA CUENCA DEL RÍO PURAPEL,
REGIÓN DEL MAULE.**

MARIELA IVANIA HORMAZÁBAL PAREJA

**Memoria para optar al título de
INGENIERO FORESTAL**

PROFESOR GUÍA: Dr. ROBERTO PIZARRO TAPIA.

INTRODUCCIÓN

- El agua es uno de los recursos que esta presente en todas las zonas de asentamientos de la humanidad.
- Las reservas naturales han disminuido de manera preocupante.
- Una de las fuentes más importantes de que dispone el hombre para el abastecimiento de agua, lo constituyen las reservas subterráneas.
- Importancia de investigar y estudiar la manera que cambian las reservas hídricas dentro de la cuenca.

INTRODUCCIÓN

- ¿Cómo influye la vegetación en cada uno de los elementos del balance hídrico?

$$P + R = Q + E + R + \phi R$$

- Se realizará un análisis de las reservas mensuales, en el periodo 1960-2000, en la cuenca del río Purapel, Región del Maule.

OBJETIVOS

■ GENERAL

- Aportar al conocimiento del comportamiento de las aguas subterráneas en cuencas costeras de la Región del Maule.

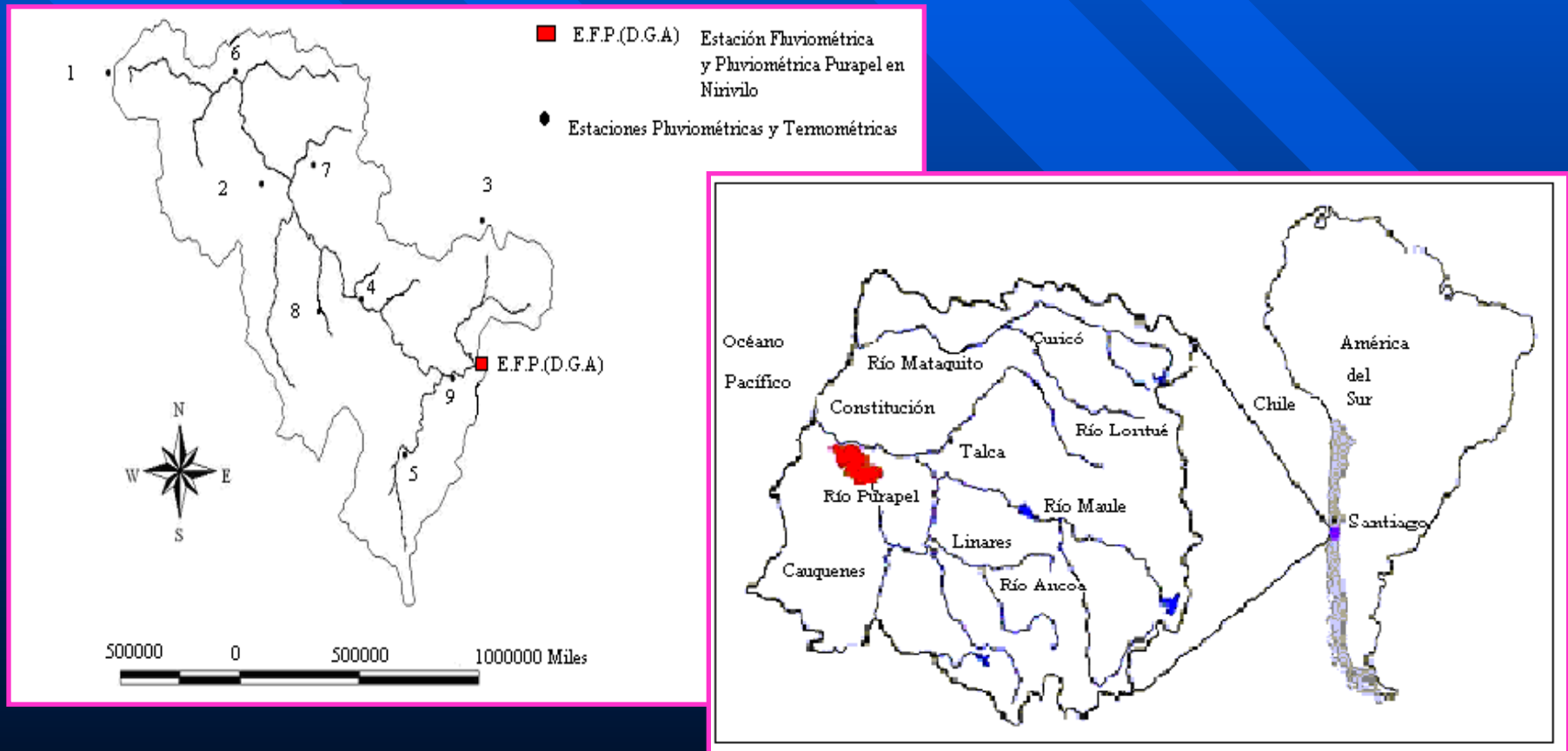
■ ESPECÍFICOS

- Obtener cuantitativamente la variación de reservas mensuales de agua en el período 1960-2000.
- Inferir si las forestaciones masivas han incidido en la capacidad de almacenamiento de la cuenca, a través del análisis de la variación de reservas y de la ocupación forestal del suelo de la cuenca.

ANTECEDENTES GENERALES

Antecedentes de la Cuenca Purapel.

Antecedentes de la Cuenca Purapel.



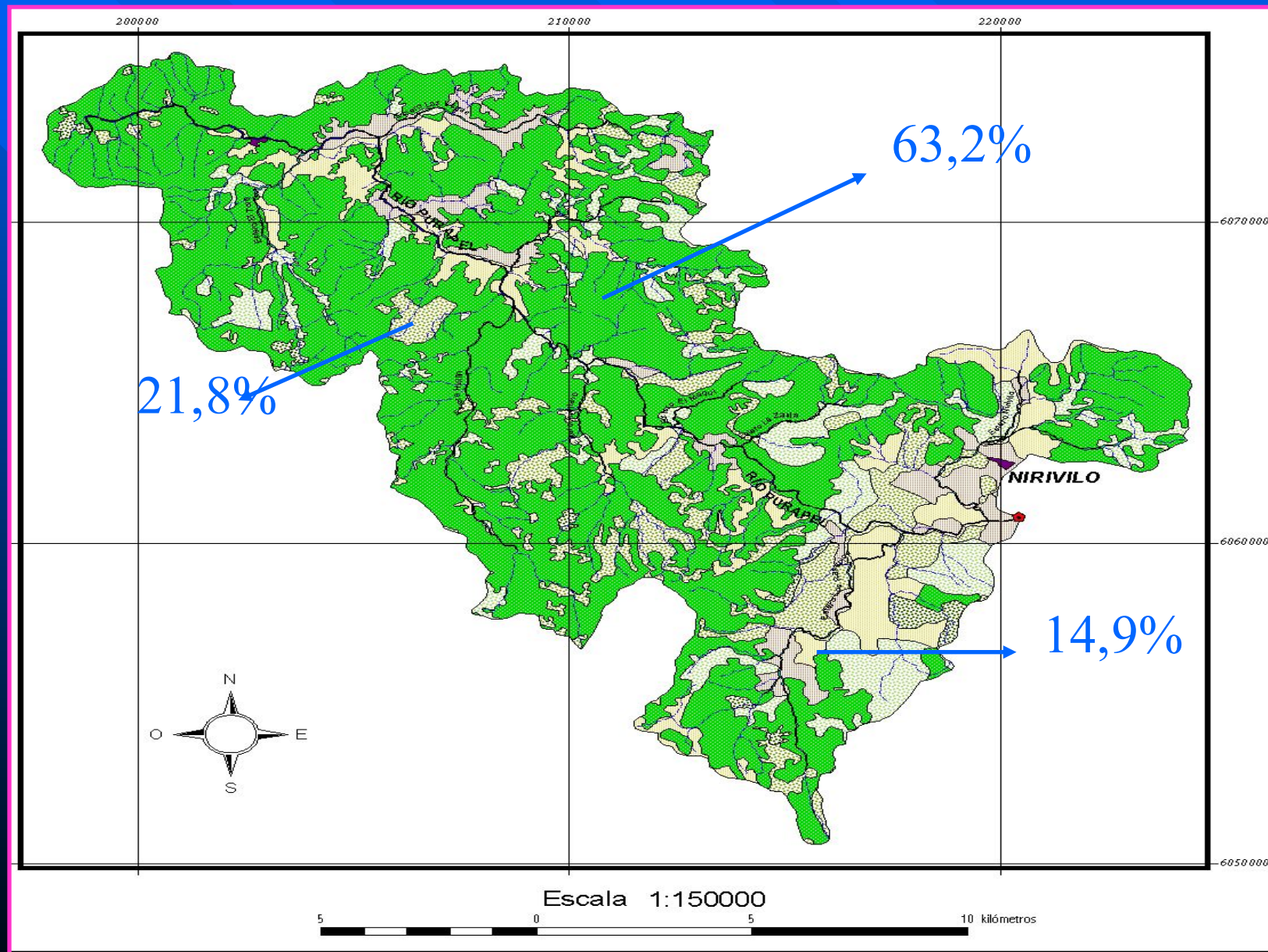
Mapa de la cuenca del Purapel, Región del Maule.

ANTECEDENTES GENERALES

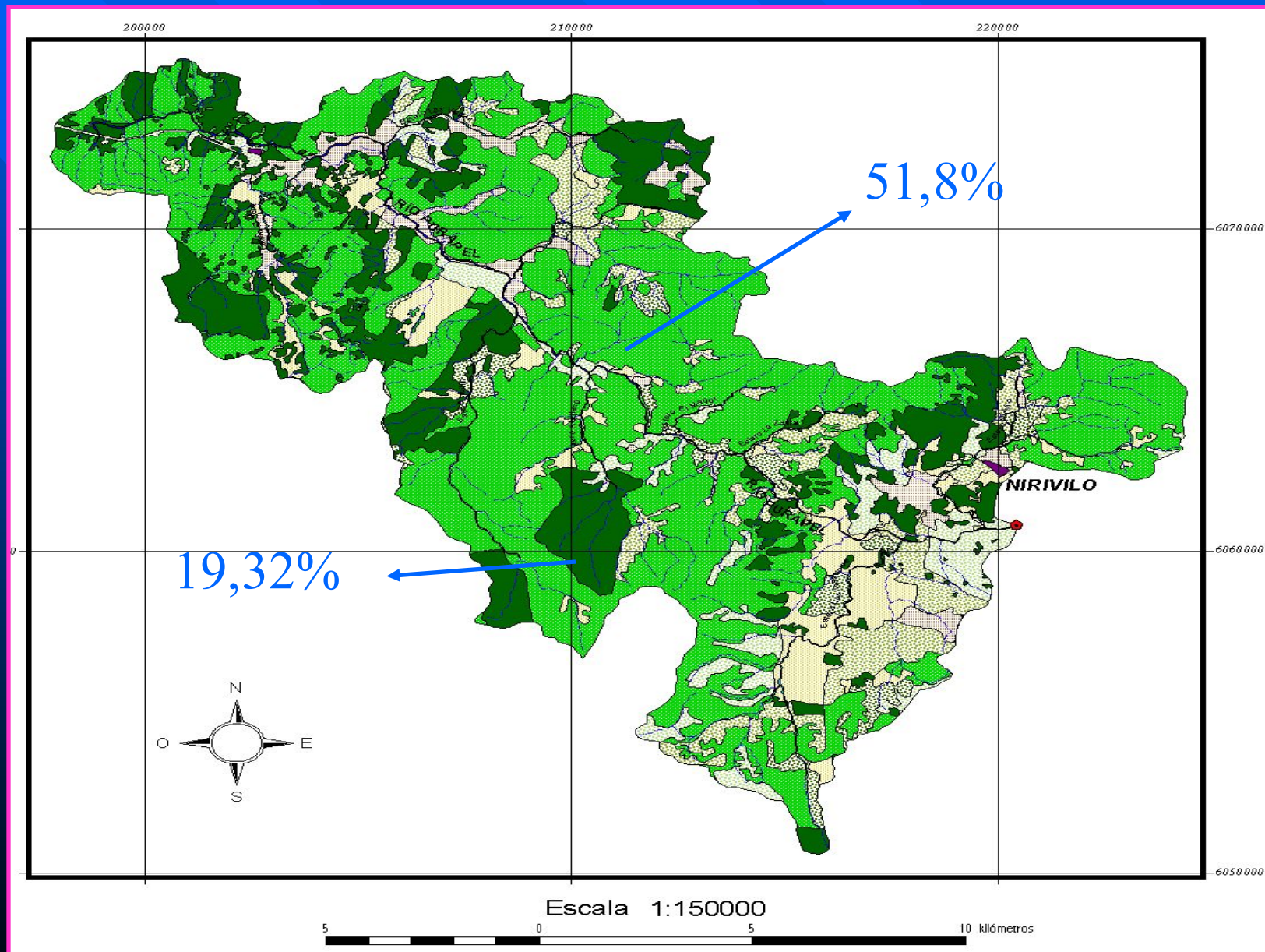
Antecedentes de la Cuenca Purapel.

Situación Vegetacional de la Cuenca Purapel.

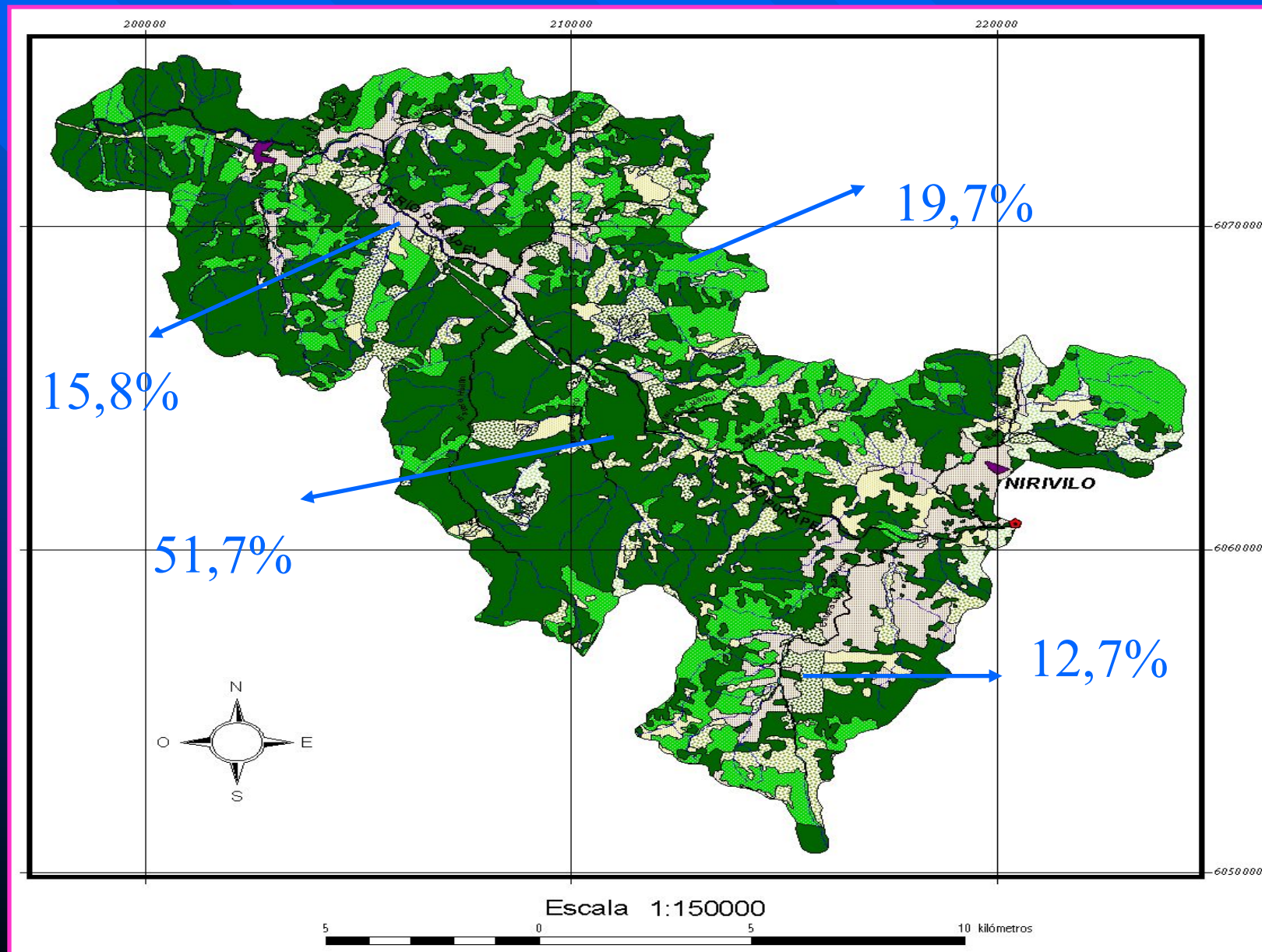
Situación Vegetacional, año 1955.



Situación Vegetacional, año 1978.



Situación Vegetacional, año 1997



METODOLOGÍA

OBTENCIÓN DE LA
INFORMACIÓN

OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

■ **Revisión Bibliográfica.**

- **Temas relacionados principalmente con precipitaciones, curvas de descarga, hidrogramas, curvas recesivas y capacidad de almacenamiento.**

■ **Captura de la información.**

- **Información fluviométrica y pluviométrica.**

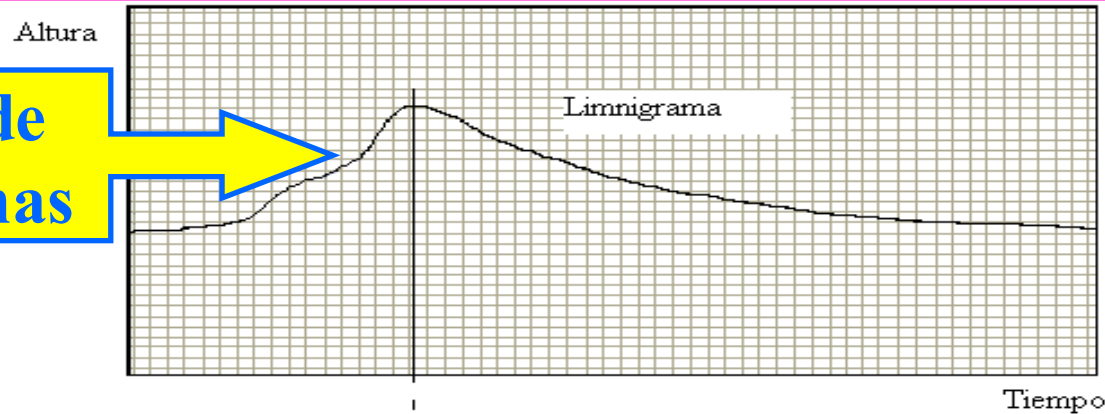
METODOLOGÍA

OBTENCIÓN DE LA
INFORMACIÓN

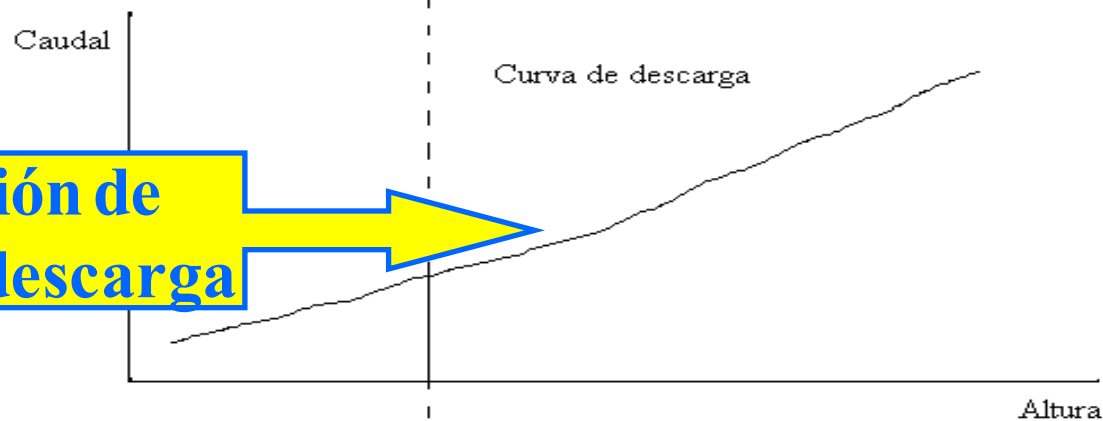
OBTENCIÓN DE
HIDROGRAMAS

OBTENCIÓN DE HIDROGRAMAS

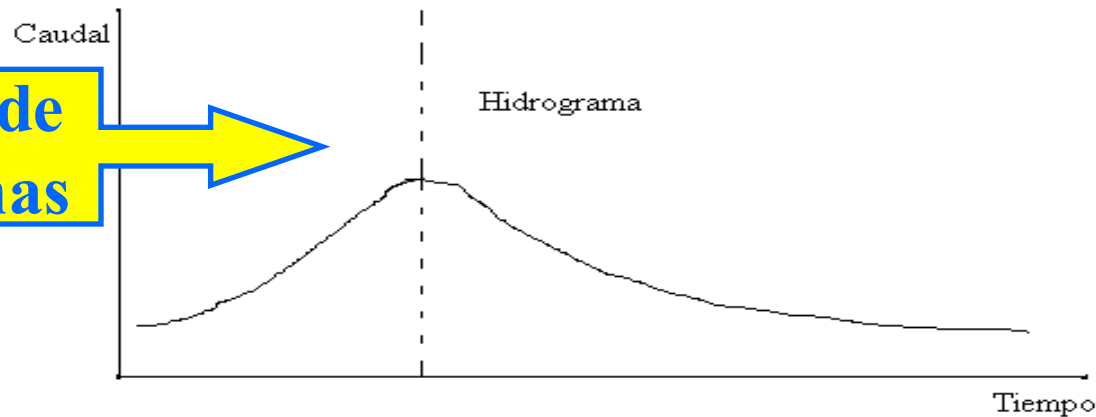
**Análisis de
limnigramas**



**Confección de
curvas de descarga**



**Obtención de
hidrogramas**



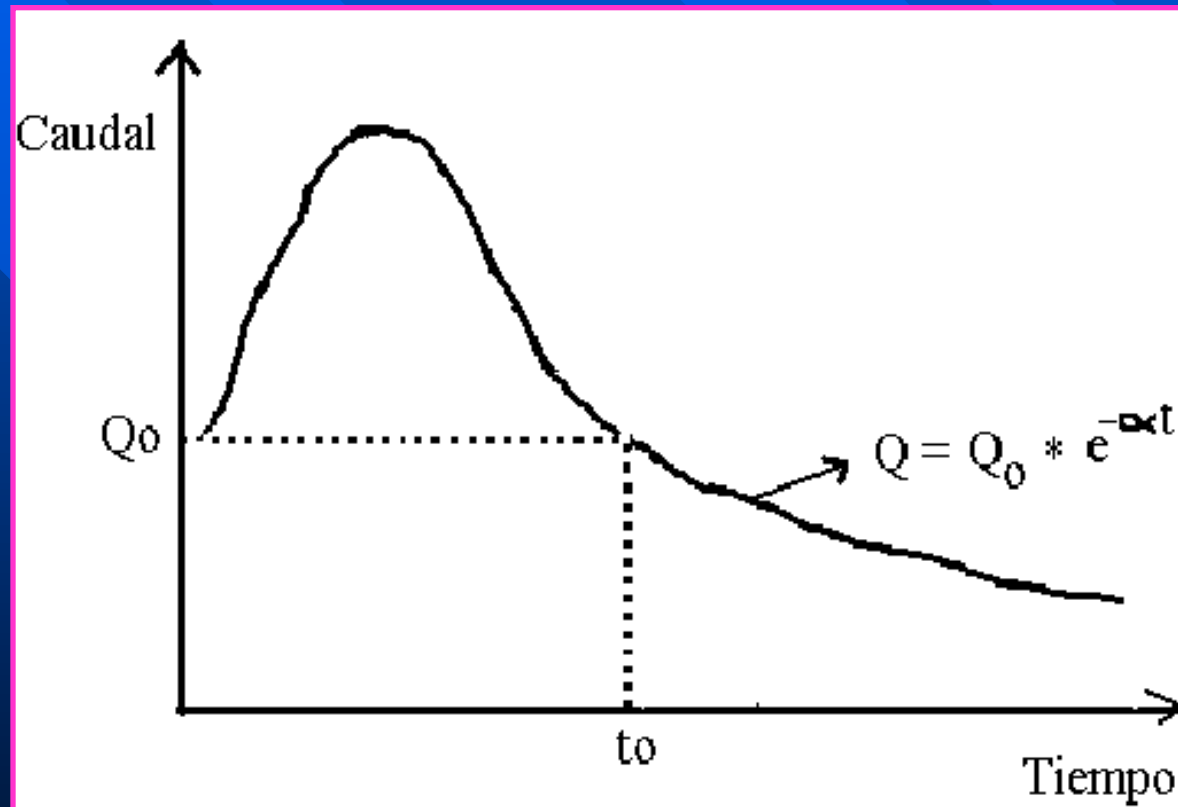
METODOLOGÍA

OBTENCIÓN DE LA
INFORMACIÓN

OBTENCIÓN DE
HIDROGRAMAS

CÁLCULO DE LAS
RESERVAS

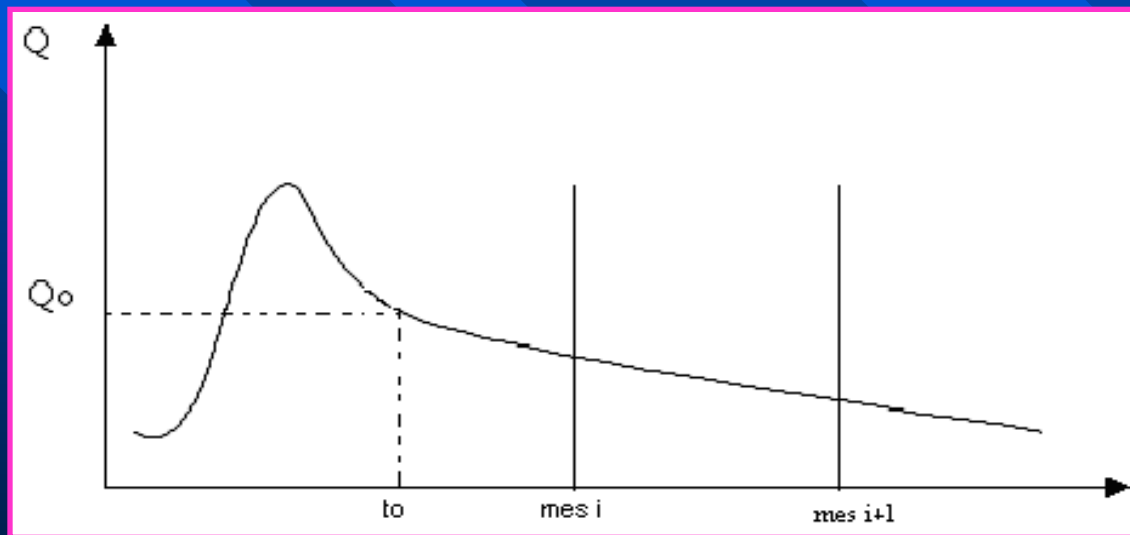
CÁLCULO DE LAS RESERVAS



Ajuste y evaluación de la función propuesta para el cálculo de las reservas.

Cálculo de las reservas al inicio y al final de cada mes.

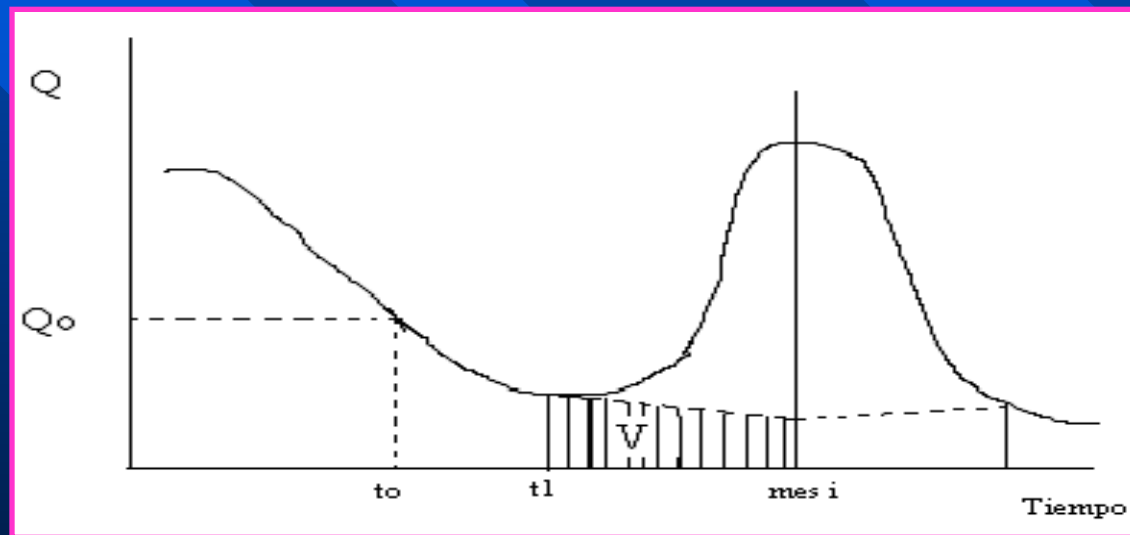
■ Caso 1:



$$Re(i) = \int_{t_0}^{\infty} Q_0 * e^{-\alpha t} dt - \int_{t_0}^{t_1} Q_0 * e^{-\alpha t} dt$$

Cálculo de las reservas al inicio y al final de cada mes.

■ Caso 2:



$$Re(i) = \int_{t_0}^{\infty} Q_0 * e^{-\alpha t} dt - \int_{t_1}^{t_1} Q_0 * e^{-\alpha t} dt - V$$

METODOLOGÍA

OBTENCIÓN DE LA
INFORMACIÓN

OBTENCIÓN DE
HIDROGRAMAS

CÁLCULO DE LAS
RESERVAS

ANÁLISIS DE LAS
RESERVAS

ANÁLISIS DE LAS RESERVAS

ANÁLISIS GRÁFICO

Medias
Móviles

- A nivel mensual
 - Invernales
 - Estivales
- Para el continuo de los datos.
 - Por décadas.
 - Por periodos

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

U de
Mann-Whitney

- Interdecadal
 - A nivel mensual
 - Continuo de los datos
- Entre periodos
 - A nivel mensual
 - Continuo de los datos

CONSTRUCCIÓN DE VARIABLES

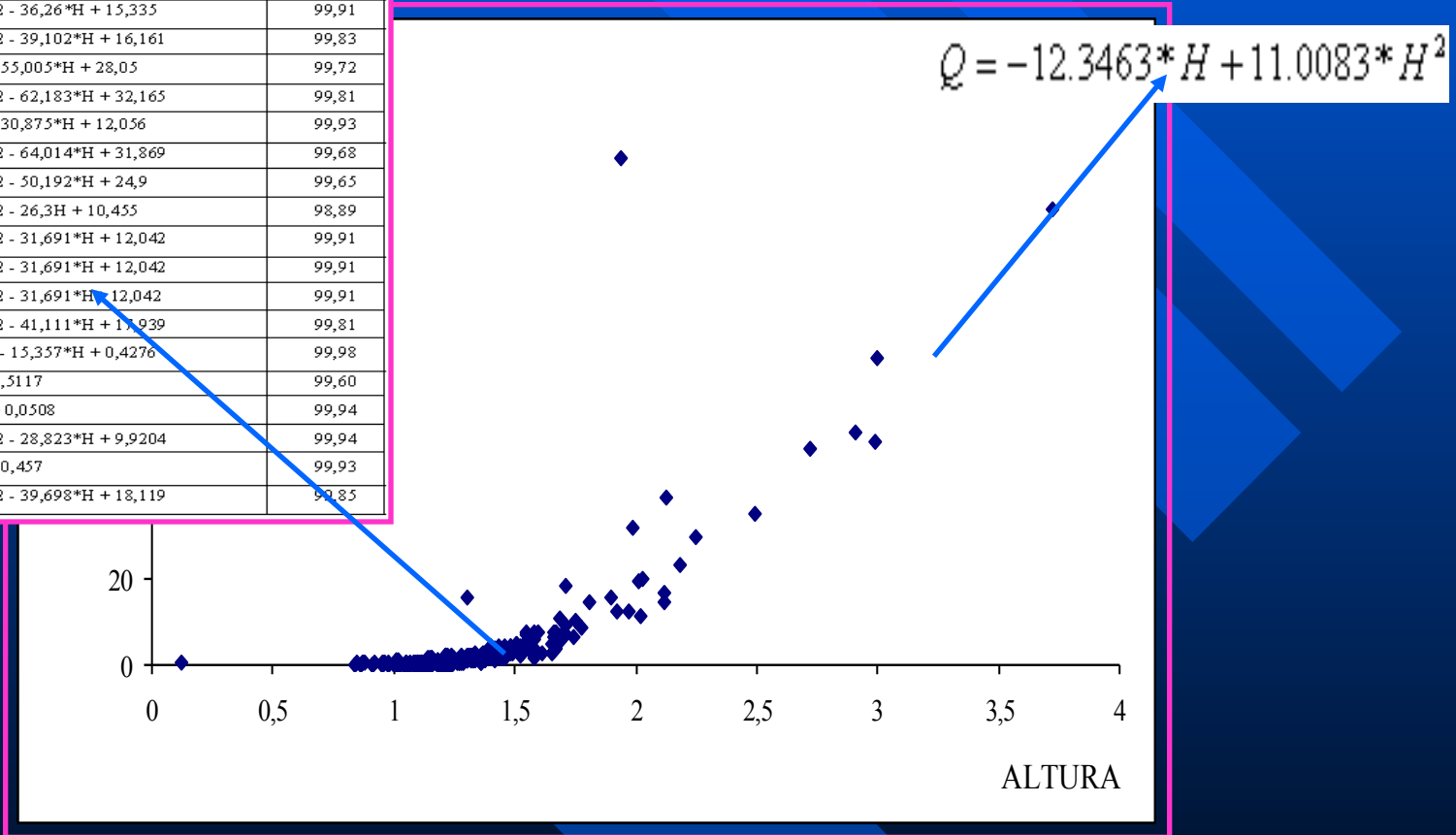
- Precipitaciones y reservas mensuales (P_m/R_m)
- Reservas y precipitaciones anuales (R_f/P_f)



**PRESENTACIÓN Y
DISCUSIÓN DE
RESULTADOS**

CURVAS DE DESCARGA

Período de validez de la curva	MODELO (CURVA)	(R ²) Coef. Deter.
1961 – 1962	$Q = -1,3978 * H^3 + 21,323 * H^2 - 35,75 * H + 15,773$	99,96
1963 – 1964	$Q = -1,7611 * H^3 + 23,94 * H^2 - 41,415 * H + 19,206$	99,94
1965 – 1966	$Q = -1,5235 * H^3 + 21,945 * H^2 - 36,26 * H + 15,335$	99,91
1967 – 1968	$Q = -1,7895 * H^3 + 23,622 * H^2 - 39,102 * H + 16,161$	99,83
1969 – 1970	$Q = -2,45 * H^3 + 29,538 * H^2 - 55,005 * H + 28,05$	99,72
1971 – 1972	$Q = -3,0014 * H^3 + 33,188 * H^2 - 62,183 * H + 32,165$	99,81
1973 – 1974	$Q = -1,13 * H^3 + 19,293 * H^2 - 30,875 * H + 12,056$	99,93
1975 – 1976	$Q = -3,2815 * H^3 + 34,717 * H^2 - 64,014 * H + 31,869$	99,68
1977 – 1978	$Q = -2,2317 * H^3 + 27,647 * H^2 - 50,192 * H + 24,9$	99,65
1979 – 1980	$Q = -0,9153 * H^3 + 17,346 * H^2 - 26,3H + 10,455$	98,89
1981 – 1982	$Q = -1,2287 * H^3 + 19,875 * H^2 - 31,691 * H + 12,042$	99,91
1983 – 1984	$Q = -1,2287 * H^3 + 19,875 * H^2 - 31,691 * H + 12,042$	99,91
1985 – 1986	$Q = -1,2287 * H^3 + 19,875 * H^2 - 31,691 * H + 12,042$	99,91
1987 – 1988	$Q = -1,8407 * H^3 + 24,231 * H^2 - 41,111 * H + 17,939$	99,81
1989 – 1990	$Q = -0,305 * H^3 + 12,907 * H^2 - 15,357 * H + 0,4276$	99,98
1991 – 1992	$Q = 10,904 * H^2 - 12,22 * H - 0,5117$	99,60
1993 – 1994	$Q = 11,161 * H^2 - 12,941 * H + 0,0508$	99,94
1995 – 1996	$Q = -1,1182 * H^3 + 18,849 * H^2 - 28,823 * H + 9,9204$	99,94
1997 – 1998	$Q = 11,047 * H^2 - 12,298 * H - 0,457$	99,93
1999 – 2000	$Q = -1,6118 * H^3 + 23,018 * H^2 - 39,698 * H + 18,119$	99,85

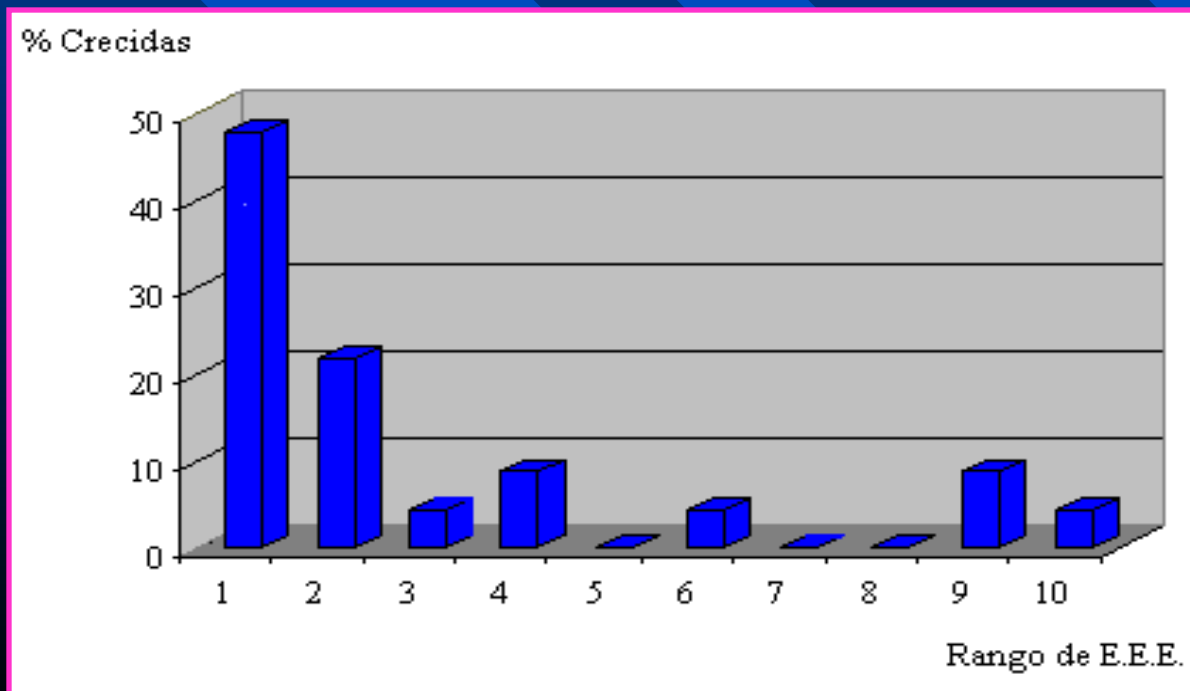


TENDENCIA DE LOS AFOROS UTILIZADOS EN LA CONFECCIÓN DE LAS CURVAS DE DESCARGA.

EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN

$$Q=Q_0 * e^{-\alpha t}$$

- Coeficiente de determinación (R^2).
- Error Estándar de estimación E.E.E.



•Reservas mensuales para el periodo 1960-1979.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1960	29,80	14,30	8,60	11,26	6,64	16,33	11,31	24,86	19,82	7,96	9,61	8,69
1961	0,33	0,17	0,32	0,73	0,58	0,73	1,95	7,90	40,66	12,35	21,76	10,26
1962	2,53	0,54	0,51	1,97	3,77	7,54	13,32	11,44	3,70	0,98	34,73	1,14
1963	0,50	0,40	0,68	0,99	0,29	0,64	5,72	10,85	252,62	30,05	27,73	98,32
1964	21,66	8,59	6,91	6,91	16,74	21,66	7,97	5,76	63,57	18,41	7,64	3,89
1965	0,47	0,12	0,12	0,12	0,82	0,82	2,43	0,91	36,55	20,36	97,95	66,93
1966	13,21	3,13*	2,17*	7,50	4,53	6,09	38,74	16,95	73,30	27,84	26,75	8,05
1967	27,84	2,49	1,06	2,38	14,61	4,51	18,14	9,45	26,40	86,66	41,44	32,66
1968	1,60	1,02	1,31	1,79	5,65	16,52	32,66	8,70	3,72	3,72	3,27	0,59
1969	3,23	0,52	0,02	0,02	0,02	1,39	9,66	19,88	16,71	19,19	4,45	0,60
1970	2,24	7,95*	1,64	1,86	2,02	2,47	12,21	12,98	9,53	2,72	12,64	9,47
1971	2,99	2,17	2,17	11,9*	10,2*	21,2*	20,21	13,22	12,79	2,53	8,23	3,32
1972	3,76	3,32	0,35	11,98	10,37	6,39	5,39	1,23	19,7*	46,92	51,53	14,84
1973	8,27*	7,95*	7,77*	11,9*	10,2*	21,2*	12,1*	12,8*	19,7*	29,7*	120,31	82,26
1974	8,27*	7,95*	7,77*	11,9*	10,2*	51,04	12,1*	12,8*	19,7*	29,7*	32,1*	18,6*
1975	19,86	16,10	16,57	19,39	20,71	43,74	13,31	10,44	97,95	52,03	13,60	4,82
1976	8,27*	7,95*	7,77*	11,9*	10,2*	2,73	8,68	4,16	1,36	7,15	8,68	0,52
1977	8,27*	7,95*	7,77*	11,9*	10,2*	21,2*	12,1*	12,17	6,98	11,42	33,83	24,80
1978	15,77	12,49	14,13	14,95	14,13	18,24	1,09	14,81	2,21	30,38	5,84	2,61
1979	4,99	5,67	11,77	11,77	3,56	23,56	23,56	33,08	7,27	84,45	34,16	24,44

•Reservas mensuales para el periodo 1980-2000.

1980	16,64	8,64	4,68	32,62	20,90	58,07	99,62	130,39	0,00	118,67	178,51	136,67
1981	103,70	78,69	61,32	46,53	20,91	32,65	61,83	12,54	22,99	116,67	70,85	43,72
1982	26,55	101,87	11,07	96,91	84,69	7,35	23,80	33,76	54,20	32,29	21,60	1,55
1983	0,10	0,01	0,00	0,00	5,69	13,88	17,34	20,16	35,14	247,24	207,16	174,56
1984	146,26	122,55	103,86	87,02	73,33	7,77	59,44	24,93	81,10	90,86	189,10	107,50
1985	61,11	34,74	20,86	11,86	54,82	4,08	16,43	17,56	65,26	209,61	171,81	141,72
1986	116,16	95,21	79,55	5,49	1,88	5,36	15,45	3,91	0,00	13,67	19,01	108,12
1987	46,61	20,09	9,40	6,37	59,08	49,61	0,00	28,12	54,51	58,60	28,00	120,49
1988	85,36	60,47	43,80	99,12	0,00	6,18	3,39	12,22	29,05	182,49	136,79	103,49
1989	77,58	58,15	44,82	33,60	25,42	19,05	22,30	10,35	51,25	46,12	65,34	52,61
1990	42,06	33,63	27,48	13,82	10,69	31,93	20,57	2,56	9,07	9,54	1,92	4,38
1991	1,83	1,17	0,59	0,28	1,70	21,32	24,90	16,15	24,44	11,14	10,51	2,51
1992	29,02	27,77	26,65	4,84	20,18	133,79	20,18	27,15	69,85	340,01	236,17	165,98
1993	115,29	80,08	56,94	39,55	0,56	0,25	7,50	25,86	97,41	35,97	12,85	4,75
1994	32,72	22,77	16,42	11,43	11,89	11,07	12,87	12,91	34,48	91,60	58,44	37,83
1995	54,54	49,62	45,56	41,45	18,67	5,10	1,77	54,38	27,81	24,52	9,10	3,23
1996	1,11	0,38	0,14	17,06	145,84	141,41	1,34	8,56	29,05	14,35	3,16	0,73
1997	0,16	0,04	0,01	0,00	6,11	6,58	53,99	32,56	12,17	22,25	3,08	0,43
1998	0,06	0,01	0,00	0,00	9,18	3,52	1,39	0,53	0,21	103,39	83,72	68,26
1999	55,28	44,76	36,99	29,96	24,42	19,78	3,02	4,32	50,13	198,82	87,14	39,22
2000	17,19	7,53	7,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	200,40	138,47	21,62

Análisis de valores extremos

ANÁLISIS DE LAS RESERVAS

Valores extremos de las reservas.

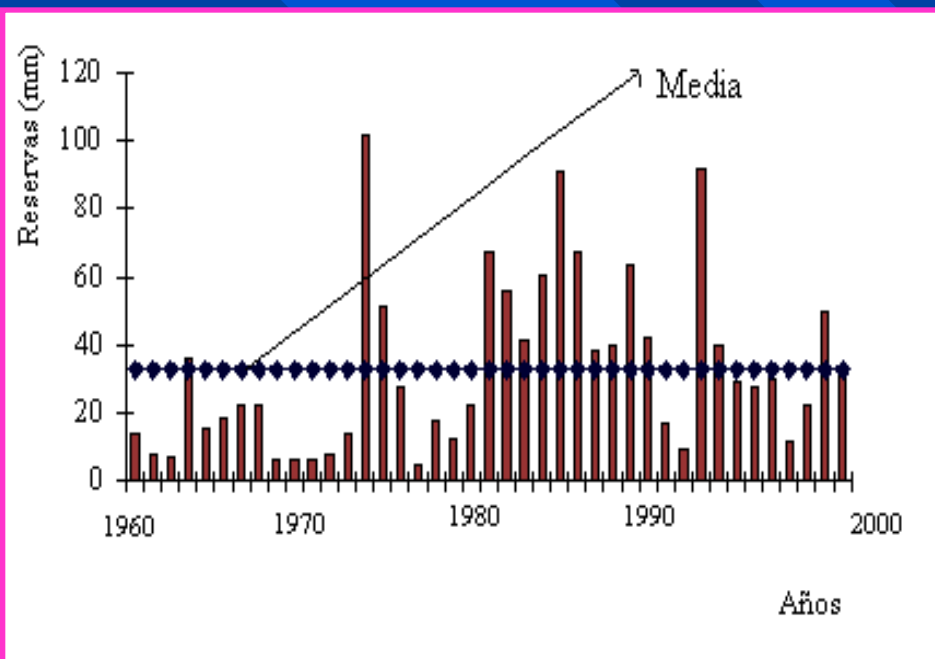
Década		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
60	Mín	0,335	0,123	0,02	0,02	0,02	0,642	1,952	0,912	3,699	0,985	3,268	0,591
	Máx	29,8	14,3	8,597	11,26	16,74	16,52	38,74	24,86	252,6	86,66	97,95	98,32
	Med	10,12	3,13	2,17	3,37	5,37	7,62	14,19	11,67	53,71	22,75	27,53	23,11
	C.V.	14,31	7,92	4,78	4,35	6,58	7,95	10,86	4,27	100,9	26,19	28,56	48,72
70	Mín	2,241	2,175	0,347	1,861	2,024	2,468	1,091	1,225	1,358	2,53	8,226	0,518
	Máx	15,77	16,1	16,57	19,39	20,71	51,1	23,56	33,08	97,95	84,45	120,3	82,26
	Med	8,27	7,95	7,77	11,99	10,16	21,17	12,06	12,76	19,73	29,7	32,09	18,56
	C.V.	6,92	4,63	6,64	3,47	5,83	18,3	5,2	7,05	61,11	29,35	41,66	35,21
80	Mín	0,101	0,007	5E-04	3E-04	1,879	4,076	3,393	3,908	0,003	13,67	21,6	1,546
	Máx	146,3	122,5	103,9	96,91	84,69	58,07	99,62	130,4	81,1	247,2	189,1	174,6
	Med	68,01	58,04	37,94	41,95	34,67	20,4	31,96	29,39	39,35	111,6	108,8	99,04
	C.V.	32	30,03	32,45	36,44	27,5	19,02	31,12	45,58	18,34	56,25	52,34	27,26
90	Mín	0,055	0,007	0,001	1E-04	1,697	0,249	1,337	0,535	0,205	11,14	1,923	0,426
	Máx	115,3	80,08	56,94	41,45	145,8	141,4	53,99	54,38	97,41	340	236,2	166
	Med	33,21	26,02	21,08	15,84	24,92	37,48	14,75	18,5	35,46	85,16	50,61	32,73
	C.V.	40,09	27,88	20,97	16,19	74,85	76,86	18,28	15,18	24,88	136,4	106,6	83,25

ANÁLISIS DE LAS RESERVAS

Análisis de valores extremos

Reserva media con
reserva media del periodo

Reserva final con reserva media del periodo



- Se determinó la reserva media anual y se contrastó con la media del periodo.

ANÁLISIS DE LAS RESERVAS

Análisis de valores extremos

Reserva media con
reserva media del periodo

Análisis de Medias Móviles

ANÁLISIS DE MEDIAS MÓVILES

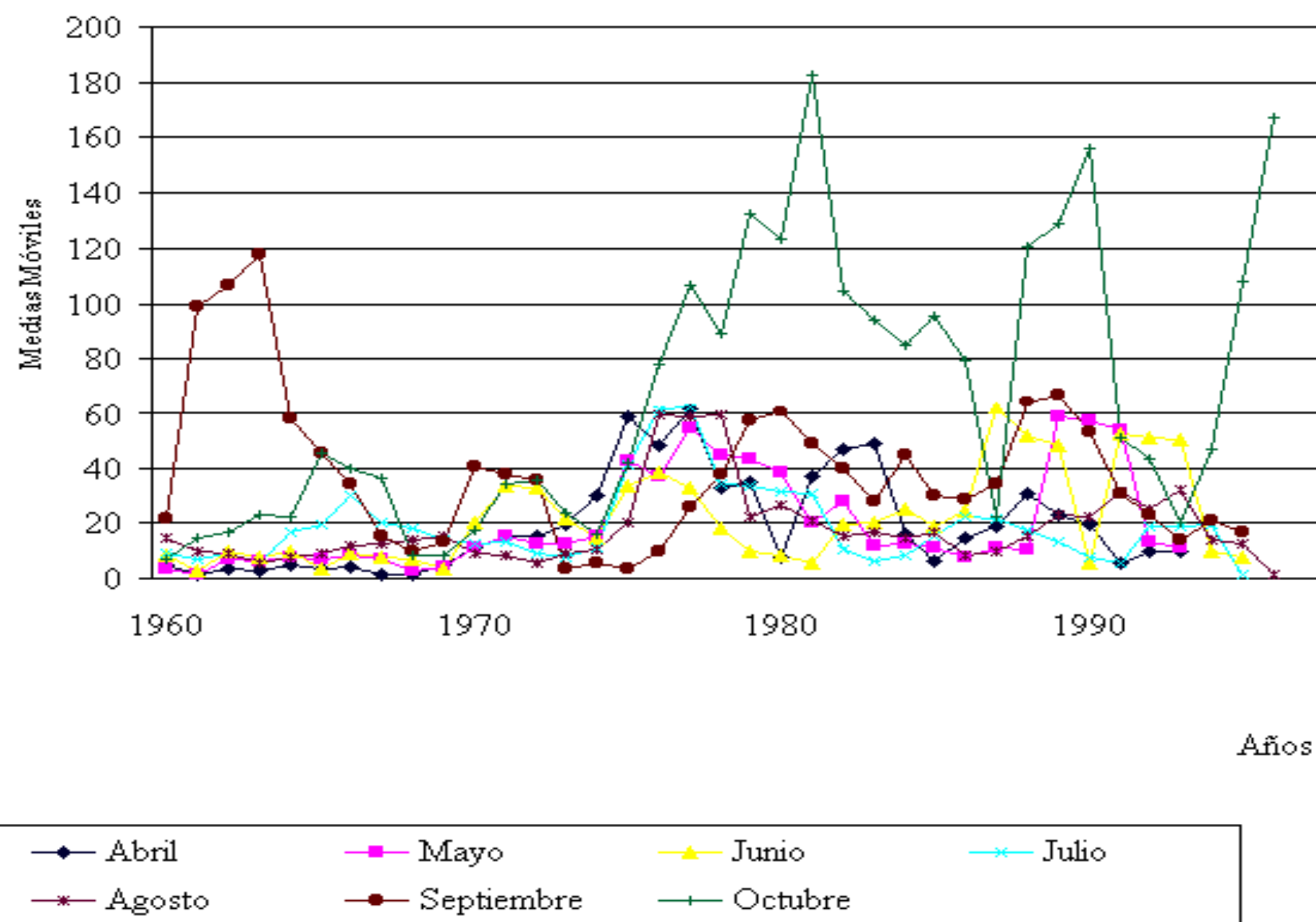
A NIVEL MENSUAL



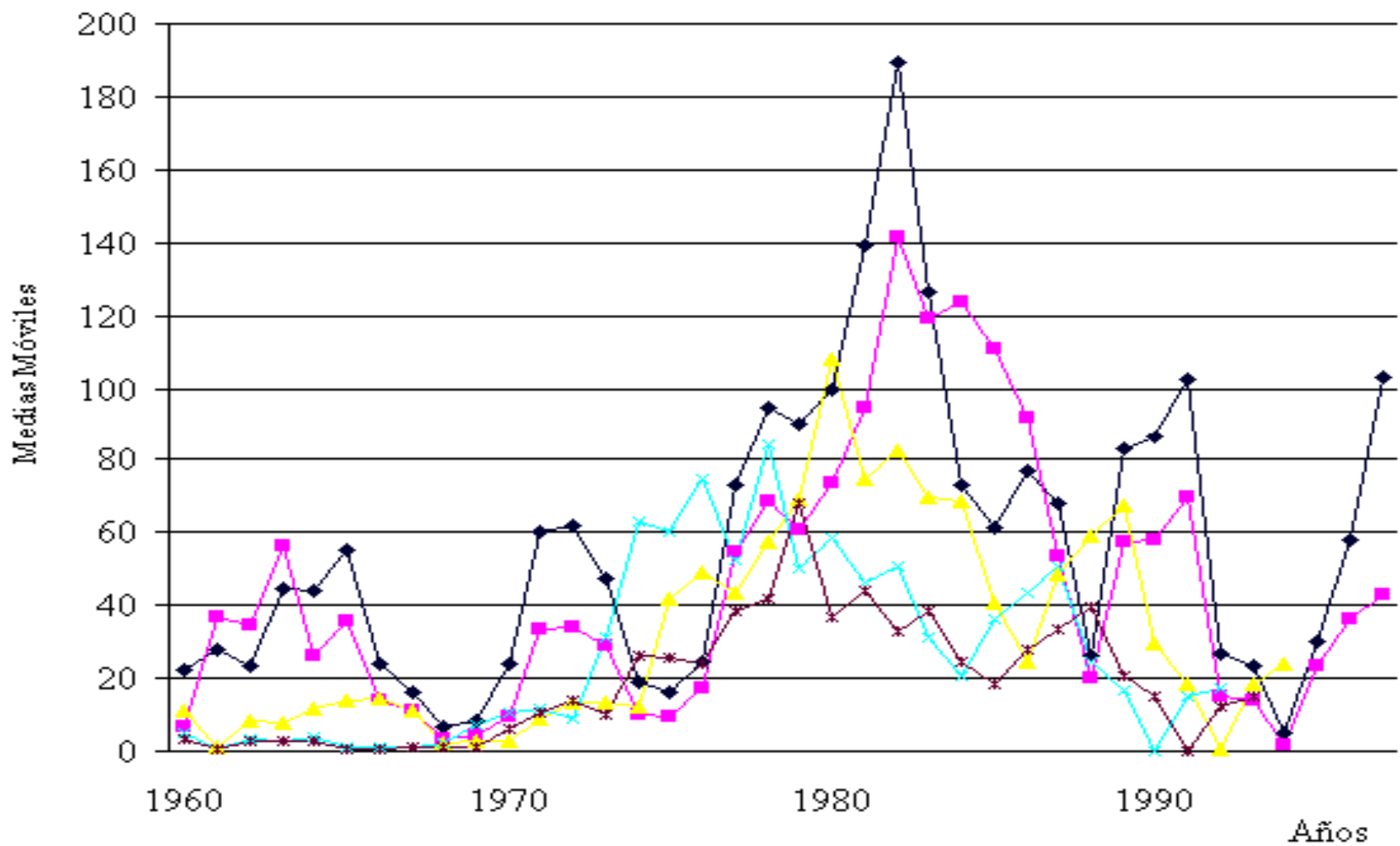
Medias Móviles Invernales
Medias Móviles Estivales

CONTINUO DE LOS DATOS

MEDIAS MÓVILES PARA LAS RESERVAS MENSUALES INVERNALES



MEDIAS MÓVILES PARA LAS RESERVAS MENSUALES ESTIVALES



ANÁLISIS DE MEDIAS MÓVILES

A NIVEL MENSUAL



Medias Móviles Invernales
Medias Móviles Estivales

CONTINUO DE LOS DATOS

Década	$\bar{R} < 50 \text{ mm}$	$50 < \bar{R} < 100$	$100 < \bar{R} < 150$	$150 < \bar{R} < 200$	$\bar{R} > 200$
60	92,3 %	5,9 %	1,7 %	0 %	0 %
70	92,6 %	6,1 %	1,2 %	0 %	0 %
80	55,1 %	27,1 %	11,9 %	5,1 %	0,84 %
90	79,5 %	14,5 %	3,4 %	0 %	2,5 %

ANÁLISIS DE LAS RESERVAS

Análisis de valores extremos

Reserva media con
reserva media del periodo

Análisis de Medias Móviles

Prueba U de Mann-Whitney

U DE MANN-WHITNEY

•VARIACIÓN INTERDECADAL

- En la mayoría de los meses no existe diferencia de los datos.
- Sólo el 16% de las comparaciones presenta diferencias.
- La década de los 80 se diferencia de las otras décadas.

	Comparación de Décadas		
	60-70	70-80	80-90
Enero	No	Sí	No
Febrero	No	Sí	No
Marzo	Sí	No	No
Abril	Sí	No	No
Mayo	No	No	No
Junio	No	No	No
Julio	No	No	No
Agosto	No	No	No
Septiembre	No	No	No
Octubre	No	Sí	No
Noviembre	No	Sí	No
Diciembre	No	Sí	No
Continuo de los datos	No	Sí	Sí

U DE MANN-WHITNEY

•VARIACIÓN INTERTEMPORAL

•Se presentaron diferencias sólo para los meses de Abril y Octubre.

•El periodo 1979-2000, manifiesta una mayor proporción de reservas.

•Lo anterior sería producto de la influencia de otra variable, y no a características vegetacionales.

	Comparación 1960/1978-1979/2000
Enero	No
Febrero	No
Marzo	No
Abril	Sí
Mayo	No
Junio	No
Julio	No
Agosto	No
Septiembre	No
Octubre	Sí
Noviembre	No
Diciembre	No
Continuo de los datos	Sí

CONSTRUCCIÓN DE VARIABLES

- Precipitaciones

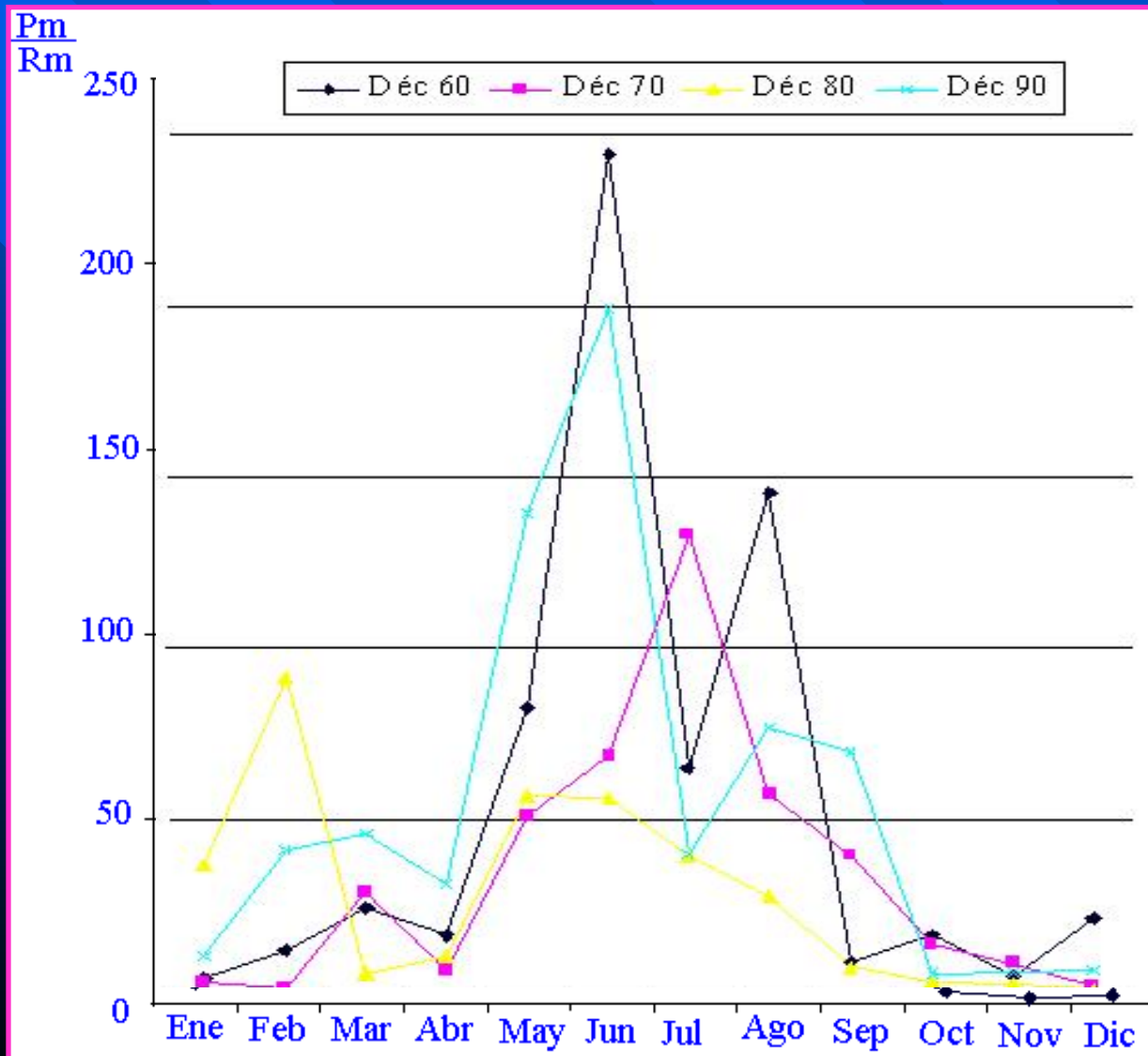
PRECIPITACIONES

Década	Total (mm)	%	Promedio (mm)
60	6.606,8	20,3	660,7
70	8.554,7	26,3	855,5
80	9.703,2	30	970,3
90	7.630,6	23,4	763,1
Total	32.495,3	100	812,4

CONSTRUCCIÓN DE VARIABLES

- Precipitaciones
- Precipitaciones mensuales y reservas mensuales (Pm/Rm)

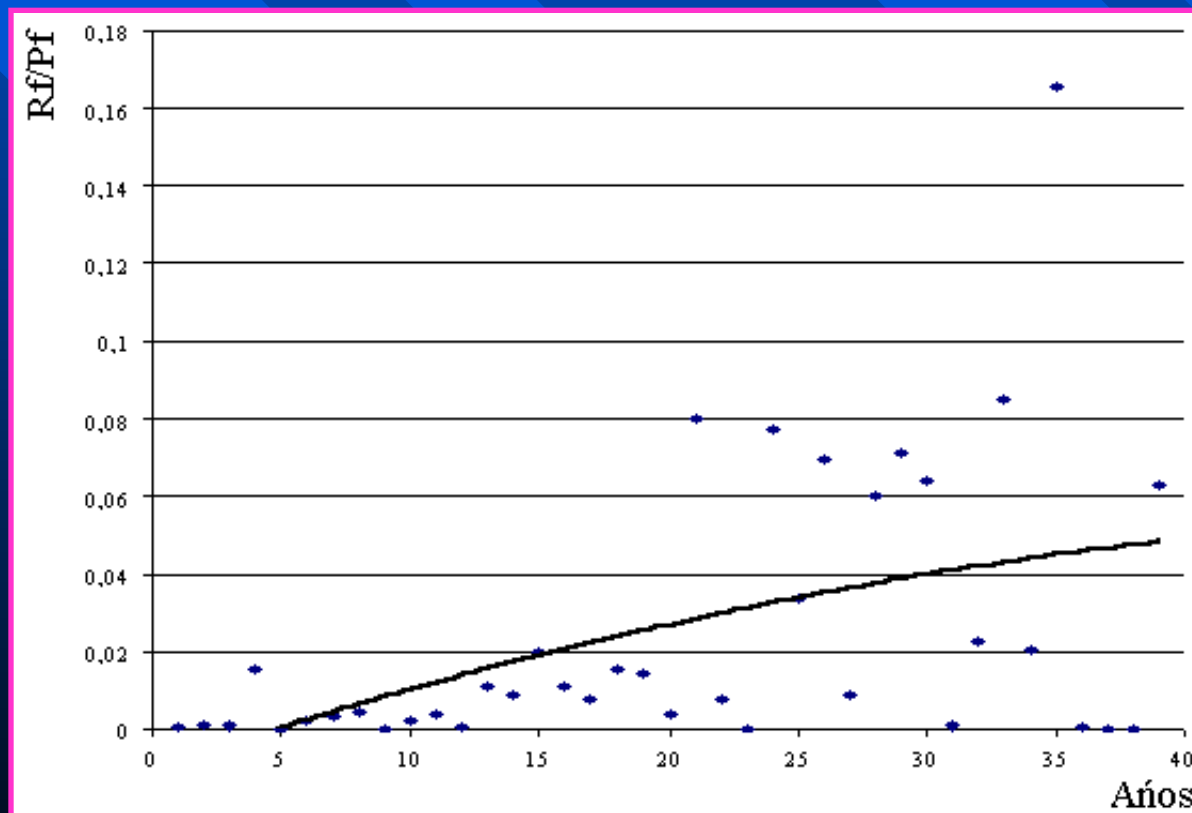
PRECIPITACIONES MENSUALES Y RESERVAS MENSUALES



CONSTRUCCIÓN DE VARIABLES

- Precipitaciones
- Precipitaciones mensuales y reservas mensuales
(P_m/R_m)
- Reservas finales y precipitaciones acumuladas
(R_f/P_f)

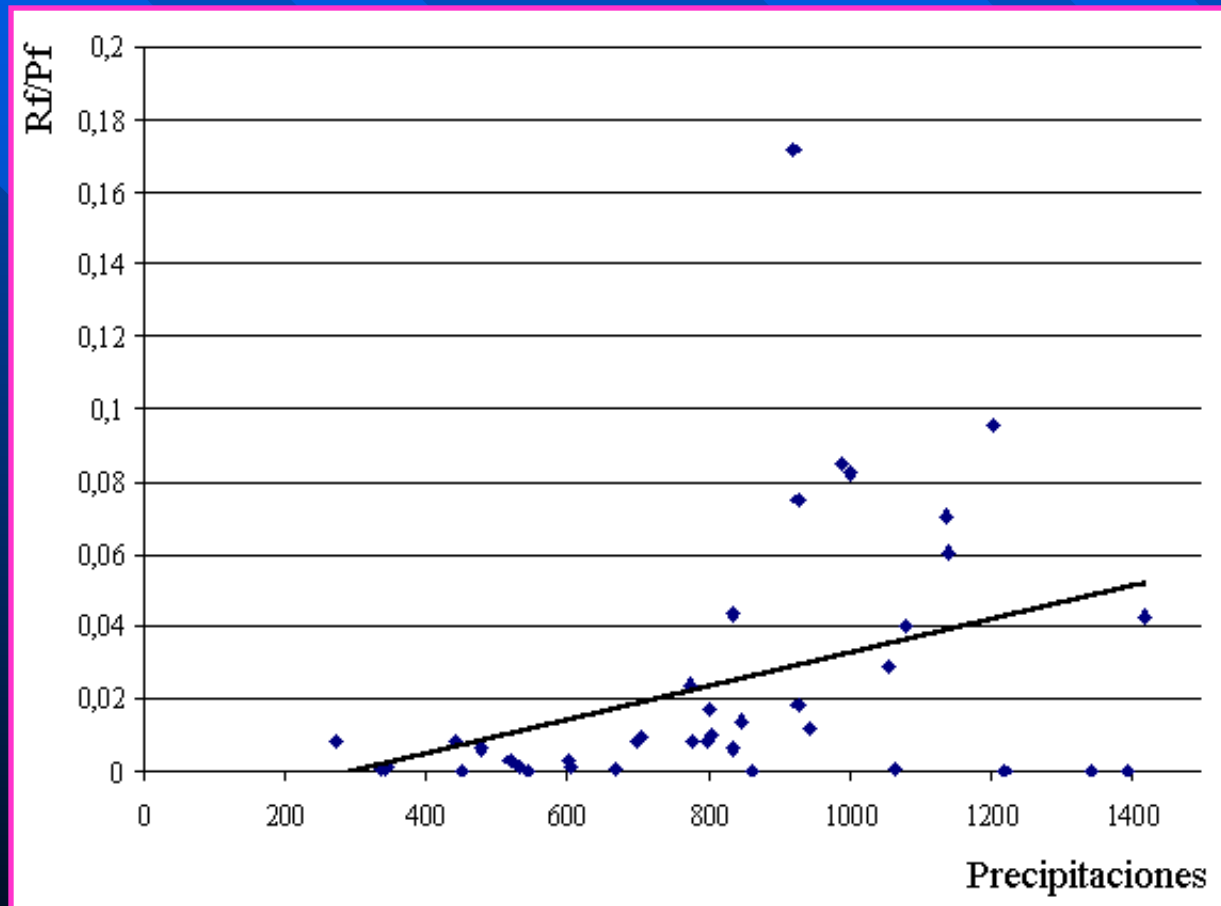
RESERVAS FINALES Y PRECIPITACIONES ACUMULADAS



CONSTRUCCIÓN DE VARIABLES

- Precipitaciones
- Precipitaciones mensuales y reservas mensuales (Pm/Rm)
- Reservas finales y precipitaciones acumuladas (Rf/Pf)
- Variación del cuociente (Rf/Pf) con precipitaciones.

VARIACIÓN DEL CUOCIENTE (Rf/Pf) CON RESPECTO A LAS PRECIPITACIONES.



CONCLUSIONES

- La mayor reserva se registró en el año 1992 y la mínima se registró en el año 1998.
- Según la prueba U de Mann-Whitney, existen diferencias entre la década del 80 y las otras décadas.
- Al comparar los periodos definidos, se aprecia diferencia entre ambos.

CONCLUSIONES

- La precipitación es la variable más influyente en el comportamiento de las reservas.
- No se puede afirmar que las plantaciones forestales de *Pinus radiata*, inciden en la capacidad de almacenamiento de la cuenca.
- Los resultados tienden a concluir que, no existen diferencias entre el bosque maulino y las plantaciones de *Pinus radiata*, en lo que respecta al comportamiento de las reservas de agua.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere mantener el estudio en el tiempo.
- Sería interesante ampliar este estudio a cuencas con mayor capacidad de almacenamiento.
- Se sugiere comparar mismas situaciones vegetacionales, bajo una misma influencia climática.