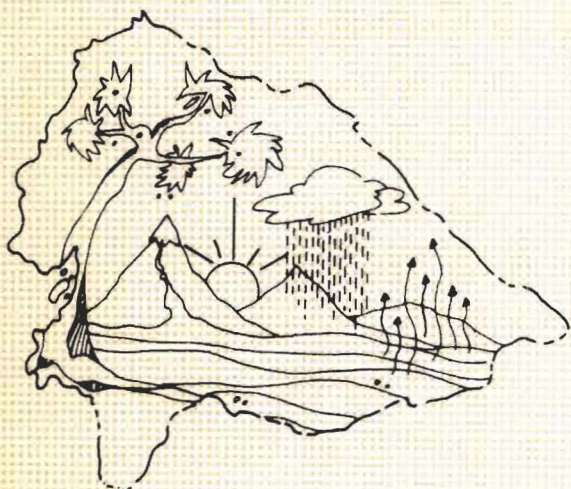




MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
PROGRAMA NACIONAL DE REGIONALIZACION AGRARIA
PRONAREG — ECUADOR



Normas Pluviométricas propuestas para
el ECUADOR.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

ORSTOM - Francia



M.A.G.
PROGRAMA NACIONAL DE
REGIONALIZACION AGRARIA
P R O N A R E G

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE - MER
O R S T O M

NORMAS PLUVIOMETRICAS PROPUESTAS PARA EL ECUADOR

JEAN FRANCOIS NOUVELOT

REPUBLICA DEL ECUADOR

Economista Fausto Jordán
MINISTRO DE AGRICULTURA
Y GANADERIA

Ing. Hugo Ortíz Rivadeneira
SUBSECRETARIO DE AGRICULTURA
Y GANADERIA

PROGRAMA NACIONAL DE REGIONALIZACION AGRARIA

P R O N A R E G

Ing. Jaime Torres Guzmán
DIRECTOR EJECUTIVO DEL PROGRAMA
NACIONAL DE REGIONALIZACION AGRARIA

Ing. Luis Cañadas Cruz
DIRECTOR TECNICO DEL PROGRAMA
NACIONAL DE REGIONALIZACION AGRARIA

Ing. Roberto V. Cruz Astudillo.
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

J.Francois Nouvelot
ASESOR ORSTOM

Quito

P R E F A C I O

Esta publicación se la ha realizado como adicional del marco del convenio suscrito entre la ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et - Technique Outre-Mer) de Francia y PRONAREG (Programa Nacional de Regionalización Agraria) del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.

Este trabajo es el resultado de un estudio analítico de algunas estaciones seleccionadas del INAMHI y de otras instituciones, con el objeto principal de proporcionar a los usuarios una guía clara y sencilla que les permita disponer de información de áreas donde la misma es insuficiente, con una aceptable confiabilidad.

También es el resultado de una efectiva colaboración de todo el personal del Departamento de Hidrología.

Quiero dejar constancia en especial de los siguientes colaboradores:

- Meteorólogo Oscar Rovere G.
- Ingeniero Marcelo Sáenz de Viteri
- Ingeniero Homero Villacrés
- Ingeniera Bella Vélez M.

Así también quiero dejar constancia de mi público agradecimiento al Ingeniero Jaime Torres Guzmán, Director Ejecutivo del PRONAREG, por las facilidades que me prestó para poder llevar a buen término este trabajo.

ANTECEDENTES:

Luego de la publicación de los informes parciales de los estudios preliminares de las cuencas hidrográficas de todo el país y de su síntesis final. "ELEMENTOS BASICOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN EL ECUADOR"; se encontró que muchas áreas del país no se contaban con información suficiente; es en este momento cuando se decidió el realizar un estudio estadístico de la pluviometría y pluviografía que permita llenar muchos vacíos en distintas zonas; con información aceptable.

La presente publicación presenta una metodología sencilla que, estamos seguros, responde a llenar estos vacíos, y que son una respuesta positiva a los diversos estudios que se lleven a cabo en el Ecuador. Las fórmulas que constan en este artículo, son aplicables a todo el país en especial a las áreas de desarrollo que no cuentan con la información requerida como es la de series largas de registros.

+++++

S U M A R I O

INTRODUCCION.

1. OBJETIVO Y METODOLOGIA
2. ALTURAS PLUVIOMETRICAS ANUALES
 - 2.1 Zonificación.
 - 2.2 Relación entre las alturas pluviométricas medias y las alturas pluviométricas medianas.
 - 2.2.1 Zona 1 : Zona muy seca
 - 2.2.2 Zona 2 : Zona seca
 - 2.2.3 Zona 3 : Zona occidental de transición
 - 2.2.4 Zona 4 : Zona húmeda occidental
 - 2.2.5 Zona 5 : Callejón Interandino
 - 2.2.6 Zona 6 : Zona húmeda oriental
 - 2.3 Otras frecuencias.-
 - 2.3.1 Estimación de las alturas pluviométricas anuales de frecuencias decenales
 - 2.3.1.1 Alturas pluviométricas decenales secas
 - 2.3.1.2 Alturas pluviométricas decenales húmedas
 - 2.3.2 Estimación de las alturas pluviométricas anuales de frecuencia centenal.
 - 2.3.2.1 Alturas pluviométricas de frecuencia centenal seca
 - 2.3.2.2 Alturas pluviométricas de frecuencia centenal húmeda
 - 2.3.3 Estimación de las alturas pluviométricas anuales de cualquier frecuencia
 - 2.3.3.1 Utilización de la Ley de GALTON
 - 2.3.3.2 Utilización de la Ley de PEARSON III
 - 2.3.3.3 Observación (utilización de la Ley de GAUSS)
 - 2.3.3.4 Aplicaciones Prácticas
 - 2.4 Precisión de los resultados.-
 - 2.4.1 Ley de GAUSS
 - 2.4.2 Ley de GALTON
3. ALTURAS PLUVIOMETRICAS DIARIAS

... continuación (2)

S U M A R I O

- 3.1 Zonificación
 - 3.1.1 Zona 1 : Zona muy seca
 - 3.1.2 Zona 2 : Zona seca
 - 3.1.3 Zona 3 : Zona occidental de transición
 - 3.1.4 Zona 4 : Zona húmeda occidental
 - 3.1.5 Zona 5 : Callejón Interandino
 - 3.1.6 Zona 6 : Zona húmeda oriental

- 3.2. Relaciones entre las alturas pluviométricas diarias y las alturas pluviométricas anuales de igual frecuencia
 - 3.2.1 Método Global
 - 3.2.2 Utilización de las alturas pluviométricas de frecuencia mediana
 - 3.2.2.1 Relaciones entre las alturas anuales y diarias de frecuencia mediana
 - 3.2.2.2 Cálculo de los valores relativos a otras frecuencias
 - 3.2.3 Aplicaciones Prácticas

- 3.3 Precisión de los resultados
- 3.4 Observaciones sobre la forma de las distribuciones estadísticas

- 4. INTENSIDADES PLUVIOMETRICAS
 - 4.1 Metodología utilizada
 - 4.2 Relaciones entre las intensidades y las alturas pluviométricas diarias
 - 4.3 Síntesis de los resultados
 - 4.4 Aplicaciones Prácticas

- 5. CONCLUSION

DEFINICION DE LAS VARIABLES E INDICES UTILIZADOS

- . P : Altura pluviométrica anual en milímetros.
- . \bar{P} : Altura pluviométrica anual, media.
- . $P_{0,5}$: Altura pluviométrica anual, mediana.
- . $P_{0,99}$: Altura pluviométrica anual, centenal seca.
- . $P_{0,90}$: Altura pluviométrica anual, decenal seca.
- . $P_{0,10}$: Altura pluviométrica anual, decenal húmeda.
- . $P_{0,01}$: Altura pluviométrica anual centenal húmeda.
- . P_m : Altura pluviométrica anual, moda.
- . H : Altura pluviométrica diaria, en milímetros.
- . \bar{H} : Altura pluviométrica diaria, media.
- . $H_{0,5}$: Altura pluviométrica diaria, mediana.
- . $H_{0,10}$: Altura pluviométrica diaria, decenal.
- . $H_{0,01}$: Altura pluviométrica diaria, centenal.
- . F : Frecuencia.
- . σ : Desviación standar.
- . Cv : Coeficiente de variación.
- . u : Variable reducida : $u = \frac{X - X_0}{S}$.
- En la Ley de GAUSS : $u = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$
- . P_0, H_0, X_0 : Parámetro de posición.
- . S : Parámetro de escala.
- . a : Pendiente de la recta de GALTON.
- . b : Constante de la recta de GALTON.
- . γ : Parámetro de forma de la Ley de PEARSON III.
- . R : Coeficiente de correlación.
- . N : Número de valores de un muestreo.
- . I 95% : Intervalo de variación de una variable para una probabilidad de 0,95.
- . α % : Intervalo de confianza a α % de probabilidad.
- . t $\frac{(1-\alpha)}{2}$: Variable de STUDENT. t es igual a la variable reducida de GAUSS u, cuando $N \gg 30$.
- . X^2 : Variable de la Ley de K. PEARSON.
- . P : Índice para definir una variable de probabilidad p.
- . A : Altura topográfica de una estación, en metros.
- . T : Período de retorno : $T = \frac{1}{F}$.
- . h : Altura pluviométrica en mm.

- . t : Intervalo de tiempo en horas.
- . I : Intensidad de una lluvia, en mm/h ($I = \frac{h}{t}$).
- . β : Presición de los resultados.

I N T R O D U C C I O N

A pesar de que la lluvia representa solamente un componente de la ecuación que permite cuantificar el ciclo del agua tal como se lo puede observar en la naturaleza, es evidentemente que es el factor condicionante y esencial de los regímenes hidrológicos de los países tropicales, ecuatoriales o eventualmente templados. El planificador de los recursos hídricos debe, para llevar a cabo sus estudios con miras a una utilización racional del agua, disponer de una información pluviométrica suficiente y confiable.

El presente estudio no tiene la pretensión de proporcionar un análisis estadístico exhaustivo de todas las estaciones pluviométricas implantadas en ECUADOR. Su finalidad esencialmente es dar, para un cierto número de estaciones representativas que disponen de registros suficientemente largos, una información sintética que puede ser utilizada tanto por el planificador como por el proyectista y sobre todo permita a estos especialistas, en los numerosos casos en los que los datos disponibles son insuficientes, completarlos, con una precisión aceptable, a partir de cálculos simples y rápidos.

Es evidente que existen determinados parámetros y ajustes, que revisten un especial interés sobre todo en el campo de la agricultura, como lo son: distribuciones estadísticas y variaciones en el tiempo de los totales pluviométricos mensuales, definición de las secuencias lluviosas o secas, para citar solamente los más importantes. Ahora bien, para que éstos puedan ser definidos se necesita una gran cantidad de datos y, encontrándonos con la dificultad de un escaso acceso a la información básica, al igual que a medios de almacenamiento y procesamiento disponibles, hemos renunciado hacer el estudio de los citados parámetros.

1. OBJETIVO Y METODOLOGIA

La información pluviométrica fácilmente disponible y accesible a nivel nacional está representada por totales pluviométricos medios anuales. Esta información se ha sintetizado en forma de isoyetas a diferentes escalas: 1/200.000 y 1/1.000.000.

Es evidente que en el marco general de una planificación de recursos naturales renovables estos datos permiten estimar, de una manera simple y rápida, los aportes meteóricos. Sin embargo son insuficientes para el planificador de recursos hídricos o para el ingeniero encargado de la elaboración de proyectos de prefactibilidad o factibilidad. La noción de aportes medios anuales debe, en estos casos, ser complementada por una información donde la irregularidad interanual y las aportaciones relativas a espacios de tiempo más o menos cortos, sean tomadas en cuenta.

Por otro lado los usuarios potenciales, generalmente no especializados en hidrología o meteorología, deben disponer de normas sencillas, de fácil utilización aún cuando la calidad científica de los resultados no sea la mejor, como consecuencia de simplificaciones o aproximaciones.

El proceso que tienen que seguir dependerá de la información buscada; pero de una manera general, el procedimiento adoptado será el siguiente, una vez escogidas la o las zonas a estudiar :

- a) Determinación, ya sea con la ayuda de una estación de referencia, o por interpolación, en el mapa de isoyetas, de la altura pluviométrica media anual \bar{P} . Este valor representa el único dato de entrada.
- b) Estimación de las alturas anuales de varias frecuencias, en base a las relaciones siguientes:

$$P_{0,5} = f_1 (\bar{P}), P_{0,10} = f_2 (P_{0,5}), P_{0,01} = f_3 (P_{0,10}),$$

o de formas más generales definidas a partir de leyes estadísticas (Leyes de GALTON o PEARSON, por ejemplo).

- c) Determinación de la precisión de los resultados en función del número de años de observaciones disponibles o, al contrario, definición del número de años necesarios para llegar a una cierta precisión.
- d) Estimación de las alturas pluviométricas diarias "H" que corresponden a diferentes períodos de retorno, utilizando las relaciones entre lluvias anuales y diarias de igual frecuencia, o simplemente a partir de las frecuencias medianas ($P_{0,5}$) y relaciones de la forma :

$$H_{0,5} = \Phi (H_{0,10}), H_{0,10} = \Phi (H_{0,01}) \text{ etc...}$$

Como en el caso de las lluvias anuales, se pueden también definir ecuaciones más generales, en base a leyes estadísticas.

- e) Estimación de las alturas pluviométricas "h" o de las intensidades "I", de varias frecuencias, que corresponden a duraciones "t" que varían entre unos minutos y varios días. A partir de la altura pluviométrica diaria "H" de igual frecuencia:

$$I_p = F (t, H_p)$$

La gran variedad de regiones climáticas o pluviométricas observadas en Ecuador nos ha conducido a definir una zonificación. Sin embargo, esta zonificación ha sido realizada de manera la más simple posible, siendo el número de zonas homogéneas, escogidas para este trabajo, solamente seis. Cada lugar o región a ser estudiado deberá, así, antes de poder empezar cualquier cálculo, estar ubicado en una de estas grandes zonas pluviométricas homogéneas.

Esta zonificación como las relaciones que unen las diferentes variables pluviométricas, tienen por base el análisis estadístico. Se u

tilizaron varias leyes muy conocidas en el campo de la hidro-climatología, así como varios tipos de correlaciones simples o múltiples.

Los datos de cada una de las 65 estaciones pluviométricas escogidas, entre las cuales 24 están equipadas de un registrador, fueron procesados de una manera sistemática:

- Búsqueda de la ley estadística que presenta la mejor adecuación, para los totales pluviométricos anuales, los máximos diarios y las intensidades relativas a duraciones que varían de cinco minutos a veinticuatro horas.
- Búsqueda, para las lluvias anuales y diarias, de las relaciones que unen los valores de frecuencias mediana y decenal por una parte, y los valores de frecuencia decenal y centenal por otra parte así como las relaciones que permiten el cálculo de una altura pluviométrica de cualquier frecuencia.
- Cálculo de los intervalos de confianza.
- Búsqueda de las relaciones que faciliten la determinación de las intensidades que corresponden a varias duraciones, a partir de las alturas pluviométricas diarias de igual frecuencia.

Para llevar a cabo este trabajo se utilizó una calculadora electrónica programable HEWLETT-PACKARD tipo 97. La metodología y las aproximaciones adoptadas para cada una de las leyes utilizadas han sido objeto de una anterior publicación.* Se trata de las leyes: de GAUSS (Ley Normal), de GALTON (Ley GAUSS - Logarítmica), GUMBEL (Ley Doblemente Exponencial), FRECHET (Ley GUMBEL-Logarítmica), PEARSON III (Ley Gamma incompleta) y GOODRICH (caso particular de la distribución exponencial generalizada). La elección del mejor ajuste ha sido realizada gráficamente utilizando un diagrama GAUSS-Logarítmico.

El cálculo automático facilitó igualmente, la búsqueda en cada una de las zonas homogéneas, de las relaciones que unen las diferentes variables pluviométricas, así como la determinación de la precisión de éstas.

* J.F. NOUVELOT : Nociones de Estadística. Las principales leyes estadísticas utilizadas en Hidro-Climatología. ORSTOM-PRONAREG 1980.

Tenemos que recalcar que la información básica utilizada proviene, en gran parte, del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). La verificación de la calidad de los datos ha sido efectuada por el personal del Departamento de Hidrología del Programa Nacional de Regionalización Agraria del Ministerio de Agricultura - donde ORSTOM desarrolla sus actividades de cooperación y asistencia técnica.

2. ALTURAS PLUVIOMETRICAS ANUALES

Para cada estación escogida fue utilizada toda la información disponible y verificada. Es por eso que el número de años de observación, puede variar, entre 10 y 85 años según las estaciones. Una gran proporción de éstas tiene sin embargo más de quince años de registro. Hemos juzgado necesario dar la precisión de los resultados obtenidos, por ser los regímenes pluviométricos y los períodos de observaciones bastantes diferentes.

Con esta finalidad figura la Tabla I para cada altura pluviométrica que corresponde a varias frecuencias, el intervalo de confianza con 95% y 80% de probabilidad.

En esta tabla se indica igualmente :

- el nombre de la estación
- la altitud
- las coordenadas
- el número de años de observación : N.
- la media aritmética de las alturas pluviométricas que corresponden a los N. años : \bar{P} .

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{N}$$

- La desviación estandar : $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 - N\bar{P}^2}{N - 1}}$

TABLA I
ALTURAS PLUVIOMETRICAS ANUALES

ESTACIONES		VALORES CARACTERISTICAS					INTERVALOS DE CONFIANZA																						
ESTACIONES	ALTI. - LONG. - LATIT.	M	F	CV	0,99	0,90	0,50	0,10	0,01	0,95	F=0,99	0,80	0,95	F=0,90	0,80	0,95	F=0,50	0,80	0,95	F=0,10	0,80	0,95	F=0,01	0,80					
SALINAS	6 2°12'S 80°59'W	21 140,4	136,7	0,97	14	100	300						(3)	(34)	(6)	(25)	67	147	78	128	181	494	218	412					
LIBERTAD	6 2°12'S 80°52'W	18 194,1	171,9	0,88	55	145	350						33	92	40	76	99	212	114	184	233	654	282	540					
ANCON	25 2°20'S 80°51'W	10 200,3	204,9	1,02	20	140	460						(0)	(81)	(2)	(51)	70	261	93	206	200	1071	278	757					
MANTA	6 0°57'S 80°41'W	27 210,1	142,6	0,68	75	170	385						49	110	57	96	121	218	144	199	280	526	314	470					
PLATAS	6 2°34'S 80°33'W	14 401,5	243,7	0,61	135	350	720						48	256	77	206	238	400	278	435	477	1051	560	814					
MACARA	6 3°15'S 79°58'W	24 576,7	388,9	0,67	(145)	225	465	1050	2000	122	191	120	170	180	285	184	266	370	594	401	543	729	1524	831	1335	1557	7578	1497	2360
ZAROTIJO	335 4°23'S 80°14'W	14 448,0	378,5	0,73	170	363	900						25	221	49	169	237	542	280	468	538	1464	656	1223					
MACARA	430 4°23'S 79°57'W	15 506,3	261,6	0,52	205	440	865						113	330	144	279	342	606	384	547	606	1213	694	1070					
BAHIA	3 0°36'S 80°23'W	19 551,7	191,2	0,35	314	530	810						218	414	250	374	444	624	475	588	662	976	715	922					
RUKAINILKTE	10 0°55'S 80°27'W	15 392,9	156,4	0,40	210	375	600						144	294	167	260	299	463	325	428	454	784	505	750					
PUKTOVILJO	44 1°04'S 80°26'W	41 315,1	210,4	0,41	185	285	477	750	1180	148	237	156	218	240	337	255	318	422	538	441	516	673	927	712	877	941	1478	1018	1367
LA NARANJA *	528 1°20'W 80°27'W	14 1193,3	422,0	0,35	655	1130	1735						475	891	537	794	922	1386	956	1280	1331	2252	1472	2042					
GUAYACIL	6 2°04'S 79°53'W	85 1100,9	466,9	0,42	890	600	1015	1710	2600	322	473	344	442	528	688	530	655	919	1121	851	1083	1497	1954	1567	1866	2152	3142	2297	2942
PAGAJE	15 3°19'S 79°48'W	18 768,2	304,0	0,40	423	713	1185						330	574	366	518	583	878	628	813	883	1537	974	1386					
MAHCARELI *	680 3°41'S 79°48'W	11 1381,2	529,9	0,39	745	1280	2050						465	1100	564	857	974	1424	1185	1449	1490	2783	1682	2480					
SAN GERONIMO	5 3°57'W 79°53'W	27 2480,6	756,8	0,28	1290	2595	3685	4850		1033	1612	1119	1488	1541	2660	1626	1941	2476	2935	2534	2983	5188	3188	4350	3644	5964	4248	5537	
ESMERALDAS TACHINA *	6 0°57'W 79°37'W	33 769,6	237,4	0,37	365	500	730	1083	1490	300	445	321	415	435	574	457	658	809	683	781	942	1245	999	1186	1220	1819	1308	1698	
LITA	571 0°51'W 78°28'W	16 3736,8	700,6	0,19	2895	3675	4620						2528	3314	2060	3151	4326	4061	3452	3402	4074	5330	4284	5069					
SANTO DOMINGO	860 0°14'W 79°11'W	31 3237,5	747,9	0,23	1870	2370	3135	4230	5400	1735	2249	1812	2147	2144	2625	2200	2533	2897	3396	2477	3303	3785	4738	3945	4555	4591	6369	4655	6034
PUERTO ILA	260 0°33'S 79°23'W	14 2787,2	571,8	0,21	2040	2765	3500						1697	2432	1822	2777	3444	3112	2563	2977	3701	4656	3182	3843					
CHOME	20 0°41'S 80°05'W	16 1224,4	322,1	0,26	815	1220	1640						658	1001	713	928	1059	1402	1117	1331	1366	1962	1463	1836					
CALCETA *	10 0°50'S 80°04'W	15 1017,8	363,2	0,36	600	970	1490						460	783	508	709	799	1177	860	1045	1148	1934	1266	1754					
ZAPOTE	50 0°54'S 80°04'W	12 1579,1	509,8	0,32	930	1580	2235						694	1259	775	1116	1245	1934	1234	1707	2925	1892	2640						
PICHILINGUE	73 1°05'S 80°27'W	32 2160,8	501,4	0,32	1230	1965	2705	2820	3550	1055	1434	1112	1360	1408	1718	1430	1714	1940	1699	2217	2534	3128	2630	3024	3054	4127	3717	3917	
COKAZON	1500 1°08'S 79°04'W	10 2414,5	501,8	0,21	1690	2400	3060						1548	2522	1852	2587	2681	2783	2198	2627	2804	3771	2703	3475					
ISABEL MARÍA *	7 1°49'S 79°43'W	38 1840,9	677,1	0,37	660	1060	1750	2735	3800	477	876	537	798	883	1260	842	1168	1558	1623	1688	2369	3148	2491	2999	3131	4592	3350	4302	
MILAGRO *	13 2°09'S 79°36'W	58 1530,2	556,6	0,36	600	900	1440	2260	3240	499	730	528	683	788	1026	805	1105	1317	1380	1555	1999	2553	2086	2448	2776	3848	2894	3626	
PORTUVELO	920 2°43'S 79°37'W	78 1566,9	365,6	0,28	900	1135	1525	2050	2600	811	957	841	963	1054	1219	1063	1390	1448	1605	1474	1577	1917	2192	1962	2142	2311	2857	2144	2765
CARIAMANGA	1950 4°20'S 79°34'W	20 1137,9	217,1	0,13	(700)	920	1355	1880	(1705)	563	859	611	798	811	1040	741	944	1047	1262	1192	1383	1584	1418	1545	1475	1865	1665		
MUZAR	2950 0°49'W 79°42'W	44 882,4	199,7	0,33	500	646	865	1140	1450	438	579	459	545	541	702	624	835	743	933	809	880	1104	1268	1078	1228	1279	1607	1330	1576
EL ANGEL	3055 0°37'W 79°56'W	17 1023,3	342,0	0,23	640	970	1470						509	804	554	739	816	1146	872	1078	1170	1643	1275	1695					
SAN GABRIEL	2860 0°36'W 79°50'W	22 943,7	222,3	0,24	490	660	925	1250	1575	390	601	425	559	536	774	593	731	831	1025	885	988	1093	1423	1149	1358	1310	1879	1403	1768
CAHUASQUI	2340 0°31'W 78°13'W	14 805,3	174,8	0,22	600	650	785	1038					508	709	541	688	843	889	721	848	875	1226	933	1151					
TBARRA	2228 0°21'W 78°08'W	26 634,7	145,3	0,22	380	466	616	825	1050	319	431	351	412	428	512	439	495	573	663	567	640	745	915	772	880	905	1221	853	1159
OTAVALO	2558 0°14'W 78°16'W	33 854,6	191,5	0,22	495	625	835	1110	1380	411	586	440	557	544	712	575	679	768	898	796	880	975	1284	1022	1206	1151	1655	1229	1549
SAN PABLO	2480 0°12'W 78°11'W	18 1071,4	212,8	0,20	818	1052	1352						694	960	738	902	824	1148	879	979	1133	1451	1388	1274	1494				
QUITO OBSERVATORIO	2818 0°12'W 78°29'W	83 1216,9	218,5	0,18	765	947	1204	1504	1780	705	829	725	807	897	949	914	981	1159	1251	1174	1274	1429	1582	1445	1555	1662	1906	1702	1861
IZOBAHUA	3058 0°22'S 78°03'W	13 1484,9	225,0	0,15	1210	1470	1775						1070	1369	1140	1307	1411	1611	1549	1551	1570	2007	1645	1916					
COTOPAXI	1560 0°42'S 78°33'W	30 1136,7	357,2	0,31	570	745	1075	1605	2250	483	683	511	640	656	851	685	812	967	1194	1016	1116	1375	1660	1450	1779	1791	2481	1927	2619
LATAUNGA	2560 0°54'S 78°37'W	19 501,7	75,5	0,15	415	495	660						386	450	296	436	462	533	474	519	519	674	580	445					
CUSUBAMBA	3205 1°04'S 78°42'W	14 589,5	211,4	0,36	355	455	665						270	466	300	421	453	629	499	630	658	1147	750	1025					
ANGAMARCA	2970 1°07'S 78°56'W	14 667,1	204,0	0,31	430	635	835						332	510	367	501	540	629	570	718	742	1172	810	1077					
PILLARO	2805 1°10'S 78°33'W	16 678,9	137,1	0,20	515	670	859						455	584	476	557	598	751	624	719	725	1017	773	955					
AMAYO	2540 1°15'S 78°37'W	37 489,7	120,6	0,25	260	341	475	550	860	228	295	239	283	312	372	322	362	446	396	456	499	597							

- El coeficiente de variación : Cv.

$$Cv = \frac{\hat{\sigma}}{\bar{p}}$$

- La altura pluviométrica de frecuencia centenal seca : F = 0,99
- La altura pluviométrica de frecuencia decenal seca : F = 0,90
- La altura pluviométrica de frecuencia mediana : F = 0,50
- La altura pluviométrica de frecuencia decenal húmeda: F = 0,10
- La altura pluviométrica de frecuencia centenal : F = 0,01

Estos valores fueron calculados a partir de la ley estadística que dio el mejor ajuste. Son, a veces, resultados de la interpolación hecha entre los valores dados por dos leyes cuyos ajustes son de calidad equivalente.

A excepción de unas pocas estaciones de la vertiente occidental de la cordillera andina y, sobre todo, de la región amazónica, que tienen distribuciones estadísticas simétricas, todas las otras estaciones siguen leyes cuya función de densidad presenta una asimetría positiva más o menos pronunciada, según la zona homogénea en la cual están ubicadas.

Son las leyes de PEARSON III (ley gamma incompleta) y sobre todo de GALTON (GAUSS - logarítmica) que dan generalmente los mejores ajustes. Es por eso que la mayoría de los intervalos de confianza presentados en la Tabla I han sido calculados admitiéndose que las distribuciones empíricas correspondían a una ley de GALTON. Además, esta es una de las pocas leyes estadísticas para las cuales la precisión de los resultados puede ser estimada de una manera sencilla sin errores importantes (Ver párrafo 2.4.).

2.1. Zonificación.-

Siendo, esta zonificación elaborada en base a ciertos parámetros característicos de las leyes de GAUSS, GALTON y PEARSON,

hemos reagrupado en la Tabla II todos los resultados que corresponden a estas tres leyes. Recordemos que cualquiera que sea la ley utilizada, se puede definir una variable reducida "u" de la siguiente forma :

$$u = \frac{X - X_0}{S}$$

Siendo: X, la variable estudiada,

-X₀, el parámetro de posición,

-S, el parámetro de escala.

(u no tiene dimensión)

Para la ley de GALTON se puede así, definir dos parámetros "a" y "b" de la siguiente forma :

$$u = a \log (X - X_0) + b$$

(u es la variable reducida de GAUSS).

En la Tabla II se presentan los resultados a partir de X₀ = 0 y, cuando es necesario, a partir de X₀ ≠ 0

Para la ley de PEARSON están: el parámetro de escala S, el parámetro de forma γ y, como para la ley GALTON, los resultados en base a X₀=0 y a partir de X₀ calculado.

La definición de las zonas pluviométricas homogéneas fue hecha, en una primera fase, únicamente en base a las alturas pluviométricas anuales, comparándose para todas las estaciones, los valores de tres parámetros estadísticos :

-El coeficiente de variación : $Cv = \frac{\sigma}{\bar{P}}$

-La pendiente de la recta de GALTON : "a", que es el inverso de la desviación estandar de los logaritmos de los valores de la variable P.

- El parámetro de la forma de la ley de PEARSON : γ .

Sin embargo, estos dos últimos parámetros son comparables entre una estación y otra, solamente en la medida que X_0 sea nulo, por lo que hemos sacrificado el rigor y la precisión científica a la necesidad de lograr resultados homogéneos. Se puede verificar en la Tabla II que en todos los casos esta simplificación nunca ocasiona errores muy significativos.

Seis zonas han sido así definidas :

- Zona 1 : Zona muy seca, de débil área. Corresponde a la extremidad de la península de SANTA ELENA. Las estaciones más representativas son SALINAS (ver gráfico N° 1), LA LIBERTAD y ANCON.

Está caracterizada por :

- . $P_{0,5} < 170$ mm.
- . $0,8 < C_v < 1$
- . $2,70 < a < 3$
- . γ cercano de 1

Estos parámetros corresponden a distribuciones muy asimétricas. Las funciones de densidad son representadas por curvas en J.

Zona 2 : Zona seca, alargada en el sentido norte-sur, con un ancho de 30 a 50 Km. Su límite septentrional se sitúa a la altura de la latitud de MANTA, se prolonga al sur hasta ZAPOTILLO y MACARA.

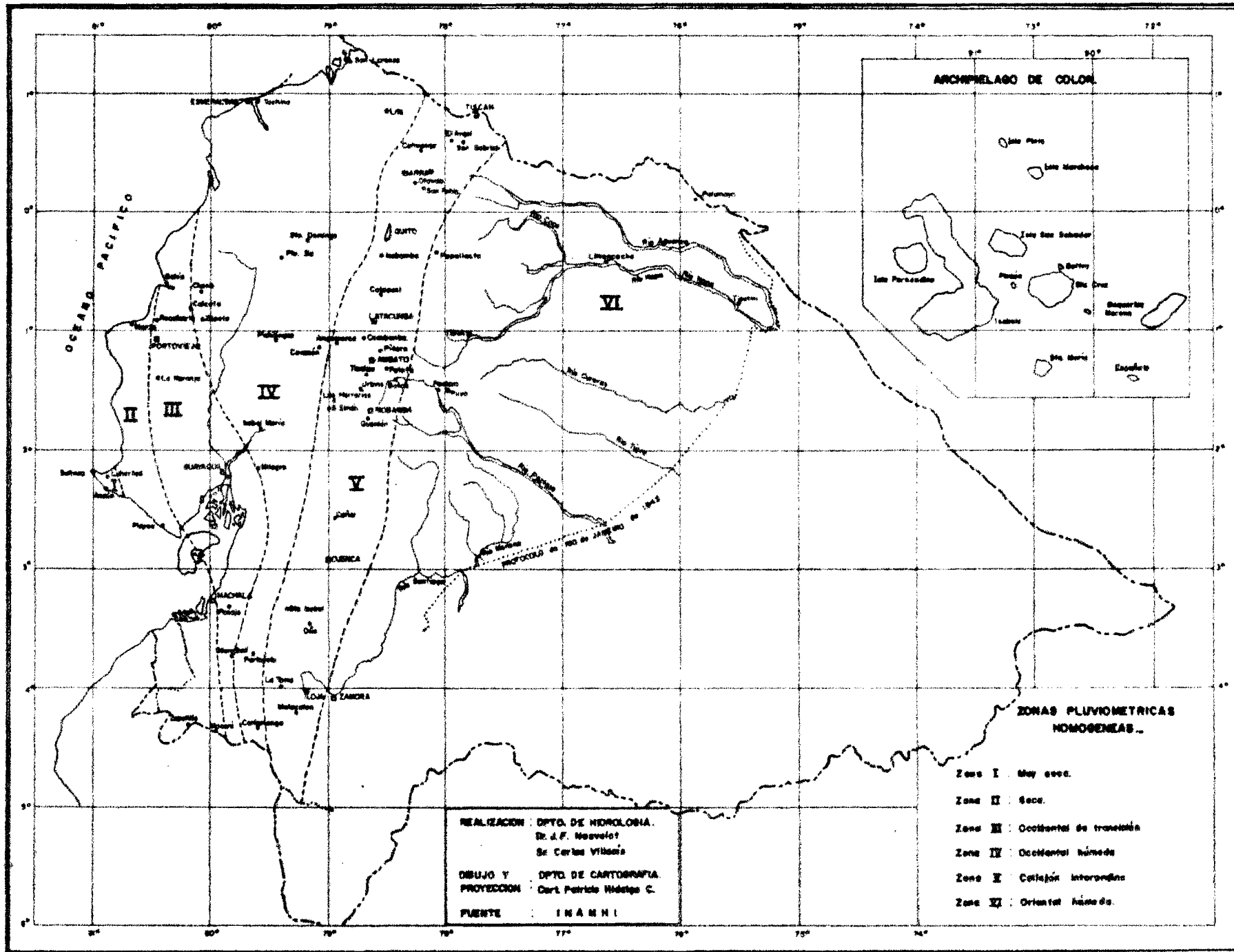
Está caracterizada por :

- . $170 < P_{0,5} < 500$ mm.
- . $0,50 < C_v < 0,80$
- . $3 < a < 4,5$
- . $1,50 < \gamma < 3,5$

Las funciones de densidad son curvas en forma de campana, asimétricas. Las estaciones representativas son : MANTA, PLAYAS, MACHALA (ver gráfico N° 2) y ZAPOTILLO.

ZONAS PLUVIOMETRICAS HOMOGENEAS.

Escala 1:5000.000



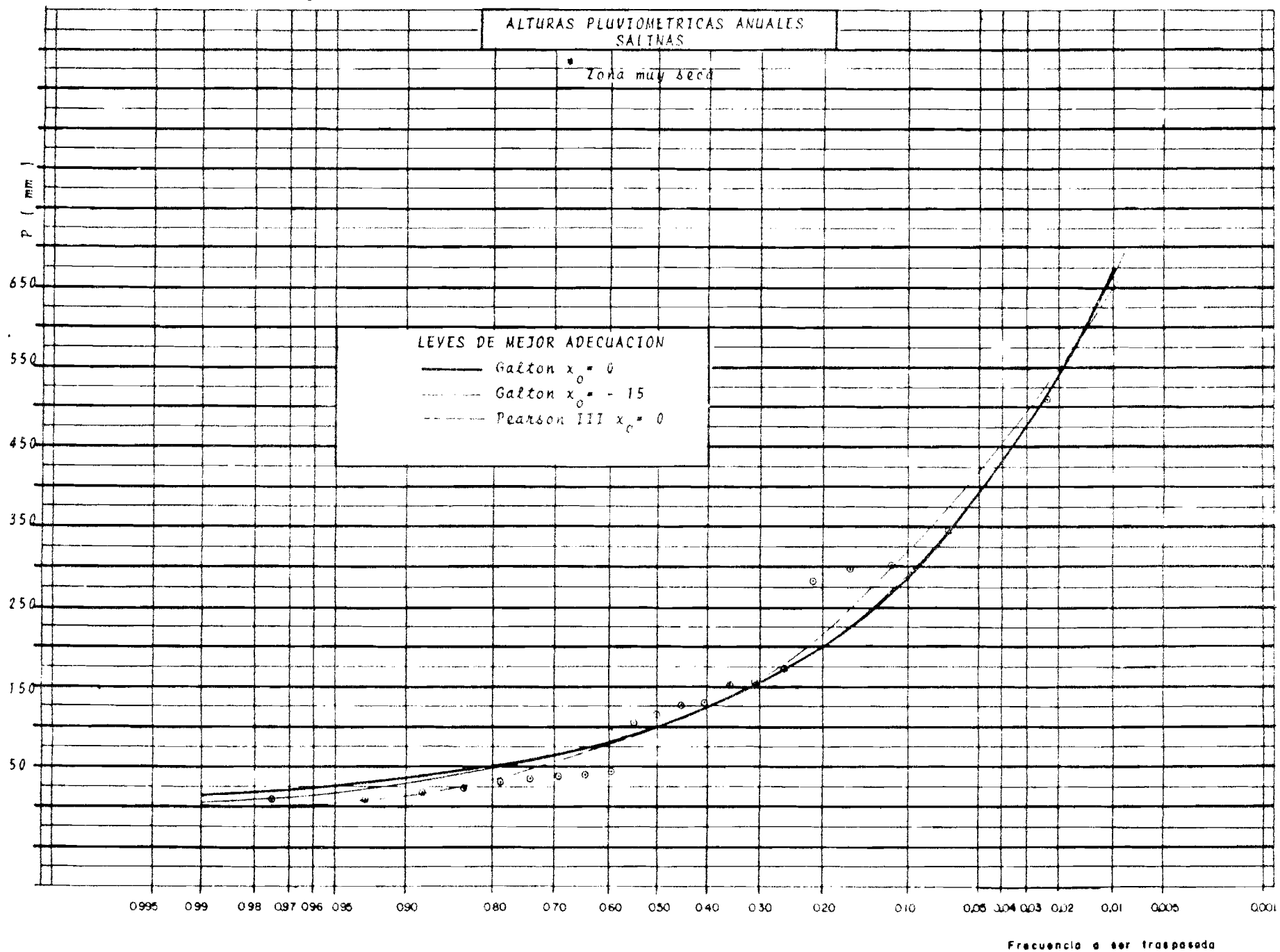


DIAGRAMA DE GAUSS

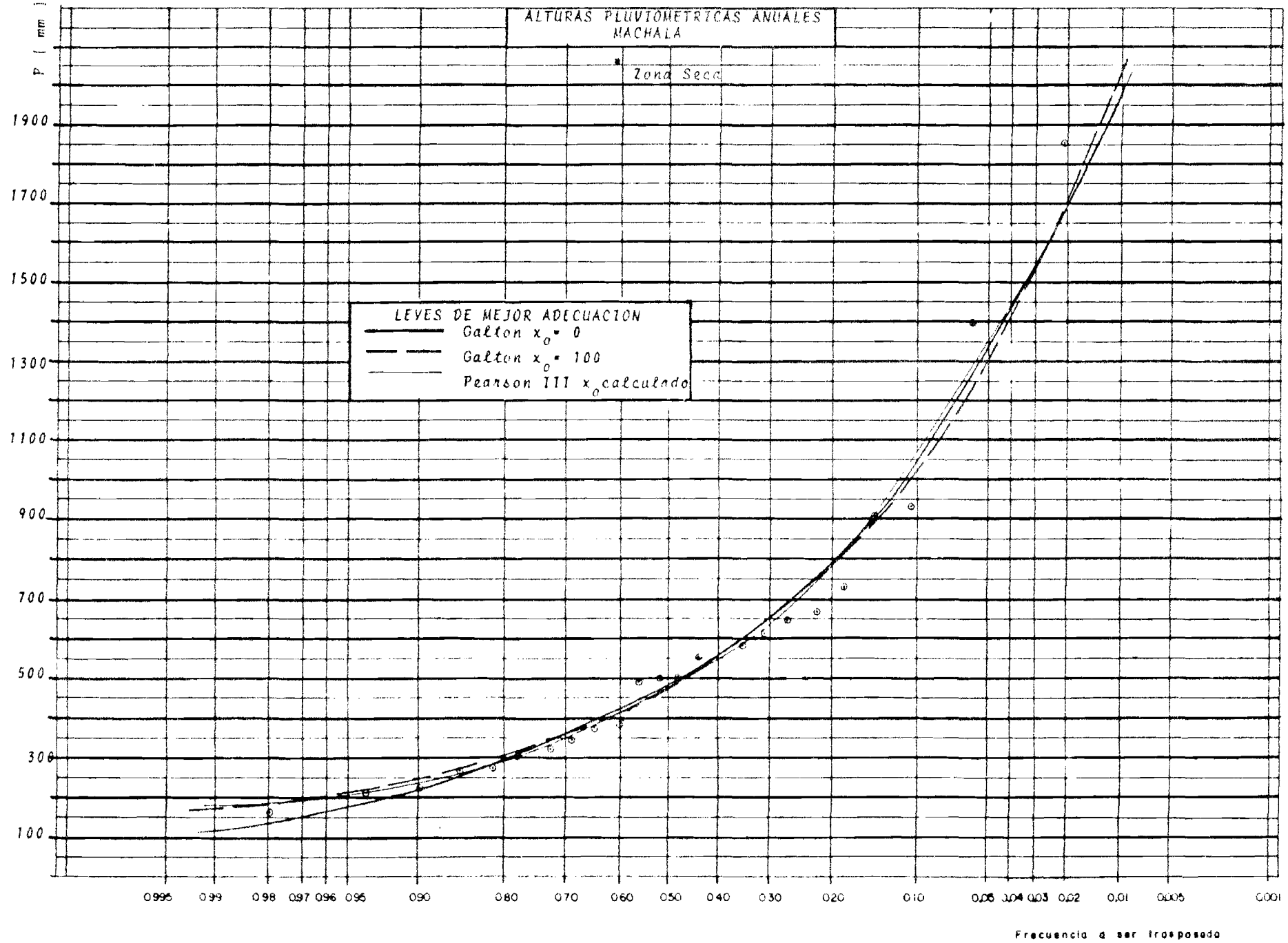


Gráfico 2

- Zona 3 : Zona occidental de transición, paralela a la zona precedente, pero desplazada hacia el este. Tiene la forma de un huso con un ancho máximo de cien kilómetros. Las estaciones más representativas son : PROTOVIEJO (ver gráfico N° 3) GUAYAQUIL y PASAJE.

Esta zona se puede caracterizar de la siguiente forma :

- . $500 < P_{0,5} < 1200$ mm.
- . $0,35 < C_v < 0,45$
- . $5 < a < 6$
- . $4 < \gamma < 6,5$

Las funciones de densidad son curvas en forma de campana, menos asimétricas que las de la zona anterior.

- Zona 4 : Zona húmeda occidental. Ubicada sobretodo al norte de la latitud $0^{\circ}30'$ sur. Abarca toda el área incluida entre la costa y los Andes. Al sur de este límite se extiende también a lo largo de la cordillera andina, según un eje norte-sur, pero su límite occidental es la zona anterior. Su parte meridional es mucho más estrecha. Es evidente que la transición para pasar de una zona a otra es muy progresiva y el trazo de un límite en el mapa representa solamente la ubicación media de una franja más o menos ancha. Estaciones como : ESMARALDAS-TACHINA, LA NARANJA, CALCETA, ISABEL MARIA, MILAGRO, MARCABELI (ver gráfico N° 4), pertenecen a la franja que separa las zonas 3 y 4.

Esta franja se caracteriza por :

- . $1000 < P_{0,5} < 1700$ mm
- . $0,35 < C_v < 0,40$
- . $6,5 < a < 7$
- . $6,5 < \gamma < 12$

La propia zona 4 presenta una cierta heterogeneidad debida esencialmente, a la orografía. Lamentablemente el número de estacio

DIAGRAMA DE GAUSS

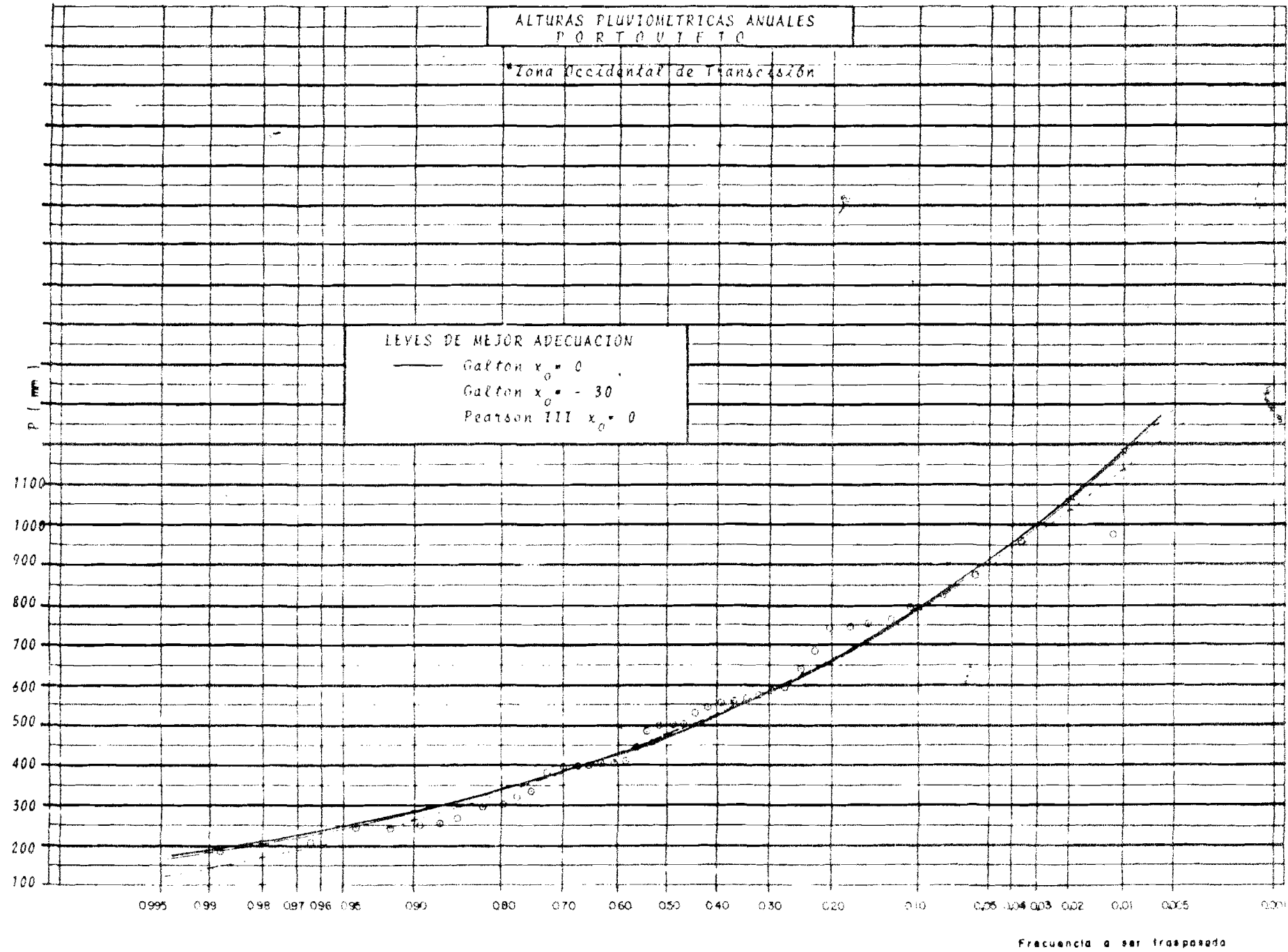


Gráfico 3

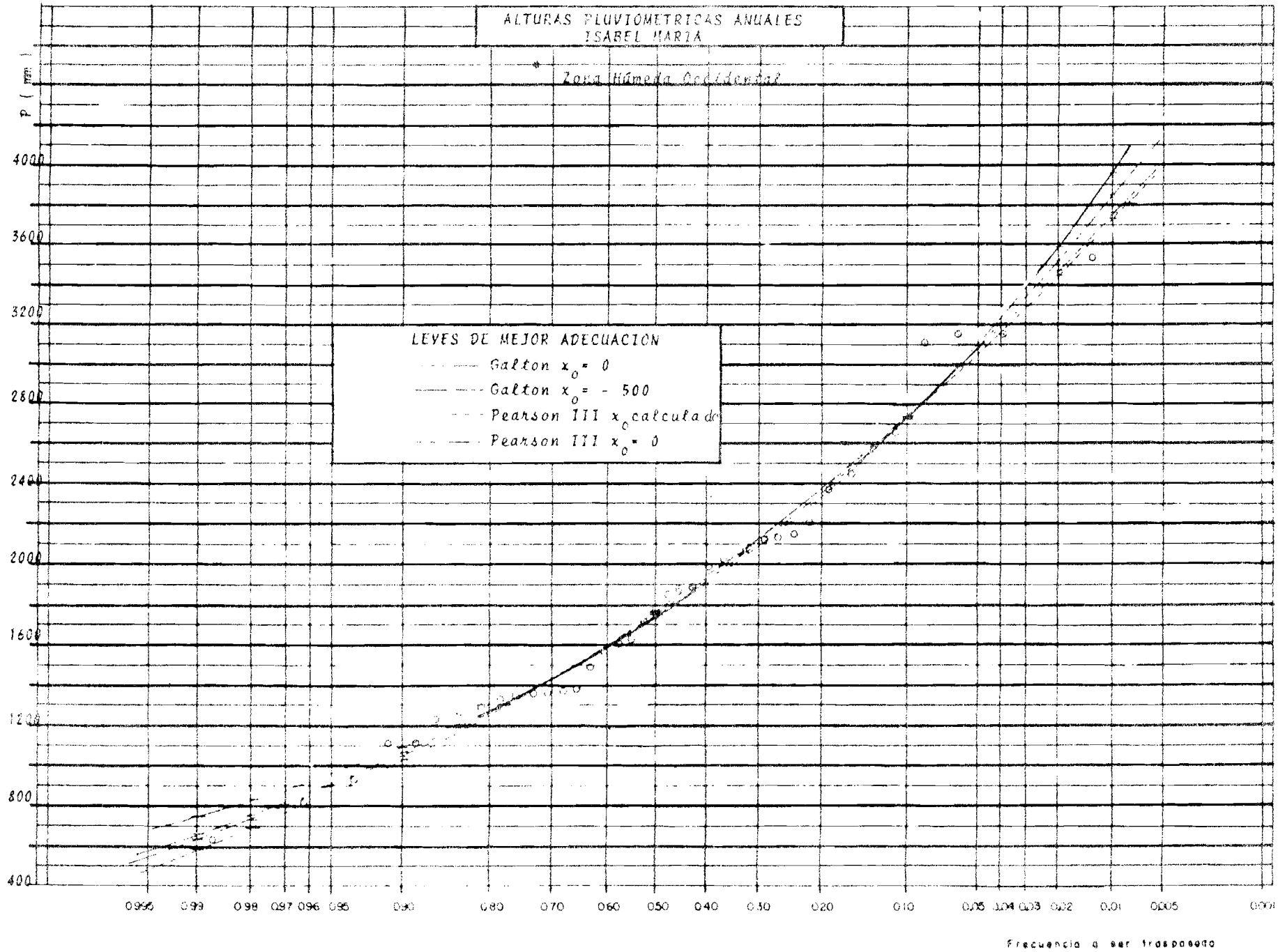


Gráfico 4

nes de observación y su distribución en el espacio, no permiten llevar a cabo el estudio de la influencia de la altitud sobre la pluviosidad. Se puede notar solamente que a lo largo de un eje oeste-este, más o menos perpendicular a la costa y a la cordillera andina, la gradiente pluviométrica es positiva hasta una altitud de unos 1000 a 1500 metros y después es negativa.

Entre las estaciones representativas de esta zona podemos mencionar: LITA (740 m), SANTO DOMINGO (600 m), PUERTO ILA (300 m), PICHILINGUE (120 m), EL CORAZON (1560 m) y PORTOVELO (900 m).

Sus características estadísticas son las siguientes:

- . $1500 < P_{0,5} < 5000 - 6000$ mm.
- . $0,20 < C_v < 0,30$
- . $7,5 < a < 12,5$
- . $12,5 < \gamma < 30$ (hay una fuerte probabilidad de observar :
 $19 < \gamma < 30$).

Debemos recalcar que para la Ley de PEARSON III las formas de las funciones de densidad no varía de manera muy notable, cuando γ pasa del valor 15 al 30. Para valores superiores a 30 las distribuciones se acercan a una forma normal simétrica.

OBSERVACIÓN : Estas cuatro primeras zonas, a pesar de ser bastante diferentes, están sometidas a la influencia oceánica que se caracteriza por una estación lluviosa más o menos pronunciada, según las regiones, de diciembre a junio, registrándose un máximo en marzo-abril.

- Zona 5 : Callejón Interandino

Hemos reunido en una zona el conjunto de estaciones cuyo principal punto común es el estar ubicadas en el callejón interandino. Sabemos perfectamente que la orografía representa, en esta región, uno

de los factores esenciales que condicionan la pluviosidad. No solamente la altitud, pero igualmente la orientación de las vertientes y de los valles tienen un papel importante en la distribución de las alturas pluviométricas. Sin embargo, si se pone aparte, ciertos valles bastante cerrados tal como los de SALINAS-IMBABURA, PALMIRA, SANTA ISABEL o LA TOMA y ciertas regiones ubicadas a una altitud bastante superior a los 3000 metros (URBINA, COTOPAXI, LAS HERRERIAS), la homogeneidad pluviométrica es relativamente satisfactoria y puede ser caracterizada en base a los siguientes parámetros:

- . $400 < P_{0,5} < 1500$ mm (fuerte proporción de:
500 < $P_{0,5} < 1000$ mm)
- . $0,15 < C_v < 0,25$
- . $10 < a < 15$
- . $15 < \gamma < 50$

Se trata de distribuciones ligeramente hipergáussicas, a veces muy cercanas a una distribución normal (ver gráfico N° 5, distribución estadística dada por Quito-Observatorio).

En el caso de los valles secos tenemos :

- . $300 < P_{0,5} < 500$ mm.
- . $0,25 < C_v < 0,30$
- . $7 < a < 8$
- . $10 < \gamma < 15$

En zonas bastante altas se observa una cierta irregularidad que es consecuencia de la orografía, pero la tendencia general nos parece ser, de la misma manera que en los valles secos, una asimetría más fuerte de las distribuciones estadísticas. Tenemos:

- . $P_{0,5} > 600$ mm. (muchas veces $P_{0,5} > 1000$ mm)
- . $0,30 < C_v < 0,35$
- . $6,5 < a < 8$
- . $9 < \gamma < 12$

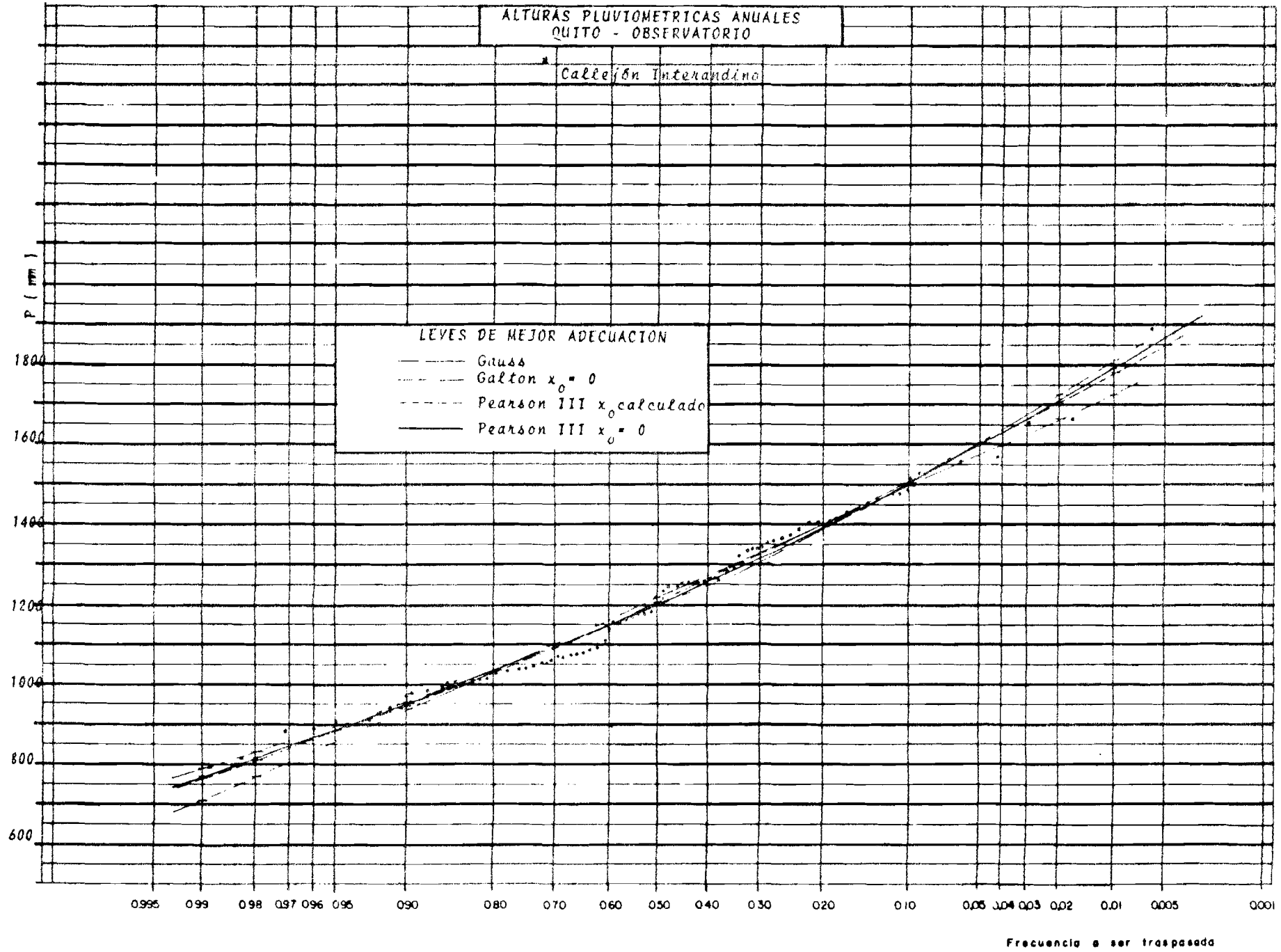


Gráfico 5

Las zonas que tienen una altitud superior a los 4000 metros padecen de una total carencia de observaciones. En cuanto a las regiones, por suerte poco extensas, cuya altitud es superior a los 5000 metros se quedan fuera del alcance de este estudio, dado que el único aporte meteorológico observado son las precipitaciones de nieve.

Observación : En todo el callejón interandino las distribuciones mensuales tienen, de una manera más o menos visible dos estaciones lluviosas : una principal, que va de enero a mayo con un pico en abril en la parte septentrional y un máximo en marzo en el sur, y otra estación lluviosa secundaria que va de septiembre a diciembre con un pico en octubre o noviembre.

- Zona 6 : Zona húmeda oriental.

Esta zona corresponde a la región amazónica que permanece de una manera casi constante bajo la influencia de una masa de aire húmedo continental.

Aunque la información pluviométrica sea bastante escasa para obtener conclusiones definitivas, nos parece innegable que la cordillera andina tenga un papel importante en la distribución de las lluvias. De la misma manera que en la vertiente occidental de la cordillera, las máximas alturas pluviométricas anuales se encuentran entre los 1000 o 1500 metros.

Sus características estadísticas son las siguientes :

- . $1500 < P_{0,5} < 5000-6000$ mm.
- . $0,10 < C_v < 0,20$
- . $10 < a < 25$
- . $25 < \gamma < 150$

Sin poder dar una explicación satisfactoria a este fenómeno se pueden definir dos grupos de estaciones :

- Primer grupo : Conformado por las estaciones de TENA, TIPUTINI, PUTUMAYO, ubicadas en la parte septentrional de la zona.

Tenemos :

- . Cv cercano a 0,20
- . $10 < a < 12$
- . $22 < \gamma < 27$

- Segundo grupo : Que abarca las estaciones de PASTAZA, LIMONCOCHA, ZAMORA, y, EL PUYO (ver gráfico N°6), con :

- Cv cercano a 0,10
- . $22 < a < 27$
- . $100 < \gamma < 150$

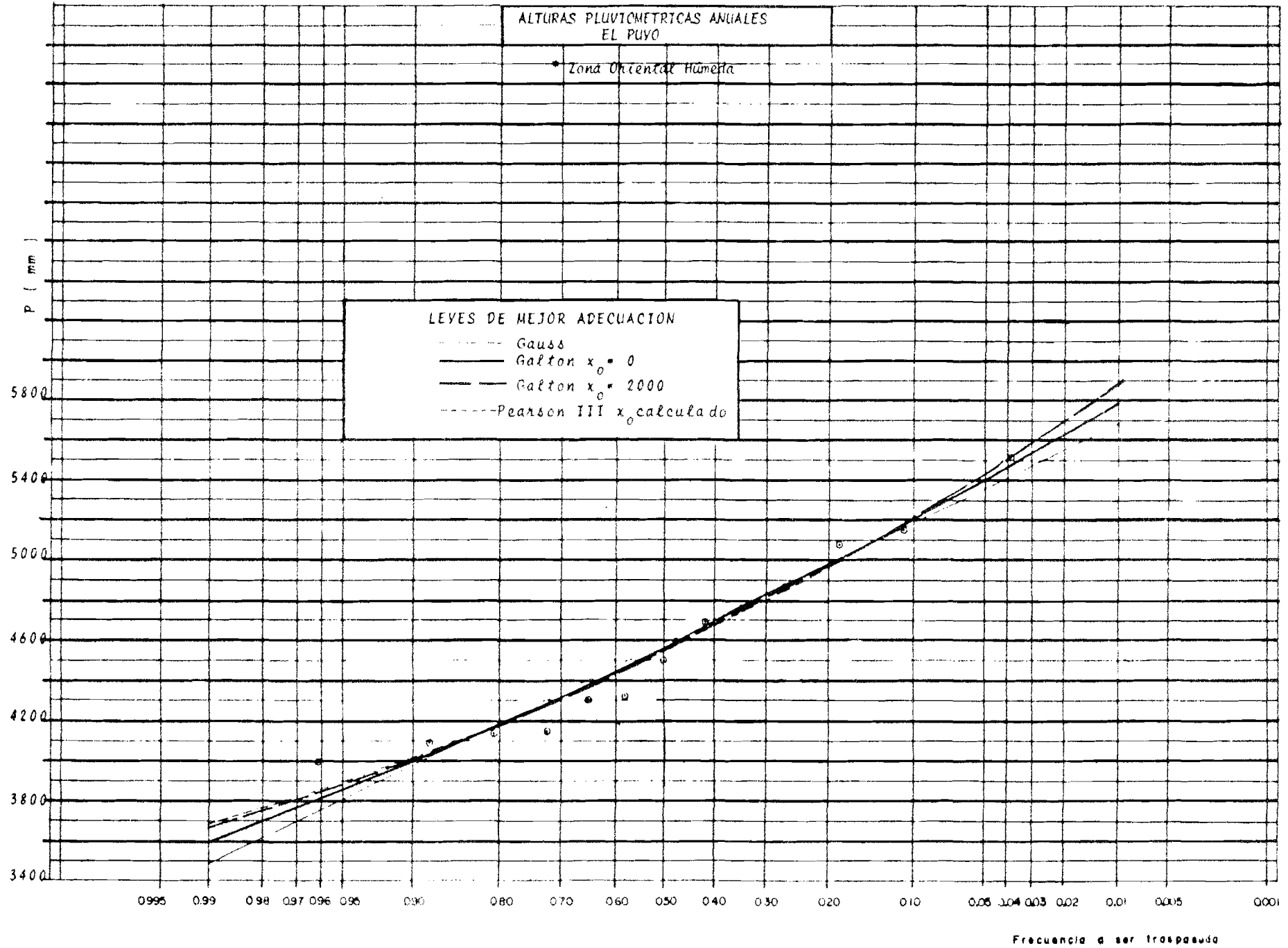
Es evidente que el débil número de estaciones no permite definir zonas de transición. De todas maneras las estaciones del grupo N°1 como las del grupo N°2 tienen distribuciones estadísticas muy cercanas a una distribución normal. La estación PAPALLACTA, ubicada a una altitud de 3160 metros, tiene también un parámetro γ cuyo valor es cercano a 40.

Aunque esta zona tenga algunas similitudes con la zona húmeda occidental (alta pluviosidad y fuerte humedad), un cierto número de características permite diferenciarlas :

- Todas las estaciones ubicadas en la vertiente oriental de la cordillera presentan distribuciones casi normales, lo cual es algo excepcional entre todas las estaciones de la vertiente occidental, cuyas funciones de densidad tienen la forma de una campana asimétrica (de asimetría siempre positiva).
- La región amazónica goza, durante todo el año de alturas pluviométricas bastante importantes, con ciertas fluctuaciones mensuales, que además pueden variar de una estación a otra. Al contrario la zona húmeda occidental está caracterizada por un ciclo estacional relativamente bien definido, con una significativa disminución de la pluviosidad entre julio y octubre.

2. Relaciones entre las alturas pluviométricas medias y las alturas pluviométricas medianas.

DIAGRAMA DE GAUSS



La media aritmética es un parámetro muy utilizado por la facilidad de su estimación. Sin embargo su valor corresponde a una probabilidad que varía en función de la distribución estadística del muestreo estudiado. Es solamente para la ley Normal que la media tiene una frecuencia de 0,5, dado que en este caso particular la media, mediana y moda, tienen el mismo valor.

En la anterior descripción de las diferentes zonas pluviométricas, ya hemos observado que ciertas estaciones tienen alturas pluviométricas anuales que siguen leyes simétricas cercanas a la Ley Normal. Sin embargo sabemos que la mayoría de las estaciones presentan ajustes unimodales asimétricos en los cuales la media (\bar{P}), la mediana ($P_{0,5}$) y la moda (P_m) tienen valores diferentes. Como, en todos los casos, se trata de una asimetría positiva, se encuentran en orden creciente: la moda, mediana y media.

Estos tres parámetros están relacionados de una manera aproximada por la ecuación :

$$\bar{P} - P_{0,5} \approx \frac{\bar{P} - P_m}{3}$$

En cambio las relaciones que unen solamente la media y mediana dependen, no únicamente de la ley escogida, sino también del valor de los parámetros de esta ley.

Más adelante constan las relaciones empíricas que a partir de la media, permiten estimar la mediana a nivel regional. Fue definida una relación para cada zona pluviométrica homogénea.

(Todos los valores se expresan en milímetros).

1. Zona 1 : Zona muy seca

$$P_{0,5} = 0,725 \bar{P}$$

La diferencia relativa entre las dos variables es superior al 25%

La media corresponde a una frecuencia que se sitúa alrededor de 0,35, es decir un período de retorno de tres años.

2.2.2. Zona 2 : Zona seca

$$\cdot \underline{P_{0,5} = 0,85 \bar{P}}$$

La diferencia relativa entre las dos variables baja al 15% lo que no es despreciable, a pesar de todo. La frecuencia que corresponde al valor de la media es cercana a 0,42, o sea un período de retorno de 2,4 años.

Observación : Las relaciones propuestas para estas dos primeras zonas fueron definidas unicamente en base a 3 o 4 valores. Por eso pensamos que es inoportuno dar la precisión de los coeficientes de correlación que en ambos casos están muy cerca de 1.

2.2.3. Zona 3 : Zona occidental de transición

$$\cdot \underline{P_{0,5} = 0,93 \bar{P} + 6,2}$$

$$\cdot R = 0,999 \text{ con } N = 6 \text{ valores}$$

$$\cdot I \text{ 95\% : } 0,990 - 1,00$$

(I 95% : intervalo de variación del coeficiente de correlación R para una probabilidad de 0,95).

La diferencia relativa entre $P_{0,5}$ y \bar{P} se sitúa entre 6% y 7%, siendo la frecuencia que corresponde a la media, de 0,45, es decir un período de retorno de 2,2 años.

2.2.4. Zona 4 : Zona húmeda occidental

$$\cdot \underline{P_{0,5} = 0,98 \bar{P} + 8,8}$$

$$\cdot R = 0,999 \text{ con } N = 10$$

$$\cdot I \text{ 95\% : } 0,995 - 1,00$$

La diferencia relativa entre las dos variables no pasa del 2%

2.2.5. Zona 5 : Callejón interandino

- . $P_{0,5} = 0,985 \bar{P} - 6,4$
- . $R = 0,999$ con $N = 28$
- . $I 95\% : 0,997 - 0,999$

La diferencia relativa está también cercana al 2%.

2.2.6. Zona 6 : Zona húmeda oriental

- . $P_{0,5} = 0,994 \bar{P} - 15,1$
- . $R = 0,9998$ con $N = 8$

La diferencia relativa entre $P_{0,5}$ y \bar{P} se sitúa solamente entre 0,5 y 1,5%, dado que ciertas estaciones tienen una distribución gáussica.

2.3. Otras frecuencias.-

La estimación del valor de la variable P que corresponde a otras frecuencias se hace en una primera fase, en base a las alturas pluviométricas anuales de frecuencia mediana ($F = 0,5$).

2.3.1. Estimación de las alturas pluviométricas anuales de frecuencia decenales

Tenemos que diferenciar :

- La frecuencia decenal seca : $F = 0,90$ (frecuencia a ser traspasada).
- La frecuencia decenal húmeda : $F = 0,10$.

De la misma manera que para el estudio de la relación $P_{0,5} = f(\bar{P})$ debemos, en la medida que se admita que la relación estocástica es lineal, hacer un cierto número de hipótesis cuya verificación es muy difícil:

- Las variables tienen una distribución marginal normal.
- La variable independiente (por ejemplo \bar{P}) está determinada

con un error muy inferior al de la variable dependiente ($P_{0,5}$ en las anteriores relaciones).

- La auto-correlación de los valores observados de la variable de pendiente es despreciable.
- Los residuos tienen una distribución normal y tienen un valor independiente del valor de la variable dependiente.

Si la segunda y cuarta hipótesis pueden, sin errores importantes, ser consideradas como realizadas, tenemos que admitir igualmente que, en la medida en que los coeficientes de correlación obtenidos tienen valores significativos, la primera y la tercera lo son también. Se trata evidentemente de un razonamiento al revés, con el cual debemos satisfacernos.

2.3.1.1. Alturas pluviométricas de frecuencia decenal seca.

- Zonas 1 y 2 : Zonas muy seca y seca.

$$\cdot \frac{P_{0,9}}{P_{0,5}} = 0,53 P_{0,5} - 35 \text{ (mm)}$$

$$\cdot R = 0,984 \quad \text{con } N = 7$$

$$\cdot I \text{ 95\% : } 0,892 - 0,998$$

- Zona 3 : Zona occidental de transición, incluso la franja que permite pasar a la zona 2

$$\cdot \frac{P_{0,9}}{P_{0,5}} = 0,61 P_{0,5} - 14 \text{ (en mm)}$$

$$\cdot R = 0,998 \quad \text{con } N = 10$$

$$\cdot I \text{ 95\% : } 0,991 - 1,00$$

- Zona 4 : Zona húmeda occidental

$$\cdot \frac{P_{0,9}}{P_{0,5}} = 0,82 P_{0,5} - 169 \text{ (en mm)}$$

$$\cdot R = 0,992 \quad \text{con } N = 9$$

$$\cdot I \text{ 95\% : } 0,961 - 0,998$$

- Zona 5 : Callejón interandino

$$\cdot \frac{P_{0,9}}{P_{0,5}} = 0,81 P_{0,5} - 47 \text{ (en mm)}$$

$$\cdot R = 0,978 \quad \text{con } N = 26$$

. I 95% : 0,951 - 0,990

- Zona 6 : Zona húmeda oriental

. $\frac{P_{0,9}}{P_{0,5}} = 0,87 P_{0,5} - 121$ (en mm)

. R = 0,986 con N = 9

. I 95% : 0,933 - 0,997

Cuando se trata de hacer estimaciones rápidas pero evidentemente menos precisas y para facilitar las comparaciones entre las diferentes zonas, se puede utilizar, para la relación :

$$\frac{P_{0,9}}{P_{0,5}}$$

Los siguientes valores :

Zona 2: 0,40, zona 3 : 0,60, zona 4 : 0,75, zona 5 : 0,76, zona 6: 0,83.

2.3.1.2. Alturas pluviométricas de frecuencia decenal húmeda

- Zona 1 :

. $\frac{P_{0,10}}{P_{0,5}} = 2,20 P_{0,5} + 100$ (en mm)

. R. = 0,991 con N = 4

. I 95% : 0,629 - 1,00

- Zona 2 :

. $\frac{P_{0,10}}{P_{0,5}} = 1,97 P_{0,5} + 44$ (en mm)

. R = 0,967 con N = 4

. I 95% : 0,084 - 0,999

- Zona 3 :

. $\frac{P_{0,10}}{P_{0,5}} = 1,74 P_{0,5} - 66$ (en mm)

. R = 0,998 con N =5

. I 95% : 0,968 - 1,00

En franja de transición tenemos :

. $\frac{P_{0,10}}{P_{0,5}} = 1,60 P_{0,5} - 51$ (en mm)

. R = 0,998 con N = 5

. I 95% : 0,968 - 1,00

- Zona 4 :

$$P_{0,10} = \frac{1,26 P_{0,5} + 104}{\quad} \text{ (en mm)}$$

$$R = 0,996 \quad \text{con } N = 9$$

$$I \text{ 95\%: } 0,980 - 0,999$$

- Zona 5 :

$$P_{0,10} = \frac{1,23 P_{0,5} + 73}{\quad} \text{ (en mm)}$$

$$R = 0,996 \quad \text{con } N = 25$$

$$I \text{ 95\% : } 0,925 - 0,985$$

- Zona 6 :

$$P_{0,10} = \frac{1,13 P_{0,5} + 227}{\quad} \text{ (en mm)}$$

$$R = 0,987 \quad \text{con } N = 9$$

$$I \text{ 95\% : } 0,937 - 0,997$$

De la misma manera que para la frecuencia decenal seca, se puede utilizar para la relación:

$$\frac{P_{0,1}}{P_{0,5}}$$

Zona 1 : 3, Zona 2 : 2, Zona 3 : 1,71 y 1,59 para la franja - de transición, Zona 4 : 1,30, Zona 5 : 1,25 y la Zona 6 : 1,17.

2.3.2. Estimación de las alturas pluviométricas anuales de frecuencia centenal

Se diferenciarán:

- La frecuencia centenal seca : $F = 0,99$.

- La frecuencia centenal húmeda : $F = 0,01$.

2.3.2.1. Alturas pluviométricas de frecuencia centenal seca

Siendo la información disponible muy escasa, hemos agrupado las tres zonas occidentales más secas.

- Zona 1, 2 y 3 :

. $\frac{P_{0,99}}{P_{0,9}} = 0,65 P_{0,9}$ (en mm)

. R = 0,995 con N = 6

. I 95% : 0,953 - 0,999

- Zona 4 :

. $\frac{P_{0,99}}{P_{0,9}} = 0,84 P_{0,9} - 90$ (en mm)

. R = 0,988 con N = 5

. I 95% : 0,829 - 0,999

- Zona 5 :

. $\frac{P_{0,99}}{P_{0,9}} = 0,80 P_{0,9} - 5$ (en mm)

. R = 0,991 con N = 12

. I 95% : 0,967 - 0,998

- Zona 6 :

Para suplir la falta de datos en esta zona proponemos utilizar la siguiente relación : $\frac{P_{0,99}}{P_{0,9}} = 0,85 P_{0,9}$ (en mm).

Se puede utilizar también, sin riesgo de conseguir resultados muy errados :

- Para las zonas secas y la zona de transición :

$$\frac{P_{0,99}}{P_{0,9}} = 0,65$$

- Para el callejón interandino : $\frac{P_{0,99}}{P_{0,9}} = 0,80$

- Para la zona húmeda occidental : $\frac{P_{0,99}}{P_{0,9}} = 0,77$

- Para la zona húmeda oriental : $\frac{P_{0,99}}{P_{0,9}} = 0,85$

2.3.2.2. Alturas pluviométricas de frecuencia centenal húmeda.

- Zona 1 : Sin poder dar un intervalo de presición para los resultados, proponemos:

$$\cdot \frac{P_{0,01}}{P_{0,10}} = 2,20 P_{0,10} \quad (\text{ en mm })$$

- Zona 2 : De la misma manera que para la zona anterior se puede utilizar:

$$\cdot \frac{P_{0,01}}{P_{0,10}} = 1,60 P_{0,10} \quad (\text{ en mm })$$

- Zona 3: $\cdot P_{0,01} = 1,54 P_{0,10} - 35$ (en mm)

- Zona 4: $\cdot P_{0,01} = 1,35 P_{0,10} - 238$ (en mm)

$$\cdot R = 0,99 \quad \text{ con } N = 5$$

- Zona 5 :

$$\cdot \frac{P_{0,01}}{P_{0,10}} = 1,38 P_{0,10} - 81 \quad (\text{ en mm })$$

$$\cdot R = 0,982 \quad \text{ con } N = 12$$

$$\cdot I \ 95\% : 0,939 - 0,995$$

- Zona 6 : $\cdot P_{0,01} = 1,15 P_{0,1}$ (en mm)

Para simplificar podemos adóptar para la relación:

$$\frac{P_{0,01}}{P_{0,1}}$$

Zona 1 : 2,20; Zona 2 : 1,60; Zona 3 : 1,54; Zona 4 : 1,28;

Zona 5: 1,23; Zona 6 : 1,15.

Los ábacos N°1 a N°6 permiten estimar, a partir de la altura pluviométrica anual media, las alturas de frecuencias - mediana, decenales y centenales secas y húmedas.

2.3.3. Estimación de las alturas pluviométricas anuales de cualquier frecuencia.

A veces, para ciertos estudios, es necesario estimar no solamente las alturas pluviométricas de frecuencia mediana, decenales o centenales sino también otras alturas que corresponden a frecuencias intermedias. Para estos cálculos se puede aprovechar las más sencillas propiedades de las leyes

de GAUSS, GALTON y PEARSON III.

2.3.3.1. Utilización de la Ley de GALTON.

La Ley de GALTON puede definirse por su función de repartición :

$$F(P)^* = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

siendo $u = a \log (P - P_0) + b$.

(u es variable reducida de GAUSS).

F(P) representa la frecuencia a no ser traspasada.

Se puede observar que tenemos así una ley absolutamente idéntica a la Ley de GAUSS, siendo la variable :

$$y = \log (P - P_0) \text{ en lugar de } P$$

A fin de obtener resultados homogéneos hemos admitido, por hipótesis que $P_0 = 0$ (ver párrafo 2.1).

Así, se puede escribir :

$$\text{Log } P = \frac{u - b}{a} \text{ o } P = 10^{\frac{u - b}{a}} \quad (1)$$

En la zonificación propuesta, el parámetro a varía para una zona determinada dentro de un cierto intervalo. Si se quiere una mejor precisión se puede escoger, utilizando el mapa N° 1, el parámetro a de la estación pluviométrica su puestamente representativa de la región a estudiar. Si no, se tomará para a un valor más o menos mediano entre los valores del intervalo de la zona.

Para la estimación del parámetro b se dispone del mapa de isoyetas anuales a escala 1/200.000 o 1/1000.000 que nos -

*. J.F. NOUVELOT : Nociones de estadística. Las principales leyes estadísticas utilizadas en hidro-climatología. ORSTOM-PRONAREG. Quito 1980.

permite conocer la altura pluviométrica media anual del lugar o de la región. Una de las relaciones $P_{0,5} = f(\bar{P})$ del párrafo 2.2. nos facilita la estimación de la mediana. La ecuación (1) dada arriba, permite escribir la relación siguiente, sabiendo que para la mediana, $u=0$.

$$b = - a \log P_{0,5}$$

La ecuación general utilizada para el cálculo del valor de cualquier frecuencia será :

$$\log P = \frac{u + a \log P_{0,5}}{a}$$

P = precipitación anual.

$$P = 10^{\left(\frac{u + a \log P_{0,5}}{a} \right)}$$

Es entonces, suficiente disponer de una tabla de GAUSS. Recordamos que :

u = 0	para	F = 0,5
u = ± 0,524	para	F = 0,30 y 0,70
u = ± 0,842	para	F = 0,20 y 0,80
u = ± 1,282	para	F = 0,10 y 0,90
u = ± 1,645	para	F = 0,05 y 0,95
u = ± 1,960	para	F = 0,025 y 0,975
u = ± 2,054	para	F = 0,020 y 0,98
u = ± 2,326	para	F = 0,01 y 0,99

Si disponemos de una calculadora electrónica programable, se puede elaborar un programa muy sencillo que permita, después de haber entrado los valores de "a" y $P_{0,5}$, calcular el valor de "P" que corresponde a cualquier frecuencia. Se puede también utilizar una fórmula empírica que para cualquier valor de "F" nos da una estimación de u^* .

2.3.2.2. Utilización de la Ley de PEARSON III (Ley Gamma incompleta).

La función de repartición de la Ley de PEARSON III o Ley Gamma-

* J.F. NOUVELCT: Nociones de estadística. Las principales leyes estadísticas utilizadas en hidro-climatología. ORSTOM-PRONAREG. Quito, 1980.

incompleta está definida por :

$$F(P) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^u u^{\gamma-1} e^{-u} du$$

Siendo : F (P) la frecuencia a no ser traspasada,

$\Gamma(\gamma)$ la función γ completa definida por :

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} u^{\gamma-1} e^{-u} du,$$

γ el parámetro de forma siempre positiva.

Cuando γ no es muy débil con respecto a las alturas pluviométricas anuales, es decir en casi todas las regiones del Ecuador, se pueden simplificar los cálculos, utilizándose la aproximación de WILSON.

La única zona donde el error relativo podría llegar al 10% para las alturas que corresponden a la frecuencia decenal, sería la zona muy seca (zona 1) de la Península de SANTA ELENA donde el valor de γ es cercano a 1.

La aproximación de WILSON, permite utilizar solamente una tabla de GAUSS para hacer los cálculos, de la misma manera que en el caso de la Ley de GALTON. Por eso se considera que :

$$y = \sqrt[3]{\frac{P}{\bar{p}}}$$

está distribuida normalmente con una media : $m = 1 - \frac{1}{9\gamma}$ y una -
varianza : $S^2 = \frac{1}{9\gamma}$

El cálculo de la variable P, para varias frecuencias, se efectuará en base a la relación :

$$\sqrt[3]{\frac{P}{\bar{p}}} = m + u \cdot S \quad (\text{propiedad de la Ley de GAUSS})$$

sea

$$\sqrt[3]{\frac{P}{\bar{p}}} = 1 - \frac{1}{9\gamma} + u \cdot \frac{1}{9\gamma}$$

$$P = \bar{P} \left(1 - \frac{1}{9Y} + u \sqrt{\frac{1}{9Y}} \right)^3$$

Y puede ser definido, sea a nivel regional, lo que nunca ocasiona errores superiores al 10% y en la mayoría de los casos a 5% o sea para llegar a una mejor precisión, utilizando una estación de referencia, de la misma manera que para la Ley de GAULTON.

2.3.3.3. Observación: Cuando se trata de estudiar una región donde hay una gran probabilidad que las alturas pluviométricas anuales estén distribuidas siguiendo una ley normal (en la práctica en zonas donde el coeficiente de forma de la Ley de PEARSON es superior a 50) se puede más sencillamente utilizar las propiedades de la Ley de GAUSS.

Es suficiente, en base al mapa de isoyetas medias anuales, estimar la lluvia media \bar{P} que además en este caso es igual a la mediana y moda, y calcular el valor de la desviación estandar σ a partir del coeficiente de variación : Cv. Para este último coeficiente, se tomará de la misma manera que en los casos anteriores (para \underline{a} y \underline{y}) un valor mediano dentro del intervalo de una zona pluviométrica homogénea o si es posible el valor dado por una estación de referencia.

Tendremos así : $\sigma = \bar{P} \cdot Cv$

y para el cálculo de la variable P :

$$P = \bar{P} + u \cdot \bar{P} \cdot Cv$$

$$P = \bar{P} (1 + u \cdot Cv)$$

2.3.3.4. Aplicaciones Prácticas :

A fin de recalcar el interés de la metodología propuesta su pondremos a manera de ejemplo, que la estadística de los totales pluviométricos anuales de la estación de PILLARO no es conocida.

El mapa de las isoyetas anuales a escala 1/1000,000. publicado por PRONAREG - ORSTOM, permite estimar que la altura media anual \bar{P} de esta estación está cerca a los 650 mm.

Además como PILLARO está ubicado en la zona 5, "Callejón Interandino"; para el cálculo de la mediana $P_{0,5}$ tomaremos la relación del párrafo 2.2.5 :

$$P_{0,5} = 0,985 \times 650 - 6,4 = 634 \text{ mm.}$$

En este caso particular se podría tomar directamente $P_{0,5} = 650$ mm. teniendo en cuenta que la estimación de \bar{P} no es muy buena y sobre todo, la débil diferencia entre \bar{P} y $P_{0,5}$. Sin embargo, el mapa de isoyetas anuales a escala de 1/200.000 podría dar una mejor estimación de \bar{P} y consecuentemente de $P_{0,5}$.

Utilizándo el mapa N°1 se puede admitir que la estación representativa del lugar a estudiar es AMBATO. Tendremos así : $a = 9,50$ y $\gamma=16$.

La fórmula del párrafo 2.3.3.1 que resulta de la Ley de GALTON nos da:

- Para $F = 0,10$	$P = 10 \frac{1,282 + 9,5 \log 634}{9,5} = 865 \text{ mm.}$
- Para $F = 0,01$	$P = 10 \frac{2,326 + 9,5 \log 634}{9,5} = 1114 \text{ mm.}$
- Para $F = 0,90$	$P = 10 \frac{-1,282 + 9,5 \log 634}{9,5} = 465 \text{ mm.}$

Se puede utilizar también la fórmula derivada de la Ley de PEARSON III :

- Para $F = 0,10$	$P = 650 \left(1 - \frac{1}{9 \times 16} + 1,282 \sqrt{\frac{1}{9 \times 16}} \right)^3 = 865 \text{ mm.}$
- Para $F = 0,01$	$P = 650 \left(1 - \frac{1}{9 \times 16} + 2,326 \sqrt{\frac{1}{9 \times 16}} \right)^3 = 1087 \text{ mm.}$
- Para $F = 0,90$	$P = 650 \left(1 - \frac{1}{9 \times 16} - 1,286 \sqrt{\frac{1}{9 \times 16}} \right)^3 = 452 \text{ mm.}$

Una estimación teóricamente menos precisa, aunque más general, - puede ser hecha a partir de los ábacos N°5 o de las relaciones de los párrafos 2.3.1.2 y 2.3.1.1 :

- Para $F = 0,1$ $P = 1,23 \times 634 + 73 = 853$ mm.
- Para $F = 0,01$ $P = 1,33 \times 853 - 81 = 1053$ mm.
- Para $F = 0,90$ $P = 0,81 \times 634 - 47 = 467$ mm.

Refiriéndose a la tabla I podemos verificar que el estudio estadístico hecho a partir de un muestreo de 16 años de observaciones nos da los valores siguientes :

- Para $F = 0,50$ $P = 670$ mm.
- Para $F = 0,10$ $P = 859$ mm.
- Para $F = 0,90$ $P = 515$ mm.

El número de años de observaciones no permitió calcular la altura de una frecuencia centenal. Sin embargo se puede observar que - cualquiera que sea la metodología adoptada las aproximaciones obtenidas son muy satisfactorias.

2.4. Precisión de los resultados.

La precisión de los resultados está relacionada con el tamaño del muestreo a partir del cual están calculados los parámetros de la ley. La amplitud de los errores puede así ser definida por el intervalo de confianza, que es el intervalo en el cual se tiene α % de probabilidad de encontrar el verdadero valor de los parámetros conocidos solamente por su estimación empírica.

Lamentablemente el cálculo de este intervalo es suficientemente preciso y cómodo solo para determinados parámetros (media y desviación estandar) de la Ley de GAUSS. Puede ser estimado con una cierta imprecisión, para cualquier valor de la variable que corresponde a una probabilidad dada, calculada en base a las leyes de GAUSS y GALTON. Para todas las otras leyes asimétricas es necesario disponer de una computadora. En este caso la búsqueda de las leyes de distribución de muestreo debe ser efectuada por sorteo en la ley ajustada a fin de tener un número suficientemente grande de muestras fic-

ticias del mismo tamaño que la del muestreo observado. Es por eso que los intervalos de confianza de la Tabla I han sido calculados solamente a partir de los parámetros de la Ley de GALTON o cuando fue posible, de los parámetros de la Ley de GAUSS.

2.4.1. Ley de GAUSS.

- La media \bar{P} o la mediana, de un muestreo que tiene un tamaño $N \gg 30$ y que sigue una ley normal, es igualmente una variable normal cuya media es igual a \bar{P} y la varianza igual a $\frac{S^2}{N}$ (S^2 varianza del muestreo).

Cuando $N < 30$ la media empírica sigue una Ley de STUDENT con $N-1$ grados de libertad. Esta es una ley asimétrica que tiene una forma más achatada que la Ley de GAUSS cuando el valor de N es débil, pero vuelve rápidamente hacia la ley Normal cuando N traspasa el valor de 10.

Para un intervalo de confianza a α % tendremos :

$$\bar{P} \pm t_{\left(\frac{1-\alpha}{2}\right)} \cdot \frac{S}{\sqrt{N}}$$

(Por ejemplo $\alpha = 90\%$ se escribe 0,90).

"t" es la variable reducida de GAUSS si $N \gg 30$, o la variable de STUDENT con $N-1$ grados de libertad en el caso contrario.

- La varianza sigue las mismas reglas. Es decir que para los grandes muestreos (en este caso $N \gg 50$) sigue una ley normal que tiene una media igual a S^2 y una varianza igual a $S^2 \sqrt{\frac{2}{N}}$, siendo la varianza de la desviación estandar igual a $\frac{S^2}{2N}$ y su media igual a S . Para los muestreos más pequeños ($N < 50$) sigue una ley del χ^2 con $N-1$ grados de libertad. Así el intervalo de confianza con α % está definido por :

$$S \pm t \left(\frac{1 - \alpha}{2} \right) \frac{S}{\sqrt{2N}} \quad \text{si } N \gg 50$$

$$\frac{NS^2}{X_1^2} < \sigma^2 < \frac{NS^2}{X_2^2} \quad \text{si } N < 50$$

$$\text{con } P(X_1^2) = \frac{1 - \alpha}{2} \quad \text{y} \quad P(X_2^2) = \frac{1 + \alpha}{2}$$

Estos valores son obtenidos de una tabla de χ^2 con $N-1$ grados de libertad.

Se puede calcular χ^2 , en el caso donde $N-1 > 10$, utilizando la relación $\sqrt{\frac{3\chi^2}{N-1}}$ que es distribuida normalmente con una media:

$$m = 1 - \frac{2}{9(N-1)} \quad \text{y una desviación standar: } S = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{2}{(N-1)}}$$

- Cuando se trata de un valor de la variable que corresponda a una frecuencia diferente de la frecuencia mediana el cálculo del intervalo de confianza se efectúa en base a la ecuación :

$$P_p = \bar{P} + S \cdot \text{up.}$$

Se admite que las varianzas de la media \bar{P} y de la desviación standar S son independientes. Es evidentemente una aproximación simplificadora :

$$S^2 P_p = \frac{S^2}{N} + \frac{S^2}{2N} \cdot u^2 P$$

$$\circ \quad S^2 P_p = \frac{S^2}{2N} (2 + u^2 P)$$

($S^2 P_p$ representa la varianza del valor de P para una frecuencia o una probabilidad p).

Se puede definir el intervalo de confianza con α % por :

$$P_p \pm t_{\left(\frac{1-\alpha}{2}\right)} \cdot \frac{S}{\sqrt{2N}} \sqrt{2 + u_p^2}$$

t y α tienen exactamente la misma significación que la dada anteriormente para la media y la desviación standard.

Observación: Las ecuaciones propuestas permiten definir el intervalo de confianza en el cual se tiene una cierta probabilidad de encontrar el verdadero valor del parámetro o de la variable calculada. Al revés permiten igualmente con una cierta precisión, calcular el tamaño del muestreo (N) necesario, definiéndose a priori un intervalo de confianza.

Si tomamos por ejemplo, la media de un muestreo, podemos definir la precisión buscada por :

$$\beta = 1 - \frac{\bar{P} + t\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right) - \bar{P}}{\bar{P}}$$

(Para simplificar la ecuación hemos tomado : $t = t_{\left(\frac{1-\alpha}{2}\right)}$)

$$\beta = 1 - \frac{t \cdot Cv}{\sqrt{N}} \quad \circ \quad N = \frac{t^2 \cdot Cv^2}{(1-\beta)^2}$$

$\bar{P} + t \cdot \frac{S}{\sqrt{N}}$ representa el límite superior del intervalo. Sin embargo, tomando el límite inferior $\bar{P} - t \cdot \frac{S}{\sqrt{N}}$ el resultado final será el mismo (simetría de los límites en función del valor de la media).

Debemos también, recalcar que el valor de t puede ser considerado constante únicamente cuando $N > 30$. Sin embargo se puede verificar que si $N > 10$ con $\alpha \leq 0,95$ el error máximo sobre el valor t es inferior al 10% y cercano al 20% para t^2 . Además este tipo de cálculo está efectuado generalmente para frecuencias raras que corresponden

a valores N bastante superiores a 10. De todos modos cuando se busca el tamaño teórico de un muestreo para llegar a una cierta precisión, poco importa saber que N tiene que ser igual a 12 en lugar de 10, solo nos interesa una aproximación del resultado.

Una buena solución consiste en trazar ábacos* que den N en función de Cv, t y β . Sin embargo, si este trabajo puede ser realizado para la media y la desviación estandar, se torna rápidamente fastidiosa cuando se trata de hacerlo para varias probabilidades.

Proponemos utilizar las aproximaciones siguientes :

Para = 0,95	t = 2
Para = 0,90	t = 1,65
Para = 0,80	t = 1,29
Para = 0,50	t = 0,68

2.4.2. Ley de GALTON.

Ya sabemos (ver párrafo 2.3.3.1.) que en la Ley de GALTON (GAUSS-Logarítmica) es la variable : $yp = \log (P - P_0) = \frac{1}{a} (up - b)$ que sigue una ley normal y no la variable P.

Así, para calcular el intervalo de consfianza de P se calcula, antes, el intervalo de yp :

$$yp \pm t \left(\frac{1-\alpha}{2} \right) \cdot \frac{Sy}{\sqrt{2N}} \cdot \sqrt{2 + u_p^2}$$

Se pasa después al intervalo buscado, tomando el antilogaritmo del resultado anterior, sin olvidarse del valor de P_0 .

Siendo el intervalo así calculado, simétrico respecto a yp, será evidentemente asimétrico en comparación con P.

AKMANOGLU (N.. 0). Données d' observations minimales pour la détermination des modules interannuels pluviométriques et hydrométriques en Afrique occidentale. et équatoriale. Cahiers ORSTOM - série hydrologie; vol III n° 2. 1970. Pages 3 á 84.

Sabemos que este proceso no es matemáticamente muy exacto. Sin embargo, lo juzgamos suficientemente preciso para la finalidad de este estudio. Tenemos:

- Límite inferior del intervalo : $P_0 + 10^{(Y_P - t \cdot \frac{S_y}{\sqrt{2N}} \cdot \sqrt{2 + u_p^2})}$
- Límite superior del intervalo : $P_0 + 10^{(Y_P + t \cdot \frac{S_y}{\sqrt{2N}} \cdot \sqrt{2 + u_p^2})}$

Los resultados obtenidos para las estaciones escogidas figuran en la tabla I.

Para pasar del estudio puntual de cada estación al estudio regional, fue necesario utilizar resultados comparables, es decir homogéneos. Por eso, como lo hemos recalcado anteriormente, tomamos $P_0 = 0$. Así, para realizar el cálculo inverso que permite estimar el tamaño del muestreo N correspondiente a una cierta probabilidad α , a una frecuencia F y una precisión β , podemos escribir :

$$\beta = 1 - \frac{10^{(Y_P + t \cdot \frac{S_y}{\sqrt{2N}} \cdot \sqrt{2 + u_p^2})} - 10^{Y_P}}{10^{Y_P}}$$

siendo β la precisión con respecto al límite superior del intervalo.

Sabiendo que $a = \frac{1}{S_y}$, tendremos :

$$2 - \beta = 10^{\frac{t \cdot \sqrt{2 + u_p^2}}{a \sqrt{2N}}} \quad \text{ó} \quad \frac{t \sqrt{2 + u_p^2}}{a \sqrt{2N}} = \log (2 - \beta)$$

$$N = \frac{t^2 (2 + u_p^2)}{2 a^2 [\log (2 - \beta)]^2}$$

De la misma manera que para la Ley de GAUSS, sabemos que el valor de t puede ser considerado como constante cuando $N \gg 30$. Sin embargo, ya hemos justificado la aproximación que consiste en tomar para t los valores dados en función de α (ver párrafo 2.4.1.).

Así para una frecuencia F , una probabilidad α y una precisión β dadas, es suficiente conocer el parámetro a característico de una estación o de una zona homogénea para calcular el tamaño del muestreo necesario.

Para facilitar los cálculos proponemos una lista de fórmulas en función de F y de α . Es evidente que esta lista no es limitativa.

• Para $F = 0,5$:

$$\alpha = 0,95$$

$$N = \frac{4,0}{a^2 [\log (2-\beta)]^2}$$

$$\alpha = 0,80$$

$$N = \frac{1,664}{a^2 [\log (2-\beta)]^2}$$

• Para $F = 0,10$:

$$\alpha = 0,95$$

$$N = \frac{7,30}{a^2 [\log (2-\beta)]^2}$$

$$\alpha = 0,80$$

$$N = \frac{3,05}{a^2 [\log (2-\beta)]^2}$$

• Para $F = 0,01$:

$$\alpha = 0,95$$

$$N = \frac{14,80}{a^2 [\log (2-\beta)]^2}$$

$$\alpha = 0,80$$

$$N = \frac{6,20}{a^2 [\log (2-\beta)]^2}$$

Para calcular el valor de N que corresponde al límite inferior del intervalo es suficiente cambiar en todas las relaciones :

$\log (2-\beta)$ por $\log (\beta)$.

A manera de ejemplo, tomando para cada zona homogénea un valor medio del parámetro a , podemos calcular el número de años necesario para

alcanzar, con una probabilidad $\alpha = 0,95$, una precisión de 90% sobre el valor de la variable P (altura pluviométrica anual) que corresponde a la frecuencia decenal ($F = 0,10$).

- Zona 1 : a = 3 $N_1 = 387$ años $N_2 = 473$ años
- Zona 2 : a = 4 $N_1 = 218$ años $N_2 = 266$ años
- Zona 3 : a = 5,5 $N_1 = 115$ años $N_2 = 141$ años
- Zona 4 : a = 10 $N_1 = 35$ años $N_2 = 43$ años
- Zona 5 : a = 12 $N_1 = 24$ años $N_2 = 30$ años
- Zona 6 : Primer grupo : poco diferente de la zona 5.
Segundo grupo: a = 25, $N_1 = 6$ años, $N_2 = 7$ años.

Esto nos indica que es necesario tener mucho cuidado cuando se refiera a un período homogéneo, para lograr resultados estadísticos igualmente homogéneos. A pesar de esto, es evidente que para el estudio de las correlaciones entre estaciones, como para el estudio de las secuencias secas o húmedas, sin hablar de la existencia de ciclos pluviométricos que queda por demostrar, hay gran interés de tener períodos comunes de observaciones lo más largas posible - cualquiera que sea la región.

3. ALTURAS PLUVIOMETRICAS DIARIAS.

El estudio de las alturas pluviométricas diarias fue emprendido a fin de buscar las relaciones que puedan existir, entre éstas y las alturas pluviométricas anuales de igual frecuencia a nivel regional.

El análisis estadístico fue realizado en base a las alturas máximas observadas en 24 horas, a razón de un valor por año de observación. Esta metodología indudablemente, presenta cierto número de inconvenientes :

- La altura total registrada en 24 horas no siempre representa el valor de una sola lluvia que pueda definirse como un fenómeno meteorológico continuo. Puede ser el total de varios aguaceros o, al contrario, una gran lluvia puede haber sido truncada por un observador demasiado apresurado en efectuar las medidas en-

las horas predefinidas.

- La toma de todos los totales diarios, no solamente de los más altos, indudablemente permitiría disponer de un muestreo mucho más amplio, es decir, teóricamente más confiable.

Sin embargo se puede observar que estadísticamente y sobre todo cuando se trata de grandes lluvias es muy excepcional registrar más de una lluvia por día. Con respecto a la probabilidad de tener un aguacero truncado, ésta es muy baja.

Los inadecuados medios de procesamiento nos han impedido utilizar muestreo completo de las lluvias diarias disponibles. En efecto, si tomamos para las 65 estaciones estudiadas un promedio de 170 días de lluvia por año y 25 años de observación, el total de datos a procesar es cercano a los 300.000, lo que corresponde a un tiempo de entrada absolutamente prohibitivo, sabiendo que estas observaciones no pueden ser almacenadas en un soporte magnético de manera permanente.

Además de la necesidad de utilizar una ley truncada, dado que ciertos valores de la variable H son nulos (los días sin lluvia), se impone la búsqueda, muchas veces laboriosa, del límite de truncatura que de el mejor ajuste.

Cabe recalcar que para ciertas estaciones pluviométricas ubicadas cerca de cuencas representativas, hemos comparado los resultados obtenidos a partir de los valores máximos, con los calculados en base a un muestreo completo de lluvias diarias. En todos los casos las diferencias obtenidas no fueron excesivas lo que justifica la metodología adoptada.

La tabla III relativa a las alturas pluviométricas diarias, presenta la misma distribución que la tabla I. Sin embargo, hemos pensado que no era necesario poner los valores que corresponden a las frecuencias 0,99 y 0,90. Para las alturas diarias, estos -

valores en la práctica, son poco interesantes.

3.1. Zonificación :

No se trata de buscar una zonificación diferente de la propuesta en el párrafo 2.1., lo que quitaría todo interés a este estudio. De la misma manera que para las alturas pluviométricas anuales, sólo queremos dar, dentro de cada zona homogénea ya de finida, un intervalo de variación de los tres parámetros estadísticos :

- . C_v
- . a
- . γ

Los valores de estos parámetros han sido puestos en la tabla IV donde igualmente se encuentran, todos los resultados obtenidos a partir de las Leyes de GALTON, PEARSON III y GUMBEL.

3.1.1. Zona 1 : Zona muy seca.

- . $25 < H_{0,5}^* < 30$ mm.
- . $0,85 < C_v < 0,95$
- . a cercano de 3
- . γ cercano de 1.

3.1.2. Zona 2 : Zona seca.

- . $35 < H_{0,5} < 65$ mm.
- . $0,55 < C_v < 0,65$
- . $4 < a < 4,5$
- . $2,5 < \gamma < 3,5$

* Siendo $H_{0,5}$ la altura pluviométrica diaria de frecuencia mediana)

(Ver gráfico N°7 para la distribución de los datos de la estación de MACARA).

DIAGRAMA DE GAUSS

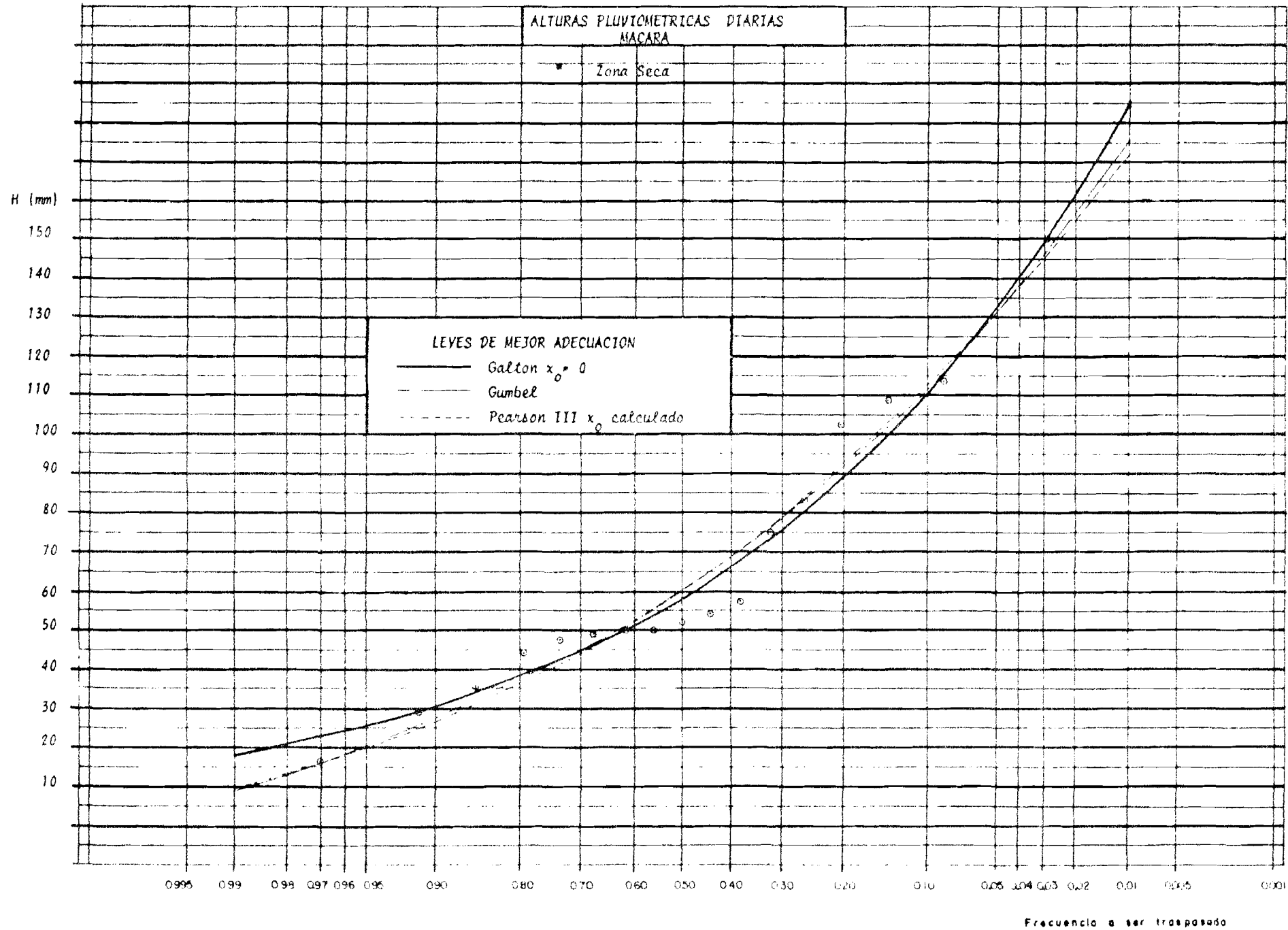


Gráfico 7

3.1.3. Zona 3 : Zona occidental de transición.

- . $50 < H_{0,5} < 85$ mm.
- . $0,40 < C_v < 0,50$
- . $5 < a < 6$
- . $5 < \gamma < 6$

(Ver gráfico N° 8 para la distribución de los datos de la estación de PORTOVIEJO).

3.1.4. Zona 4 : Zona húmeda occidental.

- . $65 < H_{0,5} < 120$ mm
- . $0,20 < C_v < 0,30$
- . $7,5 < a < 12$
- . $12 < \gamma < 30$

Para la franja de transición tenemos :

- . $60 < H_{0,5} < 110$ mm.
- . $0,30 < C_v < 0,35$
- . $6,5 < a < 7,5$
- . $7 < \gamma < 12$

(Ver gráfico N°9 para la distribución de los datos en la estación de ISABEL - MARIA).

3.1.5. Zona 5 : Callejón interandino.

- . $20 < H_{0,5} < 40$ mm
- . $0,20 < C_v < 0,40$
- . $6 < a < 13$
- . $7 < \gamma < 35$

(Ver gráfico N°10 para la distribución de los datos de la estación de QUITO - OBSERVATORIO).

Como para las alturas pluviométricas anuales, los más altos valores de a y γ corresponden a estaciones ubicadas en valles secos o regiones cuya altitud es superior a los 3.000 metros.

DIAGRAMA DE GAUSS

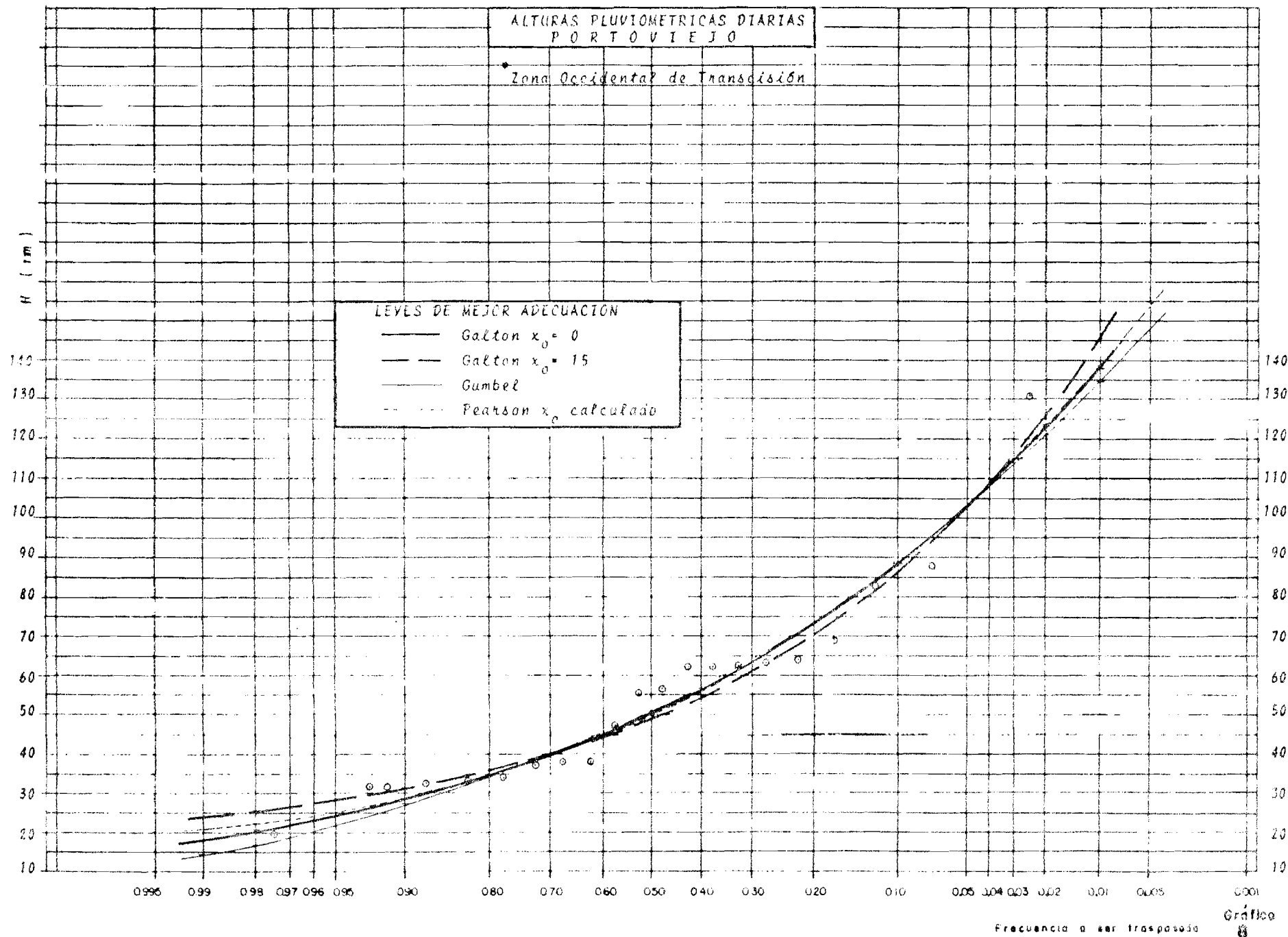


DIAGRAMA DE GAUSS

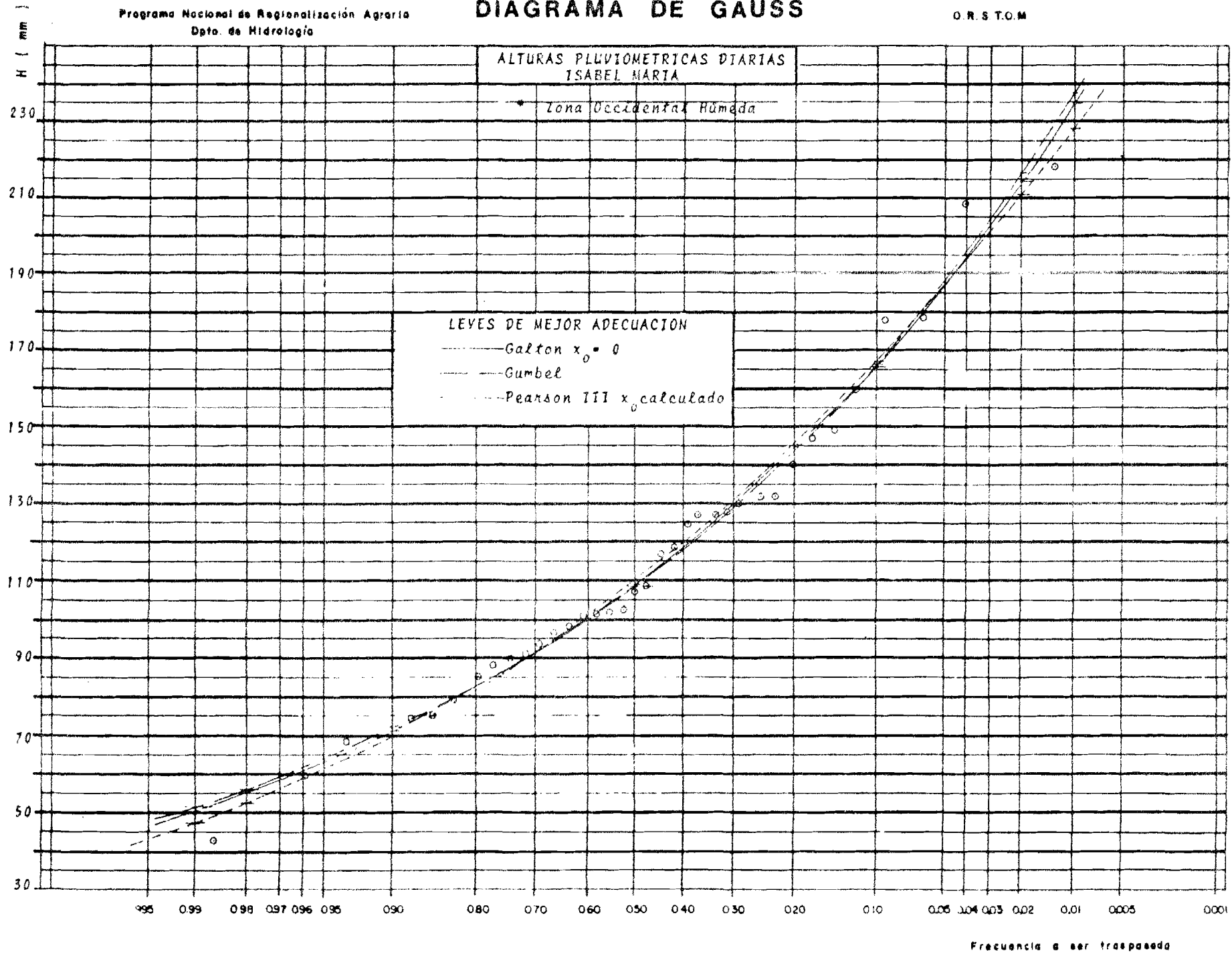
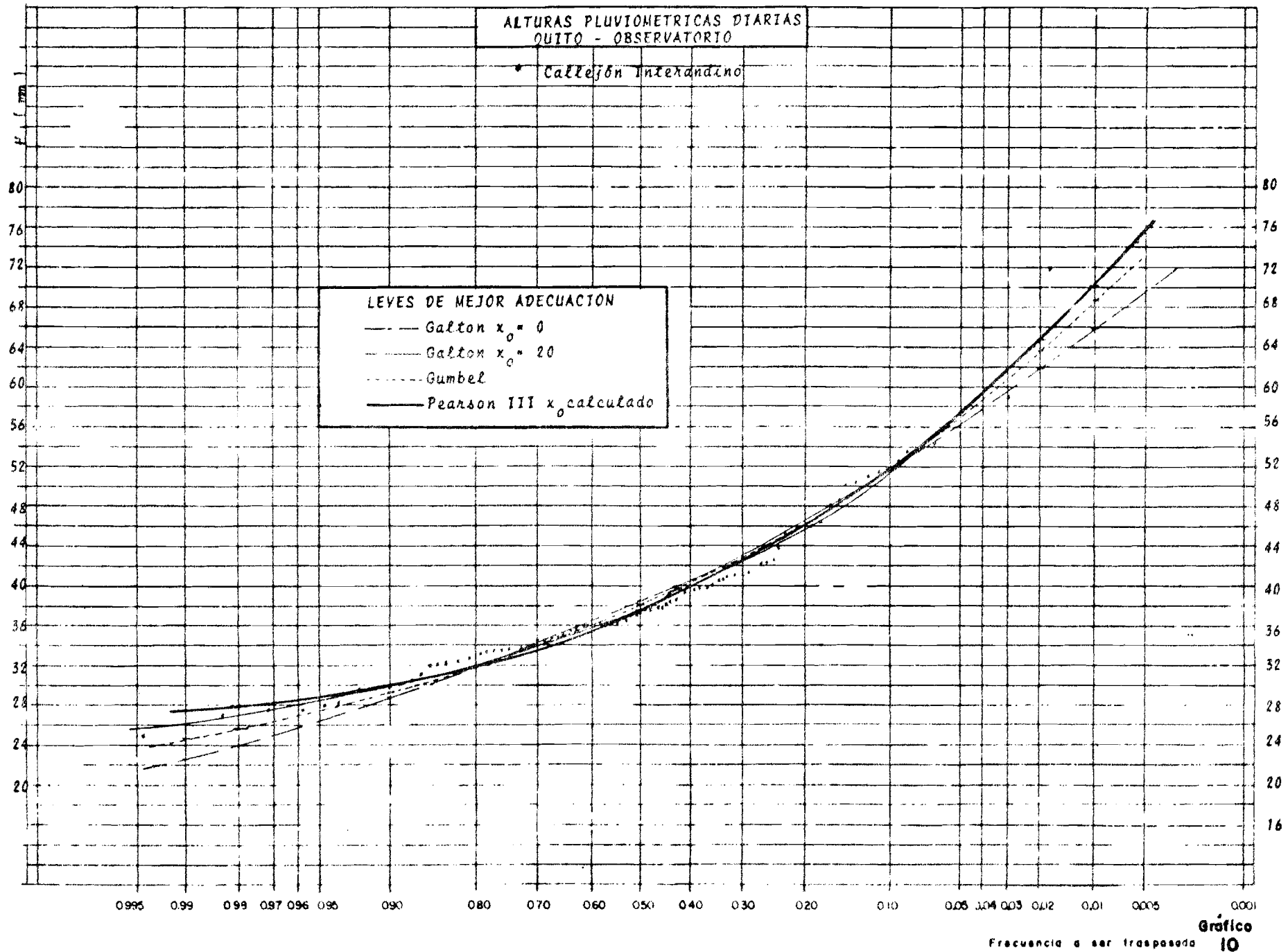


DIAGRAMA DE GAUSS



3.1.6. Zona 6 : zona húmeda oriental.

$$. 55 < H_{0,5} < 130 \text{ mm.}$$

$$. 0,20 < C_v < 0,35$$

$$. 6 < a < 13$$

$$. 10 < \gamma < 30$$

(Ver gráfico N°11 para la distribución de los datos de la es tación del PUYO).

Observación: -El estudio de las relaciones que unen las alturas pluviométricas anuales a los máximos diarios, nos demostrará el papel de la altitud en las variaciones de estas dos variables.

- Es interesante observar que los parámetros estadísticos que caracterizan las lluvias anuales y las lluvias diarias siguen una misma tendencia cuando se pasa de una zona homogénea a otra.

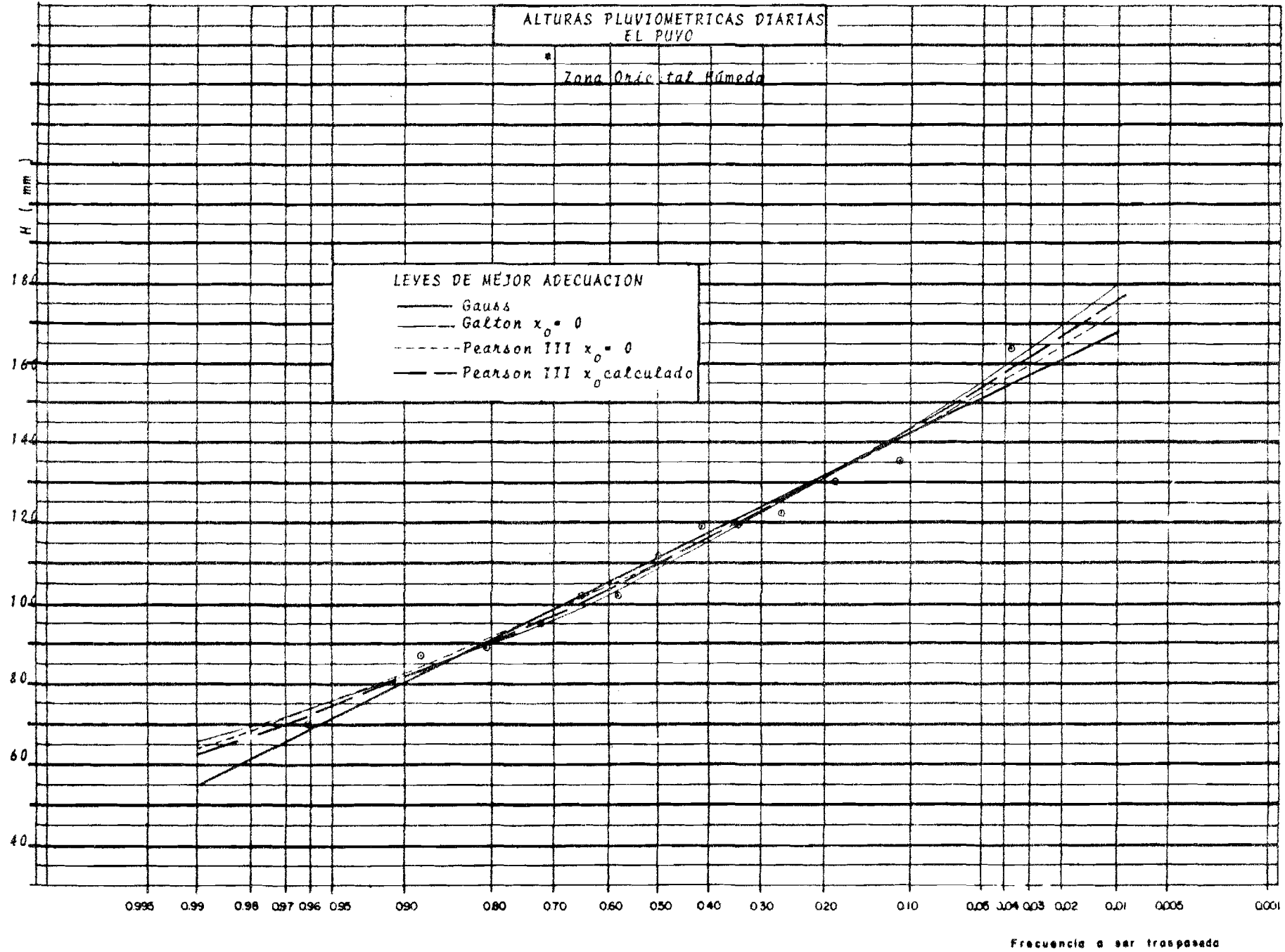
3.2. Relaciones entre las alturas pluviométricas diarias y las alturas pluviométricas anuales de igual frecuencia.

La búsqueda de estas relaciones es muy importante, pues en la lógica de este estudio deben permitir pasar de las lluvias anuales a las lluvias diarias, siendo todavía el documento de base, el mapa de isoyetas de las alturas pluviométricas medias anuales.

3.2.1. Método global.

Los muestreos utilizados para cada zona reagrupan todas las alturas de frecuencias mediana, decenal y cuando existe, centenal. Es evidente que tenemos así una auto-correlación entre ciertos valores de la variable. Esta auto-correlación produce una sobreestimación del coeficiente de correlación. Aunque en teoría ya no se trata de un coeficiente de correlación lineal, seguiremos dando el intervalo de variación que correspon-

DIAGRAMA DE GAUSS



da a una probabilidad de 95%. Pensamos que tal aproximación, aún cuando ocasione una disminución en la precisión, es absolutamente justificada por la sencillez y la facilidad de uso de las relaciones obtenidas. Estas relaciones permiten calcular cualquier altura pluviométrica diaria a partir de la altura anual de igual frecuencia.

Zona 1 y 2 : Zonas secas.

El débil tamaño de las muestras disponibles nos ha impuesto - juntar los valores observados en las zonas más secas :

$$. \underline{H = 0,126 P + 14}$$

Siendo : - P : altura pluviométrica anual, en mm.
- H : altura pluviométrica diaria de igual frecuencia que P, igualmente en mm.

$$. R = 0,949 \text{ con } N = 14$$

$$. I \text{ 95\% : } 0,844-0,984$$

Zona 3 : Zona occidental de transición.

$$. \underline{H = 0,083 P + 13}$$

$$. R = 0,951 \text{ con } N = 11$$

$$. I \text{ 95\% : } 0,817-0,988$$

Zona 4 : Zona húmeda occidental.

Siendo relativamente poco desiguales las tres anteriores zonas, no se comprobó la necesidad de tomar en cuenta la altitud en el estudio de la relación $H = f(P)$. Es diferente en las regiones que tienen fuertes desniveles, donde las relaciones, además no unívocas, que unen separadamente las alturas pluviométricas anuales y diarias a la altitud, no presentan las mismas variaciones.

Por eso hemos utilizado, en este caso, un sistema de correlaciones lineales múltiples:

$$. \underline{H = 0,030 P - 0,018 A + 54}$$

Siendo : - A la altitud expresada, en metros.
- H y P las mismas variables que en las fórmulas anteriores expresadas en las mismas unidades (milímetros).
. R = 0,813 con N = 31
. I 95% : 0,644-0,906

Se puede observar que dos estaciones pluviométricas que presenten, para una frecuencia dada, el mismo total pluviométrico a anual, tendrán totales pluviométricos diarios diferentes si se encuentran ubicadas a altitudes igualmente diferentes. La estación instalada a la altitud más baja tendrá la altura pluviométrica diaria más alta.

Zona 5 : Callejón interandino.

La altitud tiene igualmente, en esta zona, un papel importante para el estudio de la relación, $H = f(P)$:

. $H = 0,345 P - 0,115 A + 41$
. R = 0,821 con N = 60
. I 95% : 0,717 - 0,890

Zona 6 : Zona húmeda oriental.

. $H = 0,019 P - 0,0085 A + 54$
. R = 0,842 con N = 19
. I 95% : 0,627 - 0,937

3.2.2. Utilización de las alturas pluviométricas de frecuencia mediana.

3.2.2.1. Relación entre las alturas anuales y diarias de frecuencia mediana.

Las regresiones obtenidas solamente a partir de las alturas de frecuencia mediana deben permitir lograr una mejor precisión, aún cuando los coeficientes de correla-

ciones calculados son más bajos que los obtenidos en el párrafo anterior a partir de muestreos no puros.

Zona 1 y 2 :

- . $H_{0,5} = 0,092 P_{0,5} + 17$ (en mm).
- . $R = 0,987$ con $N = 6$
- . I 95% : 0,879 - 0,999

- Zona 3 :
- . $H_{0,5} = 0,062 P_{0,5} + 19$ (en mm.)
 - . $R = 0,981$ con $N = 4$

- Zona 4 :
- . $H_{0,5} = 0,016 P_{0,5} - 0,012 A + 64$

(Mismas unidades que en le párrafo anterior).

- . $R = 0,720$ con $N = 13$
- . I 95% : 0,281 - 0,910

Zona 5 :

- . $H_{0,5} = 0,025 P_{0,5} - 0,007 A + 33$
- . $R = 0,859$ con $N = 23$
- . I 95% : 0,703 - 0,936

Zona 6 :

- . $H_{0,5} = 0,014 P_{0,5} - 0,011 A + 57$
- . $R = 0,937$ con $N = 9$
- . I 95% : 0,723 - 0,987

Se puede recalcar la semejanza de las relaciones que corresponden a las zonas húmedas 4 y 6.

3.2.2.2. Cálculo de los valores relativos a otras frecuencias.

Este cálculo se hace una vez calculado $H_{0,5}$ a partir de las fórmulas anteriores y una vez definido el parámetro a con la ayuda del mapa N° 1, así como las de las clases de zonificación del párrafo 3.1. Se-

utiliza la fórmula obtenida de la Ley de GALTON :

$$H = 10^{\left(\frac{u + a \log H_{0,5}}{a} \right)} \quad (\text{Ver párrafo : 2.3.3.1.})$$

Si se trata sólo de calcular las alturas relativas a las frecuencias decenal y centenal, se puede aprovechar las siguientes relaciones cuya utilización es más fácil :

Zona 1 :

- $H_{0,1} = 2,80 H_{0,5}$ (en mm)
- $H_{0,01} = 2,10 H_{0,1}$ (en mm)

Zona 2 :

- $H_{0,1} = 1,745 H_{0,5} + 12$ (en mm.)
- $R = 0,983$ con $N = 6$
- I 95% : 0,850 - 0,998
- $H_{0,01} = 1,49 H_{0,1} + 6$

Zona 3 :

- $H_{0,1} = 1,71 H_{0,5}$ (en mm.)
- $R = 0,995$ con $N = 4$
- $H_{0,01} = 1,49 H_{0,1} + 6$ (en mm.)
- $R = 0,996$ con $N = 6$

Zona 4 :

- $H_{0,1} = 1,36 H_{0,5} + 4$ (en mm.)
- $R = 0,941$ con $N = 15$
- I 95% : 0,829 - 0,981
- $H_{0,01} = 1,40 H_{0,1} - 10$ (en mm.)
- $R = 0,978$ con $N = 6$
- I 95% : 0,807 - 0,998

Zona 5 :

- . $\underline{H_{0,1} = 1.62 H_{0,5} - 6}$ (en mm.)
- . R = 0,934 con N = 26
- . I 95% : 0,857 - 0,970
- . $\underline{H_{0,1} = 1,43 H_{0,10} - 3}$ (en mm.)
- . R = 0,977 con N = 12
- . I 95% : 0,918 - 0,994

Zona 6 :

- . $\underline{H_{0,1} = 1,135 H_{0,5} + 20}$ (en mm.)
- . R = 0,972 con N = 8
- . I 95% : 0,848 - 0,995
- . Para la frecuencia centenal tomaremos la fórmula propuesta para la zona 4 (zona húmeda occidental)

Los ábacos N° 7 al 12 permiten estimar a partir de la altura pluviométrica anual de frecuencia mediana y también de la altitud, en las zonas 4,5 y 6, las alturas pluviométricas diarias de frecuencias mediana, decenal y centenal.

3.2.3. Aplicaciones Prácticas.

Podemos tomar el ejemplo del párrafo 2.3.3.4. que nos ha permitido calcular las alturas pluviométricas anuales de varias frecuencias de la estación PILLARO.

Estimaremos, en una primera fase, la altura pluviométrica diaria de frecuencia mediana a partir de la altura anual de la misma frecuencia y, en una segunda fase, los valores relativos a otras frecuencias.

a) Utilización de la fórmula del método global (párrafo 3.2.1. - zona 5), tendremos estos valores, sabiendo que PILLARO está ubicada a una altitud de 2230 metros.

. para $F = 0,50$: $H_{0,50} = 0,0345 \times 634 - 0,0115 \times 2230 + 41$
 $= 37 \text{ mm.}$

. para $F = 0,10$: $H_{0,10} = 0,0345 \times 865 - 0,0115 \times 2230 + 41$
 $= 45 \text{ mm.}$

Recordemos que este método es el menos preciso.

b) Calculando primero la altura de frecuencia mediana con la ayuda de la relación del párrafo : 3.2.2.1 (zona 5) tenemos:

. $H_{0,50} = 0,025 \times 634 - 0,007 \times 2230 + 33 = 33 \text{ mm.}$

La fórmula obtenida de la Ley de GALTON, sabiendo que la estación de referencia de la región de PILLARO, AMBATO tiene un $a = 8,4$, nos da :

$$H_{0,10} = 10 \frac{(1,282 + 8,4 \log 33)}{8,4} = 47 \text{ mm.}$$

Más rápidamente se puede utilizar la fórmula del párrafo 3.2.2.2. (zona 5)

. $H_{0,10} = 1,62 \times 33 - 6 = 47 \text{ mm.}$

Observación : cuando se necesita el valor de la altura pluviométrica diaria relativa a una frecuencia diferente de la frecuencia decenal o centenal, sólo se puede utilizar la relación de la Ley de GALTON.

La estimación directa de las alturas pluviométricas diarias de la estación PILLARO a partir de un muestreo de 16 valores observados, nos ha dado los siguientes resultados (ver tablas III y IV):

. para $F = 0,50$	$H_{0,5} = 31 \text{ mm}$
. para $F = 0,10$	$H_{0,10} = 45 \text{ mm.}$

Sean, en la mejor estimación, errores relativos de 6% y 4%.

3.3. Precisión de los resultados.

Todas las observaciones hechas en el párrafo 2.4.; relativas a la precisión de la estimación de las alturas pluviométricas anuales, son aplicables a las lluvias diarias. La única diferencia que se puede subrayar es que para las alturas diarias la Ley de GAUSS rara vez da la mejor adecuación. Así, sólo las fórmulas derivadas de la Ley de GALTON serán utilizadas (ver párrafo : 2.4.2.).

Los intervalos de confianza para grados de precisión de 95% y 80% calculados para las 65 estaciones estudiadas están representados en la tabla III.

3.4. Observaciones sobre la forma de las distribuciones estadísticas.

Todas las distribuciones observadas son hiperqáussicas con una asimetría positiva. Unas pocas estaciones pueden presentar distribuciones cercanas a la Normal. De la misma manera que para las alturas pluviométricas anuales las zonas costañas están caracterizadas por asimetrías bastante fuertes.

Ciertas estaciones parecen presentar distribuciones plurimodales. Sin embargo, como se trata de un fenómeno que no se observa de una manera sistemática en un grupo de estaciones de la misma zona, hemos decidido no tenerlo en cuenta. Se puede admitir que en ciertas regiones, las alturas pluviométricas diarias, inferiores a un cierto límite, corresponden a un tipo de aguacero diferente de aquel que produce las lluvias más fuertes.

4. INTENSIDADES PLUVIOMETRICAS.

El estudio del escurrimiento superficial sobre áreas pequeñas o medias, necesita un buen conocimiento de las lluvias caídas en tiempos, en ocasiones, muy inferiores a 24 horas. Se ha podido igualmente observar que la erosión pluvial es un fenómeno que, teniendo en cuenta las condiciones físicas del medio natural o artificial, está estrechamente relacionada con los máximos de intensidad de las lluvias observadas, a veces, en tiempos de solamente algunos minutos. La estimación, teórica o real, de la capacidad de absorción del suelo junto a un buen conocimiento de las intensidades del aguacero permite también, a través de varios medios - (modelos matemáticos más o menos complejos), reconstituir los hidrogramas de escurrimiento superficial a la altura de los exutorios. Un caso extremo, pero también importante, es el estudio del escurrimiento en zonas urbanas, para el cual la observación de las intensidades pluviométricas en tiempos muy cortos es absolutamente indispensable.

4.1. Metodología utilizada.

Veinticuatro estaciones, representativas de las diferentes zonas pluviométricas homogéneas fueron seleccionadas. Lamentablemente la estación GUAYAQUIL fue descartada por tener registros muy dudosos. Además, las dos zonas más secas no fueron objeto de estudio por falta de estaciones representativas con datos suficientemente largos y confiables.

Los registros básicos, relativos a cada estación, consisten en las intensidades máximas de lluvia observadas en 5., 10., 15., 20., 30., y 60 minutos y 2 y 24 horas. El estudio estadístico fue realizado, para las diferentes duraciones, siguiendo la misma metodología que la adoptada para las lluvias anuales y diarias.

Se comprobó que en la mayoría de los casos las Leyes de GALTON y PEARSON III daban los mejores ajustes.

Por facilidades prácticas (el cálculo del parámetro de posición : X_0) hemos utilizado de una manera sistemática la segunda de estas dos leyes.

Este ajuste nos da la intensidad (I) para una duración (t) y una frecuencia (F) o un período de retorno T ($T = \frac{1}{F}$).

Recordamos que $I = \frac{h}{t}$ ésta expresado en mm/h. Siendo h la altura pluviométrica (en mm.) observada en un tiempo t (en horas).

Figuran, en anexo, las intensidades y alturas pluviométricas que corresponden a tiempos que varían de 5 minutos a 24 horas para frecuencias de : 0,5 ; 0,10 ; 0,02 y 0,01.

Dos tipo de gráficos (N°12 y N°13) fueron después trazados en coordenadas logarítmicas, para cada una de las estaciones.

- a) La intensidad (I) en función del período de retorno (T) para cada duración (t).
- b) La intensidad (I) en función de la duración (t), para varios períodos de retorno (T).

Es necesario recalcar que hemos comprobado que las duraciones escogidas permitían un estudio suficientemente preciso de la relación : $I = \phi (t)$.

Por eso, un trabajo más completo, incluyendo los siguientes tiempos : 5., 10., 15., 20., 30., 40., y 50 minutos 1, 2, 6, 12, y 24 horas, fue llevado a cabo para la estación de QUITO-OBSERVATORIO que tiene 51 años de observación.

Podemos observar en el gráfico 12 que cualquiera que sea la-

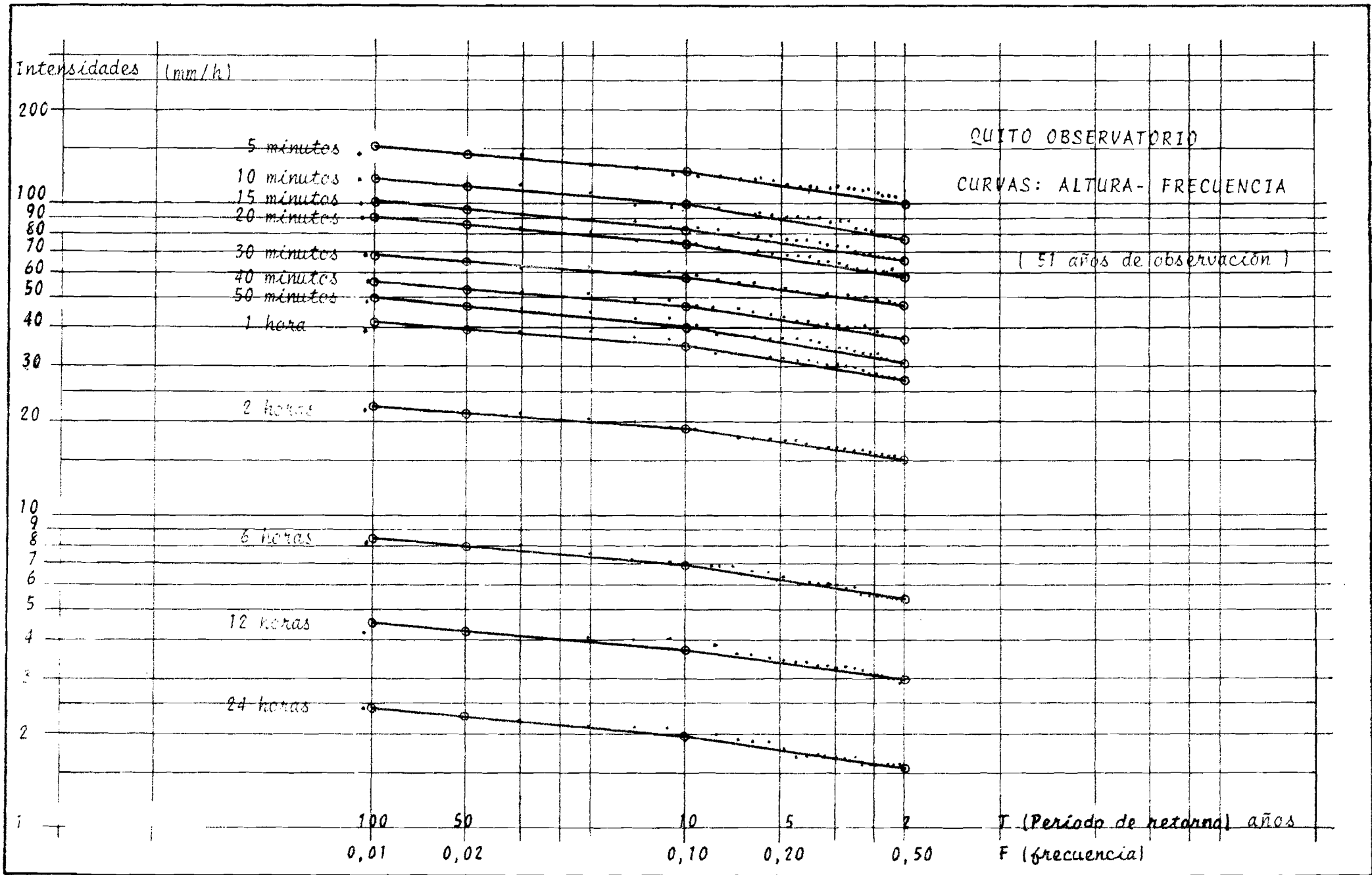


Gráfico 12

duración escogida, la relación : $I = f (T)$ puede ser considerada como lineal, pero presenta una discontinuidad para $T = 10$ años.

Así hemos definido dos grupos de rectas cuya ecuación es de la forma :

$$\log I = \log I_1 + \alpha \log T$$
$$\text{o, } I = \underline{I_1 \cdot T^\alpha}$$

Siendo, I_1 el valor de I para $T = 1$ año. α , puede ser calculado, tomando para cada valor de t escogido :

$T = 1$ año y $T = 10$ años.

$$\text{Tendremos, entonces : } \alpha = \log \frac{I_{10}}{I_1}$$

De la misma manera, las curvas de ajuste : intensidad.duración, para diferentes períodos de retorno, pueden ser asimiladas a conjuntos de rectas (ver gráfico N°13). Se observa generalmente una sola discontinuidad alrededor de $t = 1$ hora (en realidad entre 45 minutos y 90 minutos). Sin embargo, para ciertas estaciones (PUYO, TIPUTINI, TULCAN, QUITO y MILAGRO), una segunda discontinuidad aparece alrededor de $t = 15$ o 20 minutos.

No encontramos una explicación física a este fenómeno dado que estas estaciones pertenecen a zonas pluviométricas muy diferentes. El único comentario que se puede hacer, es que son estaciones cuyas alturas pluviométricas anuales son generalmente bastante superiores a 1000 mm.

Cada una de estas rectas puede ser definida por :

$$\log I = \log I_2 + a \log t$$

Siendo, I_2 el valor de I que corresponde a $t = 1$ hora.

Así,

$$\underline{I = I_2 t^a}$$

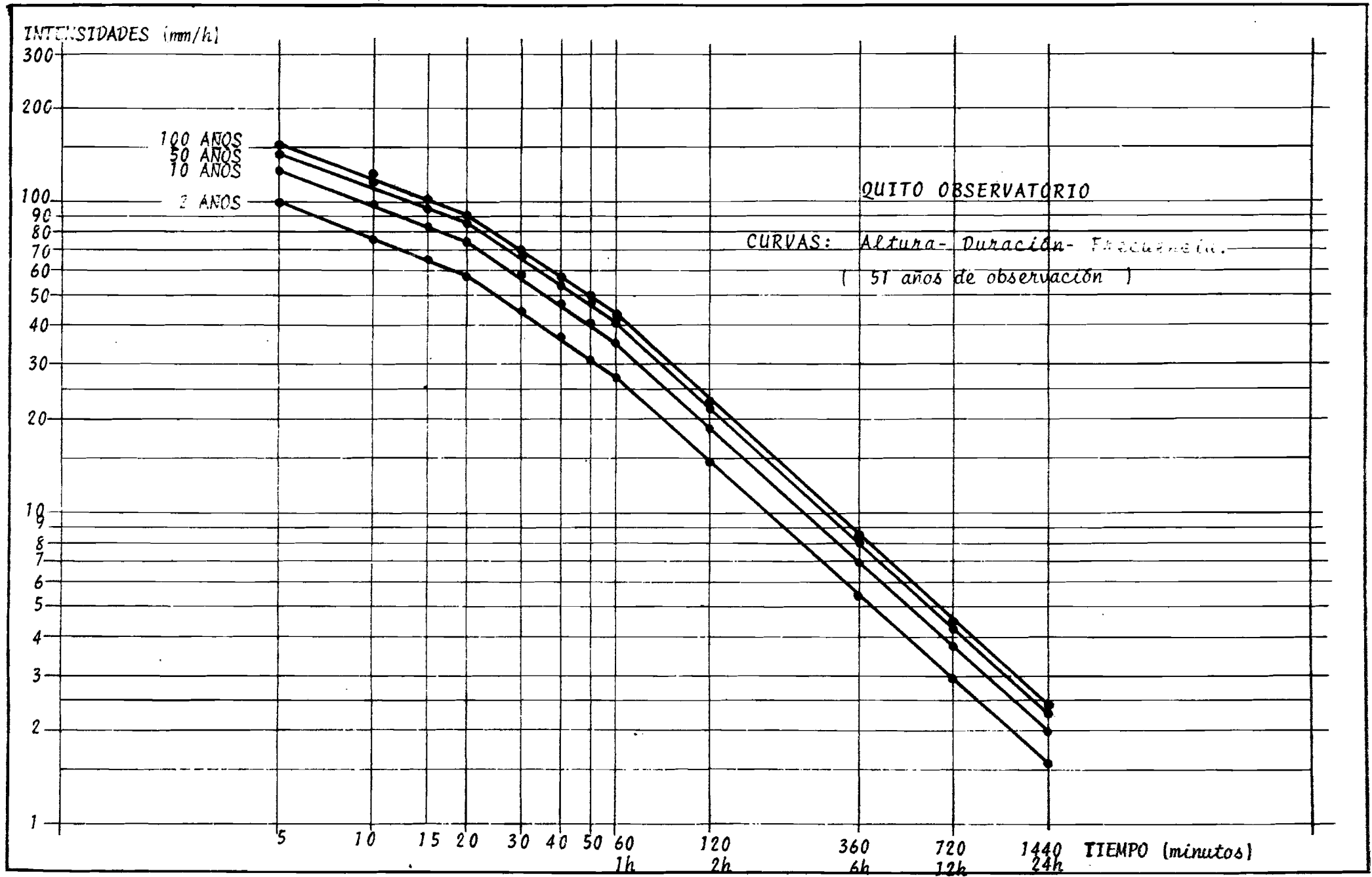


Gráfico 13

Considerando el valor I_0 de I que corresponde a $t = 1$ hora y $T = 1$ año (logaritmos nulos) podemos escribir :

$$I = I_0 t^a T^c$$

Para el cálculo de los diferentes parámetros seguimos la demostración hecha por J. GUISCAFRE y F. MONIOD *.

Definiéndose $I = I(t, T)$ tendremos :

$$c = \log \left[\frac{I(1,10) t^a}{I(1,1) t^{a'}} \right] = b + c \log t$$
$$b = \log \frac{I(1,10)}{I(1,1)}$$

y, $c = a - a'$

(a y a' son las pendientes de las rectas logarítmicas que corresponde a $T = 1$ año y $T = 10$ años)

Así,

$$I = I_0 t^a T^{(b + c \log t)} \quad (3)$$

Cada una de las constantes será calculada para segmentos de rectas o para semi-rectas diferentes según las estaciones (por ejemplo, para duraciones t superiores a 1 hora e inferiores a 1 hora, así como para períodos de retorno superiores e inferiores a 10 años).

Se trata de una estimación gráfica. En primer lugar, en las curvas $I = f(T)$, para cada par de rectas y cada valor de t , se apuntan los valores de I que corresponden a $T = 1$ año y $T = 10$ años. Se plotean después, todos estos pares de puntos en diagrama con coordenadas logarítmicas y se trazan las-

* Intensités des averses et formes des crues dans une petite région homogène. Cah. ORSTOM. série Hydrologie - Vol XII, N° 1 - 1975, page 41 à 57.

CONSTANTES PARA EL CALCULO DE LAS INTENSIDADES Y ALTURAS FLUVIOMETRICAS

ESTACIONES	0,10K⁴				0,01K²C²				0,1K²				0,01K²C²				0,1K²				0,01K²C²			
	I'1	a'1	b'1	c'1	I'2	a'2	b'2	c'2	I1	a1	b1	c1	I2	a2	b2	c2	I3	a3	b3	c3	I4	a4	b4	c4
PORTOVIJEJO	t⁵⁰ minutos								t⁵⁰ minutos															
	26	-0,410	0,348						38	-0,410	0,184						24	-0,805	0,111		36	-0,805	0,160	
PANAJO	t⁷⁰ minutos								t⁷⁰ minutos															
	25,5	-0,466	0,326	0,146					37	-0,384	0,164	0,064					29	-0,769	0,245	-0,017	39	-0,810	0,117	0,024
LA MARANJA*	t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos															
	42	-0,410	0,155						51	-0,410	0,071						38	-0,880	0,198		47	-0,880	0,106	
SAN LORENZO	t⁹⁵ minutos								t⁹⁵ minutos															
	36	-0,420	0,307	0,039					51	-0,391	0,156	0,010					37	-0,674	0,445	-0,180	64	-0,780	0,207	-0,074
PUERTO IIA	t⁹⁰ minutos								t⁹⁰ minutos															
	42	-0,355	0,222						53	-0,355	0,131						47	-0,800	0,242		65	-0,800	0,100	
PICHILINGUE	t⁷⁰ minutos								t⁷⁰ minutos															
	53	-0,235	0,162						61	-0,235	0,101						60	-0,810	0,178		68	-0,810	0,172	
ISABEL MARIA*	t⁵⁰ minutos								t⁵⁰ minutos															
	45	-0,357	0,261	0,060					62	-0,350	0,121	0,053					40	-0,735	0,184		56	-0,735	0,138	
MILAGRO*	t¹⁵ minutos								t⁶⁰ minutos								t⁸⁰ minutos							
	38	-0,435	0,398	0,220	60	-0,316	0,200	0,101	38	-0,435	0,253		50	-0,435	0,133		38	-0,775	0,265		48	-0,775	0,164	
Sta. DOMINGO	t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos							
	34	-0,260	0,222						70	-0,260	0,109						55	-0,810	0,237		70	-0,810	0,131	
TULCAN	t²⁰ minutos								t⁹⁰ minutos								t⁹⁰ minutos							
	25	-0,436	0,380	0,171	44	-0,308	0,149	0,043	20	-0,628	0,312	-0,040	20	-0,628	0,166	-0,029	22	-0,843	0,110	-0,073	32	-0,877	0,167	-0,033
IBARRA	t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos							
	14,5	-0,610	0,210						18	-0,610	0,116						14,5	-0,785	0,219		19	-0,785	0,102	
SAN PABLO	t⁸⁰ minutos								t⁸⁰ minutos								t⁸⁰ minutos							
	19	-0,530	0,206						23,5	-0,530	0,113						19	-0,787	0,278	-0,103	27	-0,860	0,125	-0,030
QUITO OBSERVA TORIO	t²⁰ minutos								t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos							
	13	-0,400	0,177		40,5	-0,400	0,085		24	-0,680	0,161		29	-0,680	0,083		24	-0,900	0,161		24	-0,900	0,083	
ISOBAMBA	t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos							
	23	-0,500	0,146						28	-0,500	0,067						24	-0,900	0,164		28	-0,900	0,097	
LATACONGA	t⁴⁵ minutos								t⁴⁵ minutos								t⁴⁵ minutos							
	17	-0,573	0,314	0,094					24,5	-0,501	0,155	0,022					15,5	-0,850	0,303	-0,080	22	-0,886	0,149	-0,046
AMBATO	t³⁰ minutos								t⁵⁰ minutos								t⁵⁰ minutos							
	10	-0,408	0,250	-0,179					13,5	-0,509	0,127	-0,074					9,5	-0,735	0,253		11	-0,735	0,123	
BIOSAMBA	t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos							
	11	-0,634	0,237	-0,030					15	-0,685	0,103						12	-0,807	0,200	-0,040	14,5	-0,818	0,117	-0,030
BAROS*	t⁹⁰ minutos								t⁹⁰ minutos								t⁹⁰ minutos							
	10	-0,438	0,204						12,5	-0,438	0,107						10,5	-0,550	0,234		14	-0,570	0,109	
CARAR	t⁴⁰ minutos								t⁴⁰ minutos								t⁴⁰ minutos							
	9,5	-0,463	0,306	-0,149					14	-0,517	0,137	-0,095					8,5	-0,715	0,316	-0,129	12,5	-0,805	0,152	-0,039
CUSICA	t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos							
	23	-0,560	0,203						27	-0,580	0,113						19	-0,840	0,240		24	-0,840	0,138	
Sta. ISABEL	t¹⁰⁰ minutos								t¹⁰⁰ minutos								t¹⁰⁰ minutos							
	10,5	-0,567	0,242	-0,090					13,5	-0,630	0,122	-0,027					12	-0,764	0,222	-0,025	14	-0,758	0,155	-0,030
LOJA ANGELIA	t⁷⁰ minutos								t⁷⁰ minutos								t⁷⁰ minutos							
	18	-0,570	0,114						21	-0,570	0,067						19	-0,790	0,144		22	-0,790	0,081	
TIPUTINI	t¹⁵ minutos								t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos							
	70	-0,295	0,109		76	-0,295	0,074		56	-0,470	0,097		62	-0,470	0,053		51	-0,801	0,137	0,044	60	-0,730	0,067	0,023
PUNO	t¹⁵ minutos								t⁶⁰ minutos								t⁶⁰ minutos							
	88	-0,225	0,107		78	-0,225	0,047		47	-0,505	0,120		54	-0,505	0,060		47	-0,730	0,127		55	-0,730	0,059	

* ESTACIONES UBICADAS EN LA FRANJA DIVISORA DE DOS ZONAS.

dos rectas que tienen las ecuaciones siguientes :

$$\begin{aligned} I(t,1) &= I(1,1) t^a \\ I(t,10) &= I(1,10) t^{a'} \end{aligned}$$

Se calcula así, el valor de a , después el de $c = a - a'$ y por último el valor de b.

Hemos agrupado en la tabla V, para cada estación, los valores de las constantes así calculadas.

Estas constantes corresponden a fórmulas donde las duraciones t están expresadas en horas y los períodos de retorno en años.

Observación : Se puede notar que en ciertos casos particulares (entre otros para la estación de QUITO-OBSERVATORIO), las rectas $I = \phi(t)$ son todas paralelas cualquiera que sea el valor de T. En estos casos el cálculo de las constantes está evidentemente muy simplificado. Es suficiente tomar en cada una de las rectas dos valores de I que correspondan a valores de t separados por un módulo logarítmico (10 y 100 minutos por ejemplo).

Así :
$$a = \log I_{100} - \log I_{10}$$

Para el cálculo de α podemos tomar de la misma manera :

T = 1 año y T = 10 años :

$$\alpha = b = \log I_{10} - \log I_1$$

Después, el cálculo de I_0 no presenta ninguna dificultad :

$$\boxed{I = I_0 t^a T^b} \quad (4)$$

Ciertos autores admiten que esta ecuación simplificada es válida en todos los casos y que, por consiguiente, α es independiente de la duración t . En ECUADOR, la mitad de las esta-

ciones parecen verificar esta hipótesis.

Debemos recalcar que el cambio de pendiente de la relación $I = \phi(t)$ para un valor de t cercano de 1 hora, no es un fenómeno específico de ECUADOR. Ha sido observado además en numerosos países donde los regímenes climáticos son, sin embargo, muy diferentes : ANTILLA, AFRICA DEL NORTE, BRASIL, etc.

Es interesante, observar que las fórmulas (3) y (4), válidas para el cálculo de las intensidades, pueden ser igualmente utilizadas para el cálculo de las alturas pluviométricas h relativas a una duración t y un período de retorno T :

$$h = I_0 t^{(a+1)} T^{(b+c \cdot \log t)} \quad (5)$$

y en el caso particular ya citado :

$$h = I_0 t^{(a+1)} T^b \quad (6)$$

Siendo h expresada en mm. t en horas y T en años.

4.2. Relación entre las intensidades y las alturas pluviométricas diarias.

Se trata de las intensidades calculadas sobre tiempos que pueden variar de 5 minutos hasta 24 horas. Haremos la hipótesis que para todas las estaciones estudiadas las relaciones $I = \phi(t)$ presentan por lo menos una discontinuidad para $t = 1$ hora.

Partiendo de la fórmula general :

$$I = I_0 t^a T^{(b+c \cdot \log t)}$$

Y, utilizándose el índice i para todas las constantes de las fórmulas que permiten el cálculo de I (o h) para $t \gg 1$ hora y el índice j cuando $t < 1$ hora, podemos escribir :

- Si $t \gg 1$ hora

$$I_{24} = I_{(0,i)} 24^{ai} T^{(bi + ci \log 24)}$$

Y

$$H = I_{(0,i)} 24^{(ai + 1)} T^{(bi + ci \log 24)}$$

Siendo H la altura pluviométrica diaria que corresponde al período de retorno T .

Así

$$T = \left[\frac{H}{I_{(0,i)} \times 24^{(ai + 1)}} \right]^{\frac{1}{bi + ci \log 24}}$$

Y,

$$I = I_{(0,i)} t^{ai} \left[\frac{H}{I_{(0,i)} \times 24^{(ai + 1)}} \right]^{\frac{bi + ci \log t}{bi + ci \log 24}}$$

En el caso donde $c = 0$, la fórmula se simplifica bastante :

$$I = 24^{-(ai + 1)} \cdot t^{ai} \cdot H$$

- Si $t < 1$ hora, tendremos una fórmula más compleja, dado que H (altura pluviométrica diaria) y luego T pueden ser calculados únicamente a partir de los parámetros : ai , bi y ci relativos a los valores de I para $t \gg 1$ hora.

Así,

$$I = I_{(0,j)} t^{aj} T^{(bj + cj \log t)}$$

substituyendo T por su valor :

$$I = I_{(0,j)} t^{aj} \left[\frac{H}{I_{(0,i)} 24^{ai + 1}} \right]^{\frac{bj + cj \log t}{bi + ci \log 24}}$$

Si $c = 0$:

$$I = I_{(0,j)} t^{aj} \left[\frac{H}{I_{(0,i)} \times 24^{(ai + 1)}} \right]^{\frac{bj}{bi}}$$

Estas fórmulas, por cierto a veces complejas, presentan la ventaja de permitir el cálculo de las intensidades que corresponden a una duración y una frecuencia dadas, a partir únicamente de la lluvia diaria de igual frecuencia.

- Tomando en el caso más sencillo (con $c = 0$) tenemos fórmulas del tipo :

$$I = K t^a H^n \quad (7)$$

$a = ai$ ó aj según el valor de t (superior o inferior a 1 hora)

Así tenemos :

. Si $t \gg 1$ hora : $n = 1$ y $K = 24^{-(ai + 1)}$

. Si $t < 1$ hora : $n = \frac{bj}{bi}$; $K = I_{(0,j)} \left[\frac{I_{(0,i)} \times 24^{(ai + 1)}}{bi} \right]^{\frac{bj}{bi}}$

- En los casos más complejos (con $c \neq 0$) la fórmula general es:

$$I = I_{(0,j)} t^a \left[\frac{H}{I_{(0,i)}} \right]^{(m + p \log t)} \times 24^{(q + r \log t)} \quad (8)$$

Pues :

. Si $t \gg 1$ hora : $I_{(0,j)} = I_{(0,i)}$

. $m = \frac{bi}{bi + ci \log 24}$

. $p = \frac{ci}{bi + ci \log 24}$

$$. q = -m (a + 1)$$

$$. r = -p (a + 1)$$

$$\text{Si } t < 1 \text{ hora : } . I_{(0,j)} \neq I_{(0,i)}$$

$$. m = \frac{b_j}{b_i + c_i \log 24}$$

$$. p = \frac{c_j}{b_i + c_i \log 24}$$

$$. q = -m (a + 1)$$

$$. r = -p (a + 1)$$

Observación : Las constantes de la tabla V permiten calcular todos estos parámetros para cada una de las estaciones pluviográficas seleccionadas.

4.3. Síntesis de los resultados.

La finalidad de esta síntesis es agrupar las diferentes estaciones según la zonificación definida en los párrafos 2.1. y 3.1. para dar, a nivel regional, sencillas reglas para el cálculo de las diferentes constantes que figuran en las fórmulas propuestas más arriba. La dificultad y la imprecisión de este trabajo están relacionadas al gran número de constantes por una parte, y a los débiles muestreos disponibles en cada zona, por otra parte.

A fin de simplificar los cálculos hemos admitido la hipótesis que la relación $I = \phi(t)$ estaba formada por dos semirectas cuyo punto común era en $t = 1$ hora y que la constante c era nula .

La variable de entrada está representada por la altura pluviométrica diaria de frecuencia mediana : $H_{0,5}$.

Llamaremos :

I_1 el valor de I_0 para $t < 1$ hora y $0,1 \leq F < 1$

I_2 el valor de I_0 para $t < 1$ hora y $0,01 < F < 0,1$

I_3 el valor de I_0 para $t \geq 1$ hora y $0,1 \leq F < 1$

I_4 el valor de I_0 para $t \geq 1$ hora y $0,01 < F < 0,1$

a_1 el exponente de t para $t < 1$ hora

a_2 el exponente de t para $t \geq 1$ hora

b_1 el exponente de T para $t < 1$ hora y $0,1 \leq F < 1$

b_2 el exponente de T para $t < 1$ hora y $0,01 < F < 0,1$

b_3 el exponente de T para $t \geq 1$ hora y $0,1 \leq F < 1$

b_4 el exponente de T para $t \geq 1$ hora y $0,01 < F < 0,1$

- Zonas 1 y 2 : ninguna información

- Zona 3 : Zona occidental de transición.

. $t < 1$ hora

$$I_1 = 0,64 H_{0,5}^{-7}$$

$$I_2 = 0,59 I_1 + 22$$

. $t < 1$ hora

$$a_1 = -0,410$$

$$b_1 = -0,020 I_1 + 0,823$$

$$b_2 = 0,585 b_1 - 0,027$$

$t \geq 1$ hora

$$I_3 = I_1$$

$$I_4 = I_2$$

. $t \geq 1$ hora

$$a_2 = 0,800$$

$$b_3 = b_1$$

$$b_4 = b_2$$

- Zona 4 : Zona húmeda occidental.

. $t < 1$ hora

$$I_1 = 0,74 H_{0,5}^{-32}$$

$$I_2 = 1,13 I_1 + 5$$

$$a_1 = 0,0091 I_1 - 0,738$$

$$b_1 = 0,0034 I_1 + 0,373$$

$$b_2 = 0,328 b_1 + 0,046$$

. $t \geq 1$ hora

$$I_3 = 0,72 H_{0,5}^{-29}$$

$$I_4 = 0,87 I_3 + 20$$

$$a_2 = -0,0027 I_3 - 0,657$$

$$b_3 = -0,0039 I_3 + 0,428$$

$$b_4 = 0,246 b_3 + 0,072$$

- Zona 5 : Callejón interandino.

<p>. $t < 1$ hora</p> $I_1 = 0,61 H_{0,5} - 3$ $I_2 = I_1 + 4$ $a_1 = 0,0085 I_1 - 0,726$ $b_1 = - 0,005 I_1 + 0,281$ $b_2 = 0,508 b_1 + 0,001$	<p>. $t \gg 1$ hora</p> $I_3 = 0,695 H_{0,5} - 6$ $I_4 = 1,21 I_3 + 1$ $a_2 = - 0,009 I_3 - 0,673$ $b_3 = - 0,006 I_3 + 0,310$ $b_4 = 0,440 b_3 + 0,017$
---	---

- Zona 6 : Zona húmeda oriental

Para esta zona fue necesario tener en cuenta la discontinuidad de la relación $I = \phi(t)$ para $t = 15$ min.

Tenemos así :

$t < 15$ min	$15 \text{ min} \leq t < 1$ hora	$t \gg 1$ hora
$I'_1 = 0,66 H_{0,5}$	$I_1 = 0,50 H_{0,5}$	$I_3 = 0,47 H_{0,5}$
$I'_2 = I_1 + 7$	$I_2 = I_1 + 7$	$I_4 = I_3 + 7$
$a'_1 = - 0,250$	$a_1 = - 0,490$	$a_2 = - 0,750$
$b'_1 = 0,105$	$b_1 = 0,110$	$b_3 = 0,120$
$b'_2 = 0,060$	$b_2 = 0,055$	$b_4 = 0,060$

Los ábacos N°13 a N°16 permiten estimar de una manera sencilla, todas las constantes necesarias para la utilización de la fórmula (7), a partir de la altura pluviométrica diaria de frecuencia mediana.

Observación : - En cualquier zona, estas fórmulas presentan, a pesar de su imprecisión, una cierta homogeneidad.

- Proponemos utilizar, cuando se trata de hacer rápidas estimaciones a nivel nacional, un sólo grupo de fórmulas para todo el país, cualquiera que sea la duración escogida :

. $I_1 = 0,59 H_{0,5} - 5$	$I_2 = 1,16 H_{0,5} + 2$
----------------------------	--------------------------

Para el exponente de t :

- Zona 3 : $a_1 = - 0,410$	$a_2 = - 0,800$
- Zona 4 : $a_1 = - 0,350$	$a_2 = - 0,790$
- Zona 5 : $a_1 = - 0,600$	$a_2 = - 0,850$
- Zona 6 : $a_1 = - 0,490$	$a_2 = - 0,750$

(Para $t < 15$ min. tendría que tomar : $a = - 0,250$)

$$b_1 = - 0,0056 I_1 \qquad b_2 = 0,48 b_1 + 0,008$$

- Aunque los estudios fueron efectuados solamente para duraciones que se sitúan entre 5 minutos y 24 horas, se puede en una primera aproximación, utilizar las fórmulas propuestas más arriba, para períodos que esten fuera de este intervalo. De esta manera, las fórmulas definidas para $t \gg 1$ hora podrán ser utilizadas para $t = 2$ o 3 días incluso, si es necesario, para duraciones más largas.

Aplicaciones Prácticas.

Todas las constantes que figuran en las fórmulas que sirven para el cálculo de las intensidades o de las alturas pluviométricas relativas a una duración y a un período de retorno dados, pueden ser estimados a partir de la sola altura pluviométrica diaria de frecuencia mediana.

Son fórmulas empíricas que deben ser utilizadas solamente en las regiones que no tienen registradores o para las estaciones pluviográficas que no fueron objeto de ningún procesamiento primario.

Como ejemplo, proponemos calcular las intensidades de frecuencias mediana, decenal y centenal húmedas para duraciones de 5 minutos y 1 hora en las estaciones de QUITO-OBSERVATORIO (Callejón Interandino) y PICHILINGUE (Zona occidental húmeda).

Supondremos conocidas las alturas pluviométricas diarias de i (tales frecuencias :

$$\begin{aligned} \text{QUITO :} & \quad H_{0,5} = 39 \text{ mm} ; \quad H_{0,1} = 52 \text{ mm} ; \quad H_{0,01} = 68 \text{ mm.} \\ \text{PICHILINGUE} & ; \quad H_{0,5} = 119 \text{ mm} ; \quad H_{0,1} = 151 \text{ mm} ; \quad H_{0,01} = 180 \text{ mm.} \end{aligned}$$

QUITO : Situándose esta estación en la Zona 5, el cálculo de las constantes se hará de la siguiente manera :

$$\begin{array}{ll} t < 1 \text{ hora} & t \gg 1 \text{ hora} \\ I_1 = 0,61 \times 39 - 3 = 21 & I_3 = 0,695 \times 39 - 6 = 21 \end{array}$$

$$I_2 = 21 + 4 = 25$$

$$I_4 = 1,21 \times 21 + 1 = 26$$

$$a_1 = 0,0085 \times 21 - 0,726 = - 0,548$$

$$a_2 = 0,009 \times 21 - 0,673 = - 0,863$$

$$b_1 = 0,005 \times 21 - 0,281 = 0,175$$

$$b_3 = - 0,006 \times 21 + 0,310 = 0,184$$

$$b_2 = 0,508 \times 0,175 + 0,001 = 0,090$$

$$b_4 = 0,440 \times 0,184 + 0,017 = 0,098$$

a) t = 5 minutos

$$\text{- Para } F = 0,5 : \quad K = 21 \left[21 \times 24^{(-0,863 + 1)} \right]^{-\frac{0,175}{0,184}} = 0,767$$

$$n = \frac{0,175}{0,184} = 0,951$$

En base a la fórmula (7) se puede escribir :

$$I_{0,5} = 0,767 \cdot t^{-0,548} \cdot H^{0,951}$$

$$I_{0,5} = 0,767 \times \left(\frac{5}{60} \right)^{-0,548} \times 39^{0,951} = \underline{98 \text{ mm/h.}}$$

- Para F = 0,10 podemos utilizar la misma fórmula que para lo anterior :

$$I_{0,10} = 0,767 \left(\frac{5}{60} \right)^{-0,548} \times 52^{0,951} = \underline{128 \text{ mm/h}}$$

$$\text{- Para } F = 0,01 : \quad K = 25 \left[26 \times 24^{(-0,863 + 1)} \right]^{-\frac{0,090}{0,098}} = 0,842$$

$$n = \frac{0,090}{0,098} = 0,918$$

Sea :

$$I_{0,01} = 0,842 \cdot t^{-0,548} \cdot H^{0,918}$$

$$I_{0,01} = 0,842 \left(\frac{5}{60} \right)^{-0,548} \times 680,918 = \underline{144 \text{ mm/h}}$$

Los valores calculados en base al estudio estadístico directo (Ley de PEARSON III) son : $I_{0,5} = 100 \text{ mm/h}$, $I_{0,10} = 127 \text{ mm/h}$, y, $I_{0,01} = 150 \text{ mm/h}$

Así los errores relativos son respectivamente de : 2%, 1% 4%.

Estos errores son tanto más aceptables cuanto que la estación QUITO está en el grupo de las estaciones en las cuales la relación $I = \phi(t)$ presenta una segunda discontinuidad para $t = 20 \text{ mm}$. Pero esta discontinuidad no fue tomada en cuenta en la elaboración de las fórmulas propuestas.

El cálculo de las alturas pluviométricas que corresponden a estas intensidades no presenta dificultad alguna.

$$h_{0,5} = I_{0,5} \times t = \frac{98 \times 5}{60} = 8,20 \text{ mm.}$$

$$h_{0,1} = I_{0,1} \times t = \frac{128 \times 5}{60} = 10,7 \text{ mm.}$$

$$h_{0,01} = I_{0,01} \times t = \frac{144 \times 5}{60} = 12,0 \text{ mm.}$$

b) t = 2 horas

$$\text{- Para } F = 0,5 : K = 24^{-(- 0,863 + 1)} = 0,647$$

$$n = 1$$

Utilizando la fórmula (7) :

$$I_{0,5} = 0,647 \times t^{-0,863} \times H = 0,647 \times 2^{-0,863} \times 39 = \underline{13,9 \text{ mm/h}}$$

- Para F = 0,10, con la misma fórmula.

$$I_{0,10} = 0,647 \times 2^{-0,863} \times 52 = \underline{18,5 \text{ mm/h}}$$

- Para F = 0,01 : Todavía con la misma fórmula.

$$I_{0,01} = 0,647 \times 2^{-0,863} \times 68 = \underline{24,2 \text{ mm/h}}$$

Los valores calculados a partir de la Ley de PEARSON III son respectivamente : $I_{0,5} = 14,9 \text{ mm/h}$, $I_{10} = 18,9 \text{ mm/h}$ y $I_{0,01} = 22,5 \text{ mm/h}$, con errores relativos de 7%, 2% y 8%, respectivamente.

Las alturas pluviométricas de las mismas frecuencias son :

$$h_{0,5} = 13,9 \times 2 = 27,8 \text{ mm}$$

$$h_{0,1} = 18,5 \times 2 = 37,0 \text{ mm.}$$

$$h_{0,01} = 24,2 \times 2 = 48,4 \text{ mm.}$$

Observación : Es interesante notar la facilidad de los cálculos cuando $t \gg 1$ hora dado que, es este caso, solo es necesario la determinación del exponente de t , la estimación de K derivandose de este último.

- PICHILINGUE : Como esta estación pertenece a la Zona 4, tenemos:

$t < 1$ hora

$$\begin{aligned} I_1 &= 0,74 \times 119 - 32 = 56 \\ I_2 &= 1,13 \times 56 + 5 = 68 \\ a_1 &= 0,0091 \times 56 - 0,738 = -0,228 \\ b_1 &= -0,0034 \times 56 + 0,373 = 0,183 \\ b_2 &= 0,328 \times 0,183 + 0,046 = 0,106 \end{aligned}$$

$t \gg 1$ hora

$$\begin{aligned} I_3 &= 0,72 \times 119 - 29 = 57 \\ I_4 &= 0,87 \times 57 + 20 = 70 \\ a_2 &= -0,0027 \times 57 - 0,657 = -0,811 \\ b_3 &= -0,0039 \times 57 + 0,428 = 0,206 \\ b_4 &= 0,246 \times 0,206 + 0,072 = 0,123 \end{aligned}$$

a) $t = 5$ minutos

$$\begin{aligned} \text{- Para } F = 0,5 : \quad K &= 56 \left[57 \times 24 (-0,811 + 1) \right]^{-\frac{0,183}{0,206}} = 0,906 \\ n &= \frac{0,183}{0,206} = 0,888 \end{aligned}$$

Utilizándo la fórmula (7) :

$$\begin{aligned} I_{0,5} &= 0,906 \cdot t^{-0,228} \cdot H^{0,888} = 0,906 \left(\frac{5}{60} \right)^{-0,228} \times 119^{0,888} = \underline{111 \text{ mm/h}} \\ h_{0,5} &= \frac{111 \times 5}{60} = \underline{9,25 \text{ mm.}} \end{aligned}$$

- Para $F = 0,10$: Con las mismas constantes.

$$\begin{aligned} I_{0,10} &= 0,906 \left(\frac{5}{60} \right)^{-0,228} \times 151^{0,888} = \underline{137 \text{ mm/h}} \\ h_{0,10} &= \frac{137 \times 5}{60} = \underline{11,4 \text{ mm.}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Para } F = 0,01 : \quad K &= 68 \left[70 \times 24 (-0,811 + 1) \right]^{-\frac{0,106}{0,123}} = 1,040 \\ n &= \frac{0,106}{0,123} = 0,862 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{0,01} &= 1,04 \cdot t^{-0,228} \cdot H^{0,862} = 1,04 \left(\frac{5}{60} \right)^{-0,228} \times 180^{0,862} = \underline{161 \text{ mm/h}} \\ h_{0,01} &= \frac{161 \times 5}{60} = \underline{13,4 \text{ mm.}} \end{aligned}$$

El ajuste estadístico nos había dado los resultados siguientes: -

$I_{0,5} = 106 \text{ mm/h}$ $I_{0,10} = 148 \text{ mm/h}$ y $I_{0,01} = 194 \text{ mm/h}$; con errores relativos de 5%, 7% y 17%.

b) t = 2 horas

- Para F = 0,5 : . $K = 24^{-(-0,811 + 1)} = 0,548$
 . $n = 1$

. $I_{0,5} = 0,548 \cdot t^{-0,811} \cdot H = 0,548 \times 2^{-0,811} \times 119 = \underline{37,2 \text{ mm/h}}$

. $h_{0,5} = 37,2 \times 2 = \underline{74,4 \text{ mm}}$

- Para F = 0,10

. $I_{0,10} = 0,548 \times 2^{-0,811} \times 151 = \underline{47,2 \text{ mm/h}}$

. $h_{0,10} = 47,2 \times 2 = \underline{94,4 \text{ mm}}$

- Para F = 0,01 :

. $I_{0,01} = 0,548 \times 2^{-0,811} \times 180 = \underline{56,2 \text{ mm/h}}$

. $h_{0,01} = 56,2 \times 2 = \underline{112,4 \text{ mm}}$

El mejor ajuste estadístico (Ley de PEARSON III) nos ha dado :

$I_{0,5} = 38,2 \text{ mm/h}$, $I_{0,10} = 51,3 \text{ mm/h}$ y $I_{0,01} = 63,8 \text{ mm/h}$, lo que corresponde a errores relativos de 3%, 8% y 12%.

Observación : Las estaciones de QUITO y PICHILINGUE fueron escogidas en vista a que presentan los casos particulares dentro de los muestreos estudiados. QUITO-OBSERVATORIO es una de las estaciones para las cuales la relación $I = \phi(t)$ presenta una discontinuidad para $t = 20 \text{ min.}$ pero, como ya lo vimos, esta discontinuidad no fue tomada en cuenta para la elaboración de las fórmulas generales que sirven para el cálculo de las constantes. En cuanto a PICHILINGUE es una de las pocas estaciones cuyo ajuste de las alturas pluviométricas diarias es simétrico.

Estas diferentes razones nos permiten considerar que los errores relativos calculados más arriba, representan los límites superiores. Podemos admitir, sin grandes riesgos, que en promedio los valores de frecuencia mediana serán estimados con un error relativo inferior al 5%, los valores de frecuencia decenal con error inferior a 7-8% y los valores de frecuencia centenal con error inferior a los 12-15% comparándolos con los valores dados por el mejor ajuste estadístico escogido (Ley Gamma incompleta en el presente estudio).

5. CONCLUSION.

Hemos admitido la hipótesis de que si el planificador de recursos renovables necesitaría disponer de documentos sencillos y sintéticos, la información requerida por el planificador de los recursos hídricos debería ser más completa y precisa, pero manejable a nivel nacional o regional.

Igualmente, hemos podido observar que el ingeniero encargado de proyectos de obras hidráulicas no disponía siempre de una adecuada información para efectuar las estimaciones o extrapolaciones necesarias a cálculos de los riesgos tanto humanos como económicos. Como tales especialistas tienen generalmente conocimientos muy someros en meteorología o en estadística, hemos buscado, en todos los casos, a fin de facilitar su uso, las relaciones más sencillas que unen las diferentes variables pluviométricas entre sí. Es por eso que todos los ábacos propuestos presentan relaciones lineales. Si la justificación teórica de tales relaciones puede parecer difícil, debemos recalcar que la división de ECUADOR en diferentes zonas pluviométricas homogéneas, reduce notablemente el intervalo de variación de los diferentes parámetros y, por consiguiente, el error que puede ocasionar la aproximación que consiste en substituir un tramo de curva de forma cualquiera por un segmento de recta.

Proponemos igualmente un cierto número de ecuaciones más complejas, cuando la precisión buscada es más grande o el estudio efectuado más detallado. La utilización casi universal de calculadoras más o menos sofisticadas y muchas veces programables, torna la utilización de tales relaciones de una gran sencillez. Es suficiente entrar solamente una o dos variables para obtener directamente el resultado buscado : altura pluviométrica anual o altura diaria de cualquier frecuencia. Para el cálculo de las intensidades o de las alturas pluviométricas que corresponden a duraciones que pueden variar de unos minutos a varios días, el número de constantes a utilizar será más grande, sobre todo para duraciones inferiores a una hora, sin que el algoritmo de cálculo se complique de una manera notable.

La precisión de los resultados está estrechamente relacionada a la precisión de la altura pluviométrica media anual. Cuando la utilización de ciertos parámetros estadísticos es necesaria (parámetro a de la Ley de GALTON o parámetro de forma γ de la Ley de PEARSON III), es preferible buscar, en el mapa de las zonas pluviométricas homogéneas, una estación representativa más bien que escoger un valor medio que corresponde a toda la zona en la cual se encuentra el lugar o la región a estudiar.

Es evidente que una zonificación más detallada permitiría alcanzar una mejor precisión, con la condición de que la información básica disponible sea suficiente para caracterizar cada una de las zonas.

ANEXOS

=====

1. ESTADISTICA DE LAS INTENSIDADES
2. ABACOS PARA LAS ESTIMACIONES DE
LAS ALTURAS PLUVIOMETRICAS ANUALES,
DIARIAS Y DE LAS INTENSIDADES

NUMERO DE AÑOS DE OBSERVACION DE LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS.-

- Zona de transición occidental.-

Portoviejo : 18 años

La Naranja* : 14 años

Pasaje : 14 años

- Zona húmeda occidental.-

San Lorenzo : 12 años

Santo Domingo : 12 años

Puerto Ila : 14 años

Pichilingue : 15 años

Isabel María* : 17 años

Milagro : 15 años

- Callejón Interandino.-

Tulcán : 16 años

Ibarra : 20 años

San Pablo : 10 años

Quito Observ. : 51 años

Izobamba : 16 años

Latacunga : 20 años

Ambato : 14 años

Baños* : 16 años

Riobamba : 14 años

Cañar : 20 años

Cuenca : 13 años

Santa Isabel : 14 años

Loja Argelia : 10 años

- Zona húmeda oriental.-

Tiputini : 14 años

Puyo : 12 años

* Estaciones ubicadas en la franja divisora de dos zonas.

ESTACION PLUVIOGRAFICA: PORTOVIEJO

Número de Años de Observación: 18

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviométricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	94.6	7.9	149.7	12.5	191.5	16.0	207.9	17.3
10 min.	67.5	11.3	116.5	19.4	155.6	25.3	171.3	28.6
15 min.	58.9	14.7	100.3	25.1	132.7	33.2	145.6	36.4
20 min.	52.3	17.4	90.6	30.2	120.8	40.3	132.9	44.3
30 min.	42.1	21.1	73.2	36.6	97.7	48.9	107.6	53.8
60 min.	28.1	28.1	47.8	47.8	63.2	63.2	69.3	69.3
120 min.	18.2	36.4	32.4	64.8	49.7	87.4	48.3	96.6
24 horas.	2.17	52.0	3.63	97.2	4.75	114.6	5.23	125.5

ESTACION PLUVIOGRAFICA: LA NARANJA

Número de Años de Observación: 14

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.
5 min.	119.8	10.0	163.1	13.6	193.7	16.1	205.3	17.1
10 min.	92.8	15.5	120.6	20.1	139.8	23.3	147.1	24.5
15 min.	81.9	20.5	101.5	25.4	114.6	28.7	119.5	29.9
20 min.	73.5	24.5	93.6	31.2	107.4	35.8	112.5	37.5
30 min.	63.8	31.9	82.2	41.1	94.8	47.4	99.5	49.8
60 min.	42.6	42.6	55.9	55.9	65.0	65.0	68.5	68.5
120 min.	25.2	50.4	33.2	66.4	38.9	77.8	41.1	82.2
24 horas.	2.48	59.6	3.38	81.1	4.01	96.3	4.25	102.1

ESTACION PLUVIOGRAFICA: PASAJE

Número de Años de Observación: 14

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviométricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	92.6	7.7	121.2	10.1	141.0	11.8	148.4	12.4
10 min.	65.8	11.0	90.1	15.0	107.2	17.9	113.2	19.0
15 min.	55.0	13.8	81.0	20.3	100.0	25.0	107.4	26.9
20 min.	49.8	15.6	76.2	25.4	65.8	31.3	103.5	34.5
30 min.	41.7	20.9	68.0	34.0	38.3	44.2	96.3	48.2
60 min.	33.2	33.2	51.8	51.8	65.8	65.8	71.3	71.3
120 min.	20.3	40.6	29.1	58.2	35.4	70.9	37.8	75.6
24 horas.	2.50	60.1	4.14	99.3	5.39	129.5	5.90	141.5

ESTACION PLUVIOGRAFICA: SAN LORENZO

Número de Años de Observación: 12

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	127.8	10.7	184.2	15.4	231.2	19.3	250.5	20.9
10 min.	91.0	15.2	141.7	23.6	179.8	30.0	194.7	32.5
15 min.	79.6	19.9	127.1	31.8	163.1	40.8	177.3	44.3
20 min.	71.1	23.7	113.0	37.7	144.7	48.2	157.2	52.4
30 min.	58.8	29.4	94.1	47.1	120.9	60.5	131.5	65.8
60 min.	43.4	43.4	71.4	71.4	93.1	93.1	101.7	101.7
120 min.	30.0	60.0	57.1	114.2	80.1	160.2	89.5	179.0
24 horas.	4.97	119.2	6.76	162.2	8.02	192.5	8.50	204.0

ESTACION PLUVIOGRAFICA: SANTO DOMINGO DE LOS COLOPADOS

Número de Años de Observación: 12

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviométricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.
5 min.	121.5	10.1	168.5	14.0	201.9	16.8	214.7	17.9
10 min.	98.7	16.5	140.2	23.4	170.0	28.3	161.4	30.2
15 min.	87.0	21.8	120.9	30.2	145.1	36.3	154.4	38.6
20 min.	85.2	28.4	119.5	39.8	144.0	48.0	153.4	51.1
30 min.	77.9	39.0	114.4	57.2	141.1	70.6	151.4	75.7
60 min.	57.8	57.7	86.4	86.4	107.5	107.5	115.7	115.7
120 min.	36.9	73.8	51.9	103.8	62.6	125.2	66.7	133.4
24 horas.	4.74	113.8	6.66	159.8	8.04	192.9	8.56	205.5

ESTACION PLUVIOGRAFICA: PUERTO ILA

Número de Años de Observación: 14

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	113.1	9.4	151.4	12.6	178.2	14.9	188.4	15.7
10 min.	92.5	15.4	129.7	21.6	156.3	26.1	166.6	27.8
15 min.	81.6	20.4	118.0	29.5	144.4	36.1	154.6	38.7
20 min.	74.3	24.8	104.3	34.8	125.8	41.9	134.0	44.7
30 min.	64.2	32.1	88.6	44.3	106.0	53.0	112.7	56.4
60 min.	44.8	44.8	69.0	69.0	88.4	88.4	96.2	96.2
120 min.	34.0	68.0	51.8	103.6	65.2	130.4	70.4	140.8
24 horas.	4.34	104.2	5.67	136.2	6.59	158.2	6.94	166.5

ESTACION PLUVIOGRAFICA: PICHILINGUE

Número de Años de Observación: 15

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	105.8	8.8	148.2	12.4	180.8	15.1	139.6	16.1
10 min.	90.4	15.1	123.5	20.6	146.9	24.5	155.8	26.0
15 min.	82.1	20.5	108.8	27.2	127.5	31.9	134.5	33.6
20 min.	77.0	25.7	103.8	34.6	122.7	40.9	129.8	43.3
30 min.	70.7	35.4	91.2	45.6	105.3	52.7	110.6	55.3
60 min.	55.5	55.5	73.6	73.6	86.1	86.1	90.9	90.9
120 min.	38.2	76.4	51.3	102.6	60.4	120.8	63.8	127.6
24 horas.	4.90	117.6	6.35	152.5	7.35	176.5	7.73	185.3

ESTACION PLUVIOGRAFICA: ISABEL MARIA

Número de Años de Observación: 17

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviométricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	123.2	10.3	168.2	14.0	200.0	16.7	212.1	17.7
10 min.	98.7	16.5	133.3	22.2	157.6	26.3	166.8	27.8
15 min.	89.1	22.3	121.3	30.3	134.9	36.0	152.5	38.1
20 min.	78.2	26.1	110.5	36.8	135.5	45.2	145.5	48.5
30 min.	65.3	32.7	96.4	48.2	120.8	60.4	130.6	65.3
60 min.	47.3	47.3	73.3	73.3	97.3	97.3	107.5	107.5
120 min.	30.9	61.8	50.9	101.8	66.4	132.8	72.5	145.0
24 horas.	4.58	109.9	6.96	167.0	8.79	210.9	9.51	228.2

ESTACION PLUVIOGRAFICA: MILAGRO

Número de Años de Observación: 15

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	125.5	10.5	158.2	13.2	180.4	15.0	188.7	15.7
10 min.	100.5	16.8	139.9	23.3	168.2	28.0	179.0	29.8
15 min.	82.2	20.6	124.4	31.1	158.7	39.7	172.6	43.2
20 min.	75.3	25.1	107.6	35.9	131.0	43.7	140.0	46.7
30 min.	61.5	30.8	93.4	46.7	119.2	59.6	129.6	64.8
60 min.	44.5	44.5	61.9	61.9	74.6	74.6	79.5	79.5
120 min.	27.5	55.0	42.0	84.0	54.2	108.4	59.2	118.4
24 horas.	3.77	90.4	5.29	126.9	6.41	153.8	6.85	164.3

ESTACION PLUVIOGRAFICA: TULCAN

Número de Años de Observación: 16

I: Intensidades en mm/h.

H: Alturas Pluviométricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	85.1	7.1	119.6	10.0	144.2	12.0	153.7	12.8
10 min.	66.4	11.1	102.0	17.0	128.6	21.4	139.0	23.2
15 min.	57.2	14.3	92.8	23.2	120.1	30.0	130.9	32.7
20 min.	50.2	16.7	81.0	27.0	103.9	34.6	112.8	37.6
30 min.	39.7	19.9	67.7	33.9	90.8	45.4	100.1	50.1
60 min.	25.1	25.1	41.0	41.0	53.2	53.2	58.0	58.0
120 min.	15.8	31.6	25.4	50.8	32.6	65.2	35.5	71.0
24 horas.	1.71	41.0	2.52	60.5	3.12	74.8	3.35	80.3

ESTACION PLUVIOGRAFICA: IBARRA

Número de Años de Observación: 20

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.
5 min.	73.9	6.2	104.3	8.7	125.7	10.5	133.8	11.2
10 min.	48.1	8.0	67.3	11.2	80.9	13.5	86.2	14.4
15 min.	39.2	9.8	55.6	13.9	67.4	16.9	72.0	18.0
20 min.	33.0	11.0	47.4	15.8	57.9	19.3	61.9	20.6
30 min.	26.6	13.3	36.0	18.0	42.7	21.4	45.3	22.7
60 min.	16.8	16.8	22.3	22.3	26.1	26.1	27.5	27.5
120 min.	10.2	20.4	13.8	27.6	16.4	32.8	17.3	34.6
24 horas.	1.40	33.5	1.95	46.9	2.42	58.0	2.60	62.5

ESTACION PLUVIOGRAFICA: LAGO SAN PABLO

Número de Años de Observación: 10

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	80.4	6.7	110.0	9.2	130.5	10.9	183.3	11.5
10 min.	56.4	9.4	73.4	12.2	84.9	14.2	89.2	14.9
15 min.	45.9	11.5	62.4	15.6	73.9	18.5	73.3	19.6
20 min.	41.5	13.8	55.7	18.6	65.6	21.9	69.4	23.1
30 min.	32.6	16.3	44.4	22.2	52.6	26.3	55.8	27.9
60 min.	20.9	20.9	28.4	28.4	33.7	33.7	35.7	35.7
120 min.	13.0	26.0	19.5	39.0	23.9	47.8	25.6	51.2
24 horas.	1.69	40.6	2.10	50.3	2.37	56.8	2.47	59.2

Estación Pluviográfica: QUITO OBSERVATORIO

Número de Años de Observación: 51

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviométricas en mm.

Frecuencia. Tiempo.	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	100.0	8.3	126.9	10.6	143.9	12.0	150.1	12.5
10 min.	76.0	12.7	99.7	16.6	116.0	19.3	122.1	20.3
15 min.	65.0	16.2	83.7	20.9	96.1	24.0	100.6	25.2
20 min.	57.6	19.2	74.9	25.0	86.6	28.9	91.0	30.3
30 min.	46.3	23.2	58.5	29.3	66.4	33.2	69.2	34.6
40 min.	37.4	24.9	47.4	31.6	54.1	36.1	56.5	37.7
50 min.	31.4	26.2	40.9	34.1	47.6	39.7	50.1	41.8
1 hora.	27.4	27.4	35.1	35.1	40.3	40.3	42.3	42.3
2 horas.	14.9	29.8	18.9	37.8	21.5	43.0	22.5	45.0
6 horas.	5.48	32.9	6.96	41.8	8.03	48.2	8.45	50.7
12 horas.	2.99	35.9	3.76	45.1	4.31	51.7	4.52	54.2
24 horas.	1.58	37.2	1.93	47.5	2.29	53.3	2.41	57.1

ESTACION PLUVIOGRAFICA: IZOBAMBA

Número de Años de Observación: 16

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.
5 min.	105.5	8.8	122.6	10.2	133.7	11.1	137.8	11.5
10 min.	65.0	10.8	79.3	13.2	88.9	14.8	92.4	15.4
15 min.	54.4	13.6	68.8	17.2	78.6	19.7	82.3	20.6
20 min.	48.3	16.1	61.1	20.4	69.8	23.3	73.1	24.4
30 min.	39.9	20.0	51.4	25.7	59.3	29.7	62.3	31.2
60 min.	25.1	25.1	34.4	34.4	40.9	40.9	43.5	43.5
120 min.	14.7	29.4	20.2	40.4	24.0	48.0	25.5	51.0
24 horas.	1.49	35.7	1.89	45.4	2.17	52.1	2.28	54.6

ESTACION PLUVIOGRAFICA: LATACUNGA

Número de Años de Observación: 20

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.
5 min.	71.8	6.0	110.5	9.2	139.4	11.6	150.7	12.6
10 min.	57.8	9.6	81.2	13.5	96.1	16.4	104.5	17.4
15 min.	49.3	12.3	70.9	17.1	86.3	21.6	92.3	23.1
20 min.	41.5	13.8	61.6	20.5	76.4	25.5	82.1	27.4
30 min.	32.0	16.0	49.2	24.6	61.5	30.8	66.3	33.2
60 min.	19.1	19.1	32.1	32.1	40.3	40.3	43.9	43.9
120 min.	10.5	21.0	16.4	32.8	20.8	41.6	22.5	45.0
24 horas.	1.20	28.7	1.58	37.9	1.83	44.0	1.93	46.4

ESTACION PLUVIOGRAFICA: AMBATO

Número de Años de Observación: 14

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviométricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.
5 min.	35.1	2.9	70.1	5.8	101.9	8.5	115.4	9.6
10 min.	29.4	4.9	53.8	9.0	75.3	12.3	81.5	13.6
15 min.	23.9	6.0	42.4	10.6	57.0	14.3	63.0	15.8
20 min.	20.7	6.9	35.1	11.7	46.4	15.5	50.9	17.0
30 min.	15.7	7.9	26.2	13.1	34.4	17.2	37.6	18.8
60 min.	11.1	11.1	17.0	17.0	21.4	21.4	23.1	23.1
120 min.	7.1	14.2	10.3	26.0	12.7	25.4	13.6	37.2
24 horas.	1.13	27.0	1.59	38.1	1.92	46.0	2.04	49.0

ESTACION PLUVIOGRAFICA: BAÑOS

Número de Años de Observación: 16

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	35.4	3.0	49.6	4.1	59.8	5.0	63.7	5.3
10 min.	24.6	4.1	36.2	6.0	45.4	7.6	49.0	8.2
15 min.	21.1	5.3	30.4	7.6	37.8	9.5	40.7	10.2
20 min.	19.1	6.4	26.3	8.8	31.4	10.5	33.3	11.1
30 min.	15.4	7.7	20.9	10.5	24.7	12.4	26.2	13.1
60 min.	11.1	11.1	16.0	16.0	19.9	19.9	21.5	21.5
120 min.	8.5	17.0	12.4	24.8	15.4	30.8	16.6	33.2
24 horas.	2.17	52.2	3.01	72.2	3.60	86.4	3.83	91.9

ESTACION PLUVIOGRAFICA: RIOBAMBA Número de Años de Observación: 14

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.
5 min.	60.0	5.0	96.6	8.1	125.1	10.4	136.4	11.4
10 min.	43.0	7.2	61.0	10.2	73.9	12.3	78.9	13.2
15 min.	33.4	8.4	50.4	12.6	63.9	16.0	69.3	17.3
20 min.	28.0	9.3	41.8	13.9	52.1	17.4	56.0	18.7
30 min.	21.0	10.5	30.7	15.4	37.9	19.0	40.8	20.4
60 min.	12.9	12.9	17.8	17.8	21.4	21.4	22.8	22.8
120 min.	7.9	15.8	10.2	20.4	11.9	23.8	12.6	25.2
24 horas.	0.95	22.9	1.24	29.9	1.45	34.8	1.52	36.6

ESTACION PLUVIOGRAFICA: CAÑAR

Número de Años de Observación: 20

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	40.0	3.3	78.8	6.6	111.5	9.3	124.9	10.4
10 min.	29.3	4.9	58.3	9.7	83.7	14.0	94.3	15.7
15 min.	23.7	5.9	44.9	11.2	63.5	15.9	71.3	17.8
20 min.	20.7	6.9	38.3	12.8	53.5	17.8	59.8	19.9
30 min.	16.8	8.4	28.3	14.2	37.2	18.6	40.7	20.4
60 min.	10.0	10.0	16.7	16.7	22.4	22.4	24.7	24.7
120 min.	6.4	12.8	9.7	19.4	12.1	24.2	13.0	26.0
24 horas.	0.88	21.1	1.18	28.3	1.39	33.3	1.47	35.2

ESTACION PLUVIOGRAFICA: CUENCA

Número de Años de Observación: 13

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviométricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	94.6	7.9	128.4	10.7	152.1	12.7	161.2	13.4
10 min.	69.6	11.6	97.8	16.3	118.0	19.7	125.8	21.0
15 min.	55.7	13.9	76.5	19.1	91.2	22.8	96.8	24.2
20 min.	47.6	15.9	66.7	22.2	80.3	26.8	85.5	28.5
30 min.	35.5	17.8	50.2	25.1	60.8	30.4	64.8	32.4
60 min.	22.4	22.4	31.9	31.9	38.9	38.9	41.6	41.6
120 min.	12.6	25.2	17.8	35.6	21.5	43.0	23.0	46.0
24 horas.	1.57	37.6	1.96	47.1	2.24	53.7	3.34	56.2

ESTACION PLUVIOGRAFICA: SANTA ISABEL

Número de Años de Observación: 14

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviométricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	51.4	4.3	93.1	7.8	127.0	10.6	140.7	11.7
10 min.	36.9	6.2	62.5	10.4	82.6	13.8	90.5	15.1
15 min.	29.0	7.2	46.1	11.5	59.1	14.8	64.2	16.1
20 min.	24.6	8.2	37.0	12.3	46.2	15.4	49.8	16.6
30 min.	19.0	9.5	29.2	14.6	37.3	18.7	40.5	20.3
60 min.	12.0	12.0	18.5	18.5	23.4	23.4	25.3	25.3
120 min.	8.3	16.6	11.6	23.2	14.0	28.0	15.0	30.0
24 horas.	1.16	27.8	1.58	37.8	1.90	45.5	2.02	48.5

ESTACION PLUVIOGRAFICA: LOJA EN ARGELIA

Número de Años de Observación: 10

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.	I: mm./h.	H: m.m.
5 min.	75.5	6.3	106.8	8.9	129.2	10.8	137.8	11.5
10 min.	47.6	7.9	64.8	10.8	77.0	12.8	81.6	13.6
15 min.	37.8	9.5	51.0	12.8	60.3	15.1	63.8	16.0
20 min.	32.8	10.9	44.3	14.8	52.3	17.4	55.4	18.5
30 min.	26.3	13.2	34.8	17.4	41.1	20.6	43.5	21.8
60 min.	18.6	18.6	26.2	26.2	32.0	32.0	34.3	34.3
120 min.	11.5	23.0	15.6	31.2	18.5	37.0	19.7	39.4
24 horas.	1.45	34.9	2.12	50.8	2.60	62.5	2.79	67.0

ESTACION PLUVIOGRAFICA: TIPUTINI

Número de Años de Observación: 14

I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviometricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	146.0	12.2	188.3	15.7	217.0	18.1	227.7	19.0
10 min.	118.4	19.7	155.7	26.0	181.5	30.3	191.3	31.9
15 min.	106.1	26.5	136.0	34.0	155.6	38.9	162.8	40.7
20 min.	93.7	31.2	116.3	38.8	131.5	43.8	137.2	45.7
30 min.	77.1	38.6	100.5	50.3	116.3	58.2	122.2	61.1
60 min.	50.1	50.1	67.7	67.7	79.8	79.8	84.4	84.4
120 min.	29.7	59.9	41.0	82.0	49.0	98.0	52.1	104.2
24 horas.	3.90	93.5	6.04	145.0	7.91	189.9	8.63	208.6

ESTACION PLUVIOGRAFICA: PUYO

Número de Años de Observación: 12

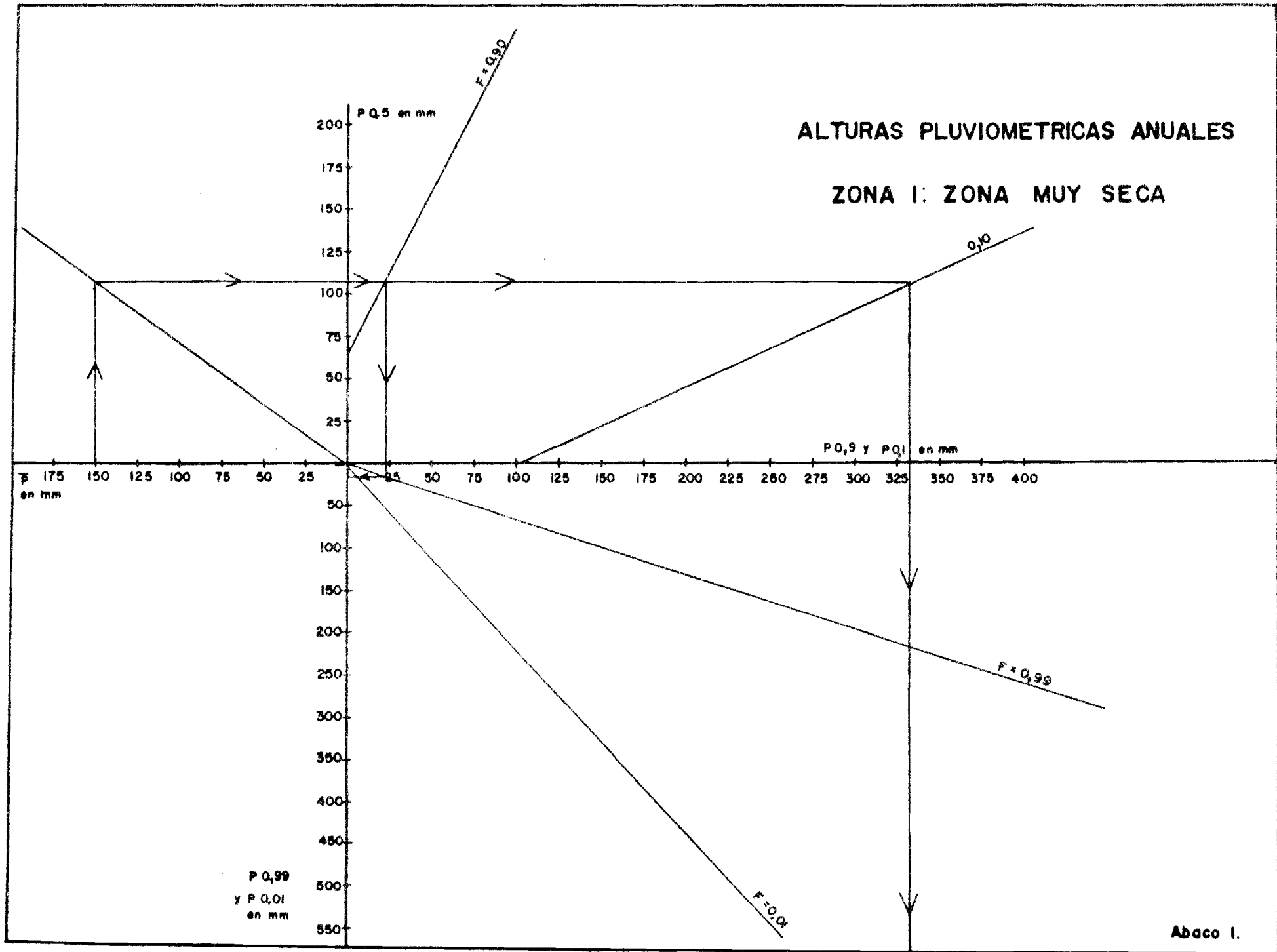
I: Intensidades en mm./h.

H: Alturas Pluviométricas en m.m.

Frecuencia Tiempo	0.50		0.10		0.02		0.01	
	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.	I: mm./h.	H: mm.
5 min.	136.9	11.4	183.6	15.3	219.3	18.3	233.5	19.5
10 min.	111.7	18.6	133.4	22.2	147.7	24.6	153.0	25.5
15 min.	100.8	25.2	126.5	31.6	144.0	36.0	150.5	37.6
20 min.	89.2	29.7	113.9	38.0	130.7	43.6	137.0	45.7
30 min.	72.7	36.4	90.5	45.3	102.5	51.3	107.0	53.5
60 min.	50.9	50.9	63.6	63.6	72.1	72.1	75.3	75.3
120 min.	32.2	64.4	41.0	82.0	47.0	94.0	49.2	98.4
24 horas.	4.57	109.6	5.99	143.7	6.97	167.3	7.35	176.3

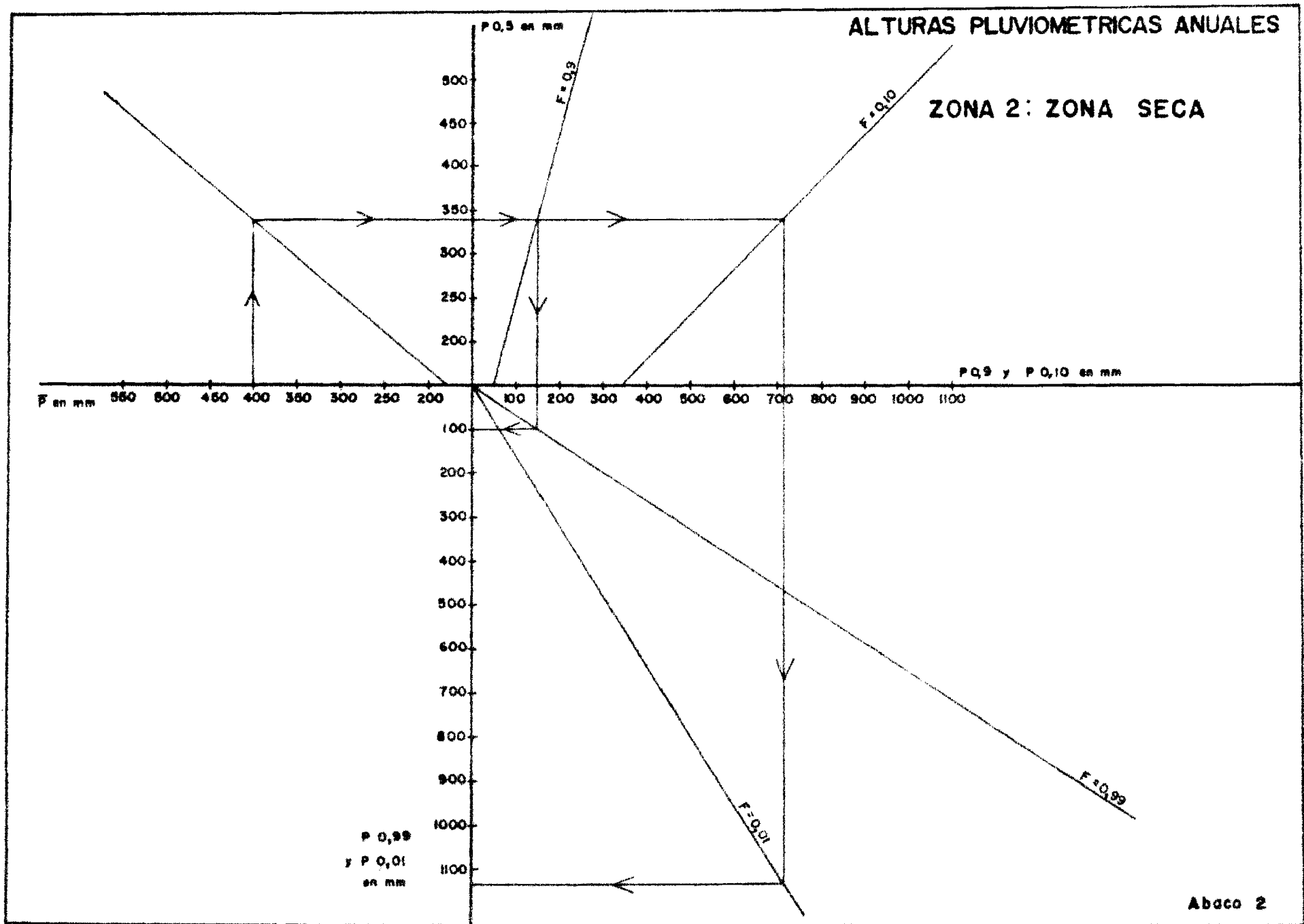
ALTURAS PLUVIOMETRICAS ANUALES

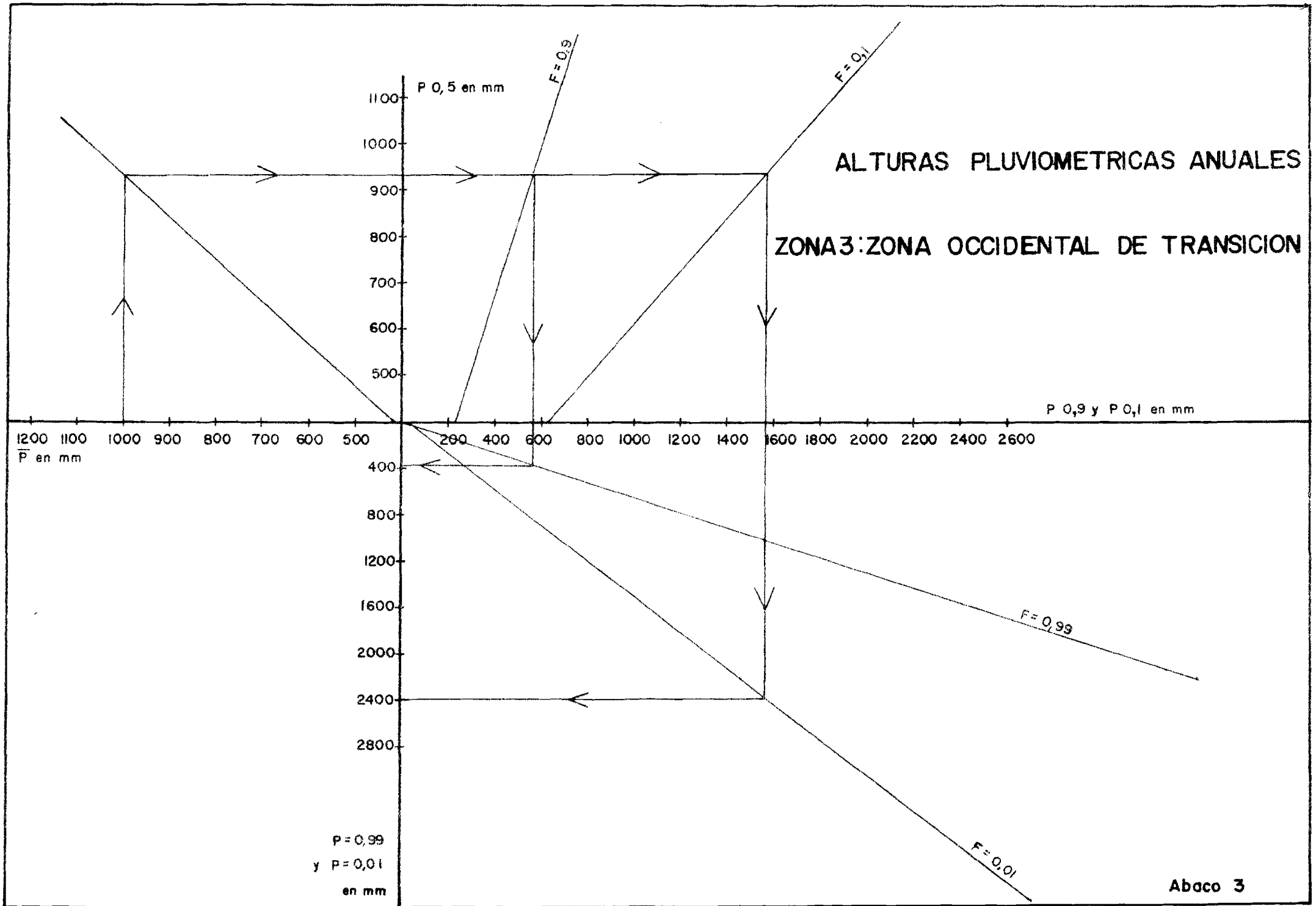
ZONA I: ZONA MUY SECA

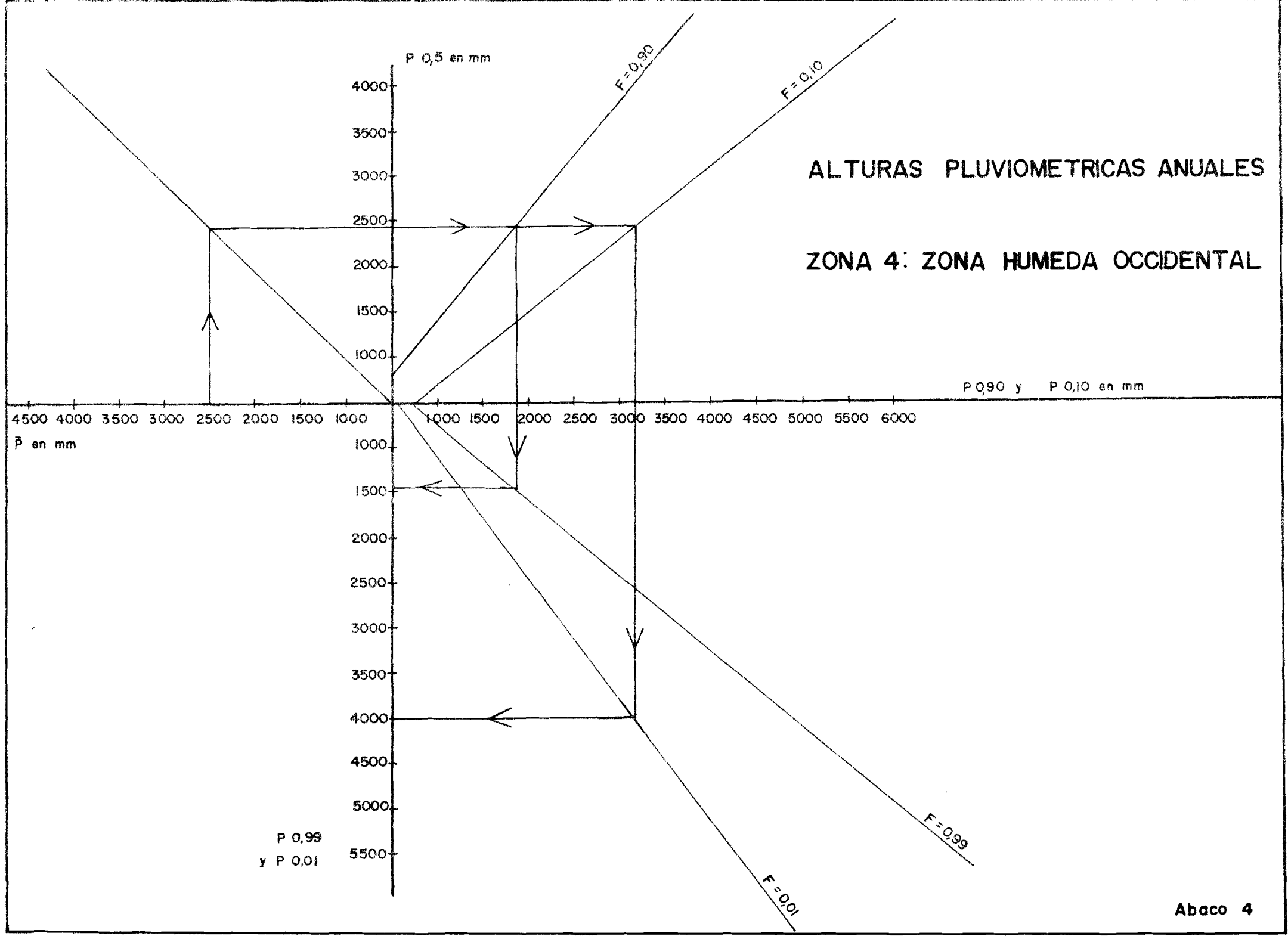


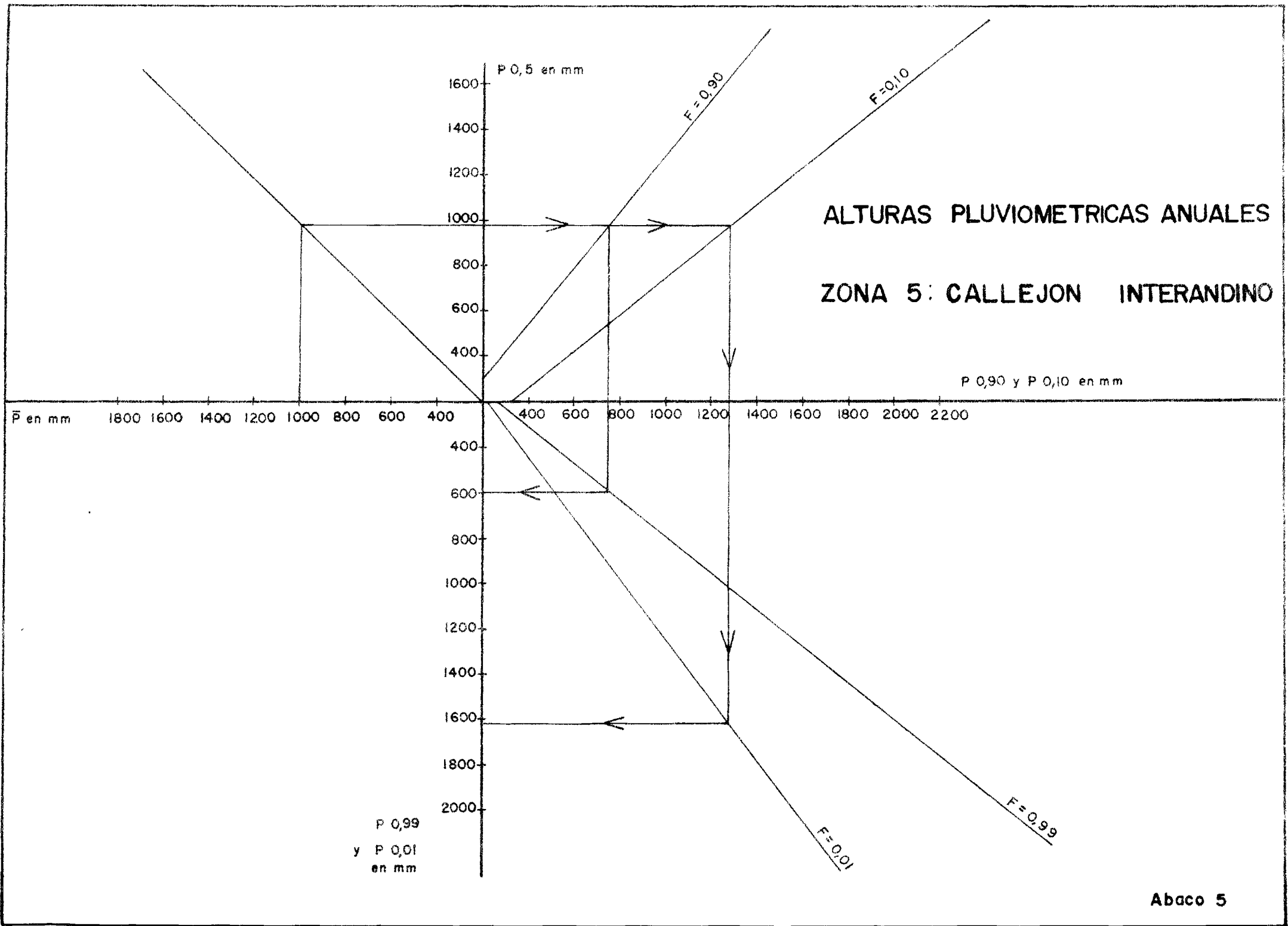
P Q,99
y P Q,01
en mm

Abaco I.



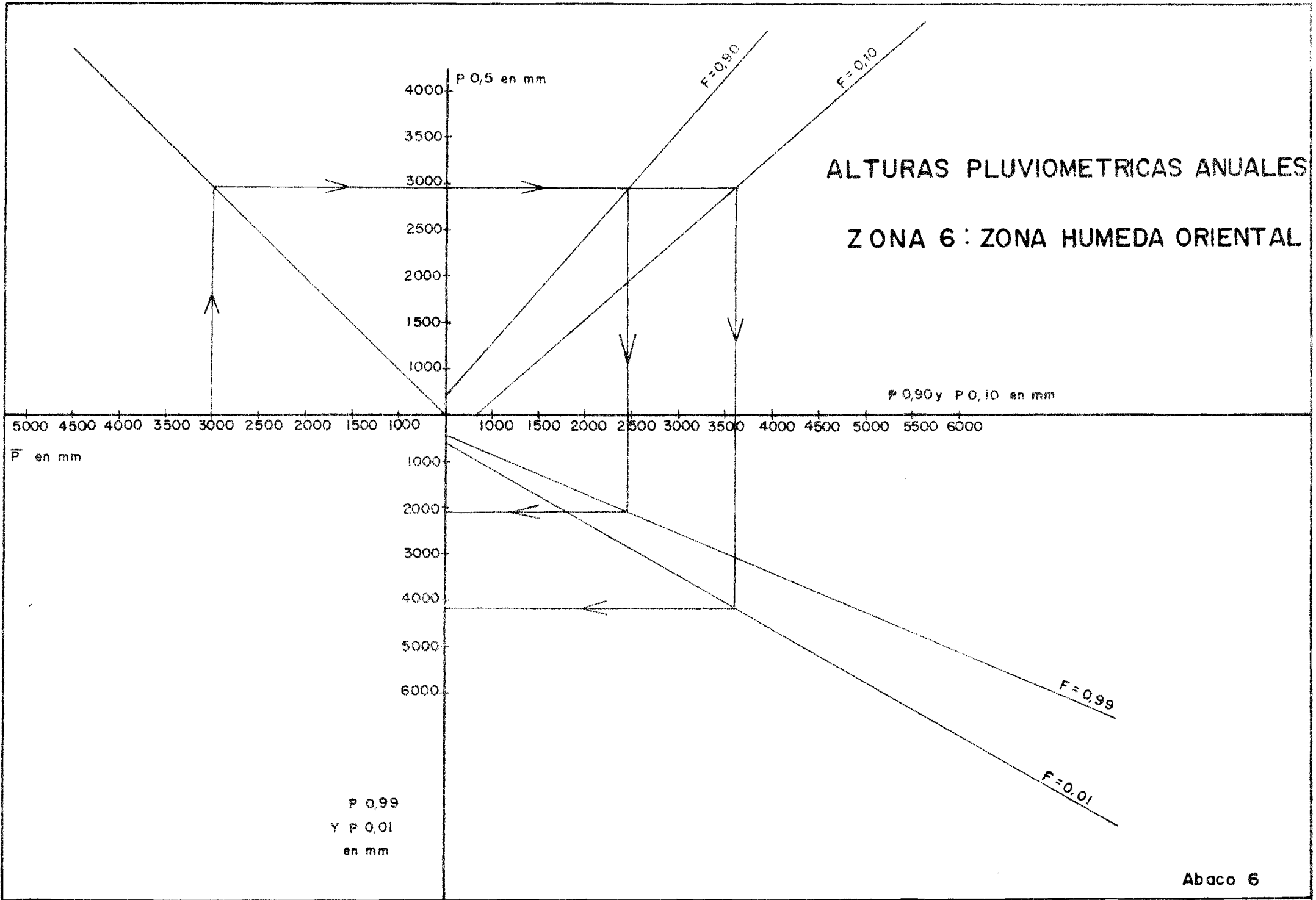


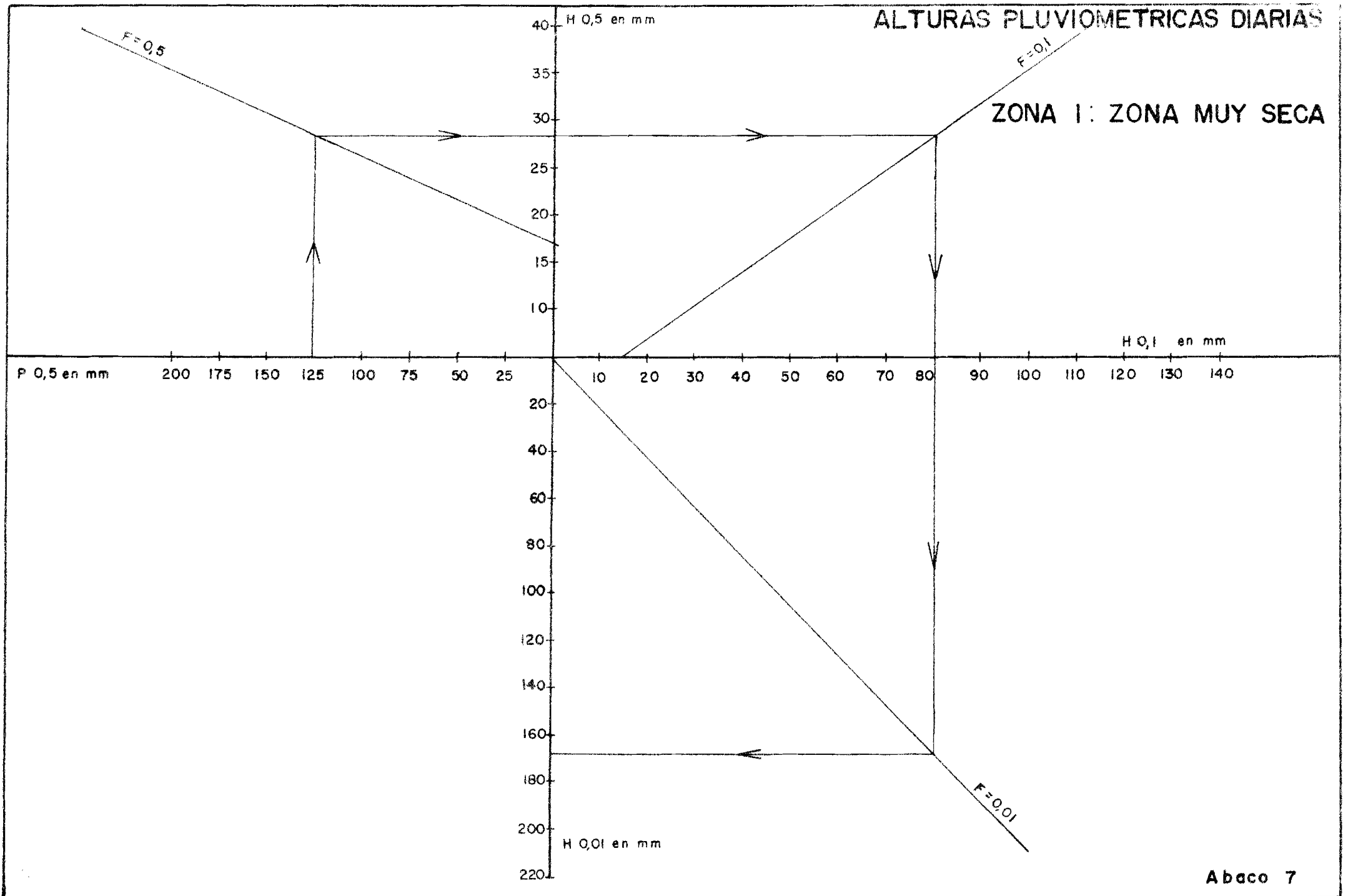


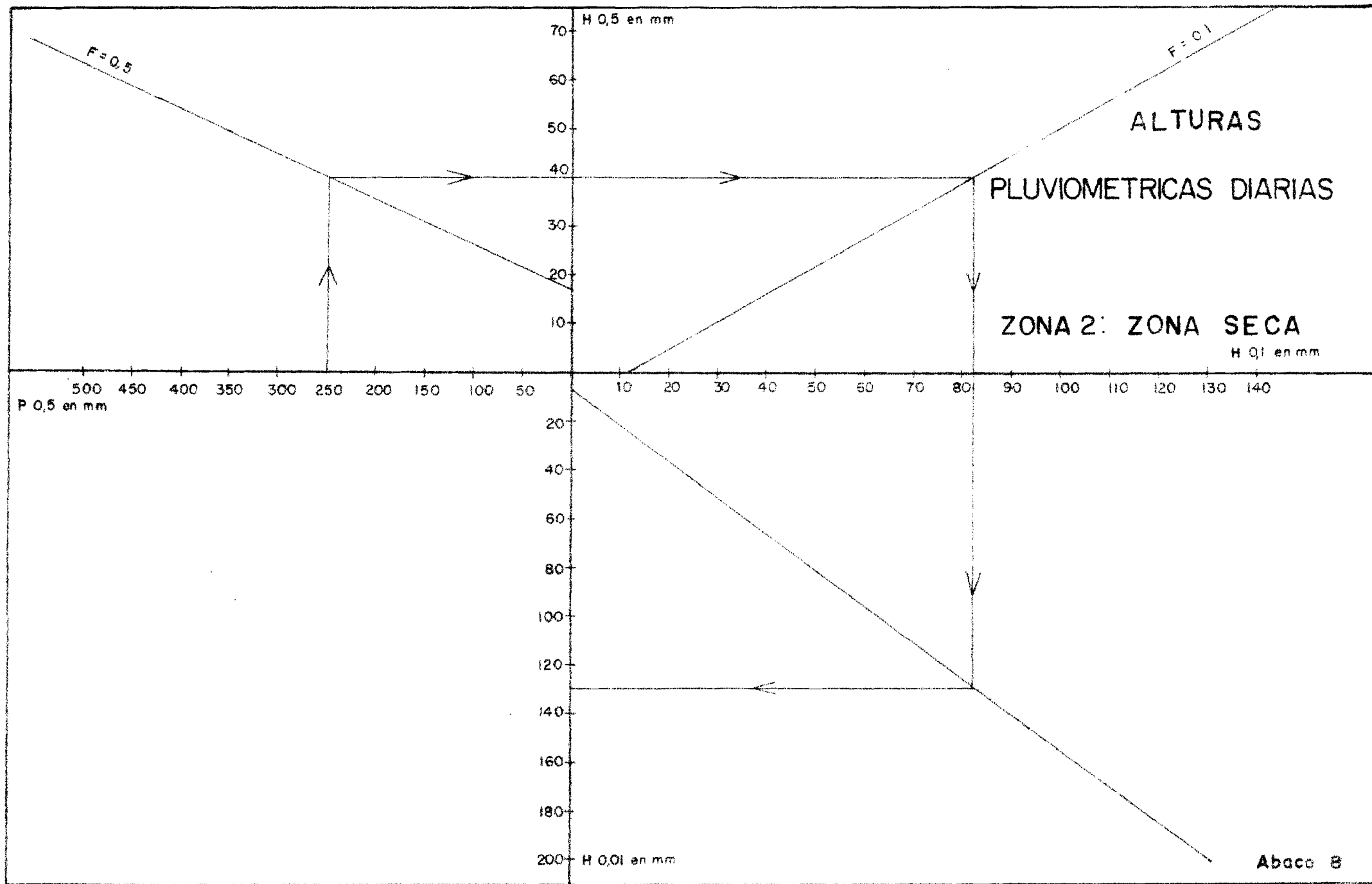


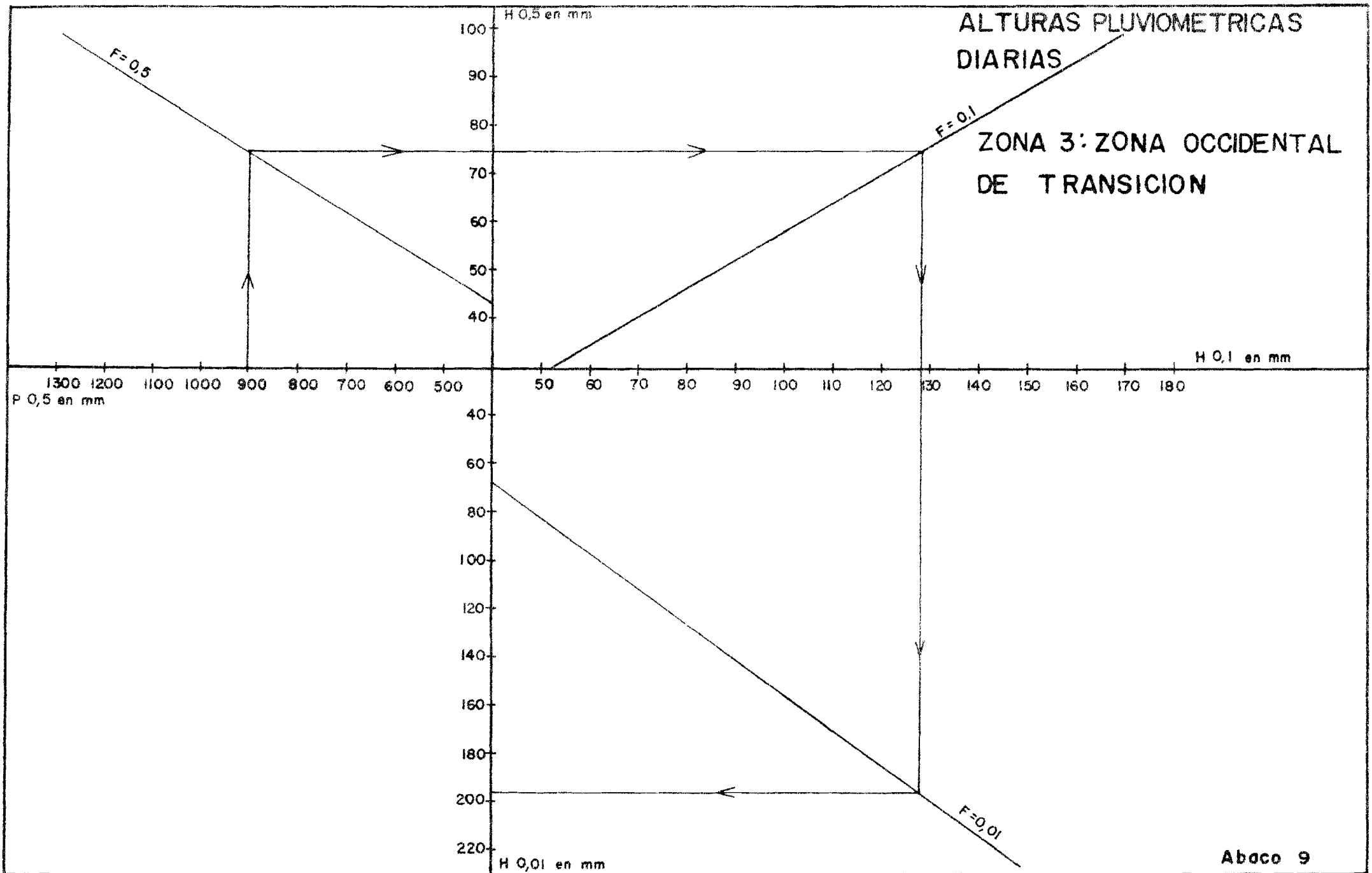
ALTURAS PLUVIOMETRICAS ANUALES

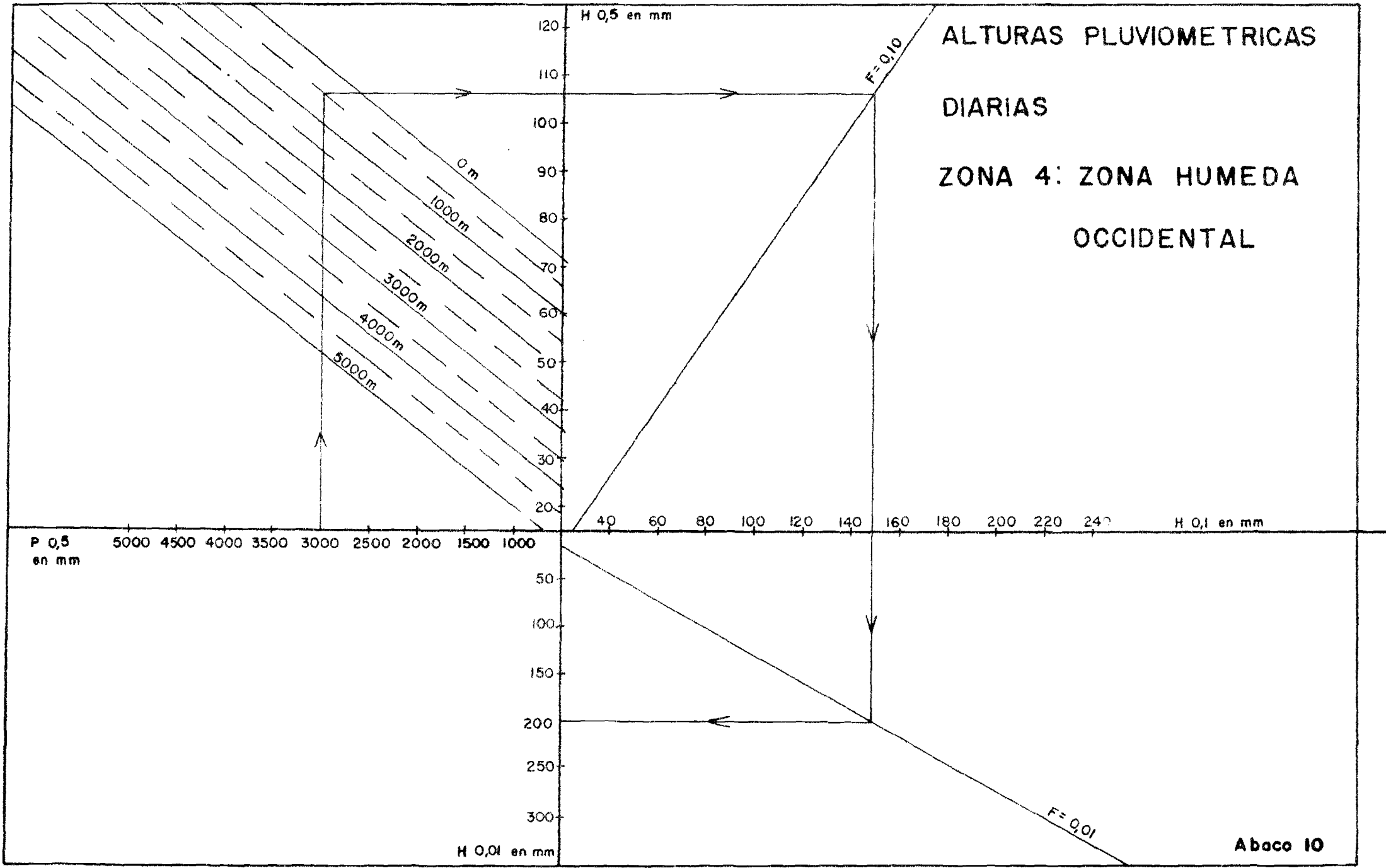
ZONA 6 : ZONA HUMEDA ORIENTAL

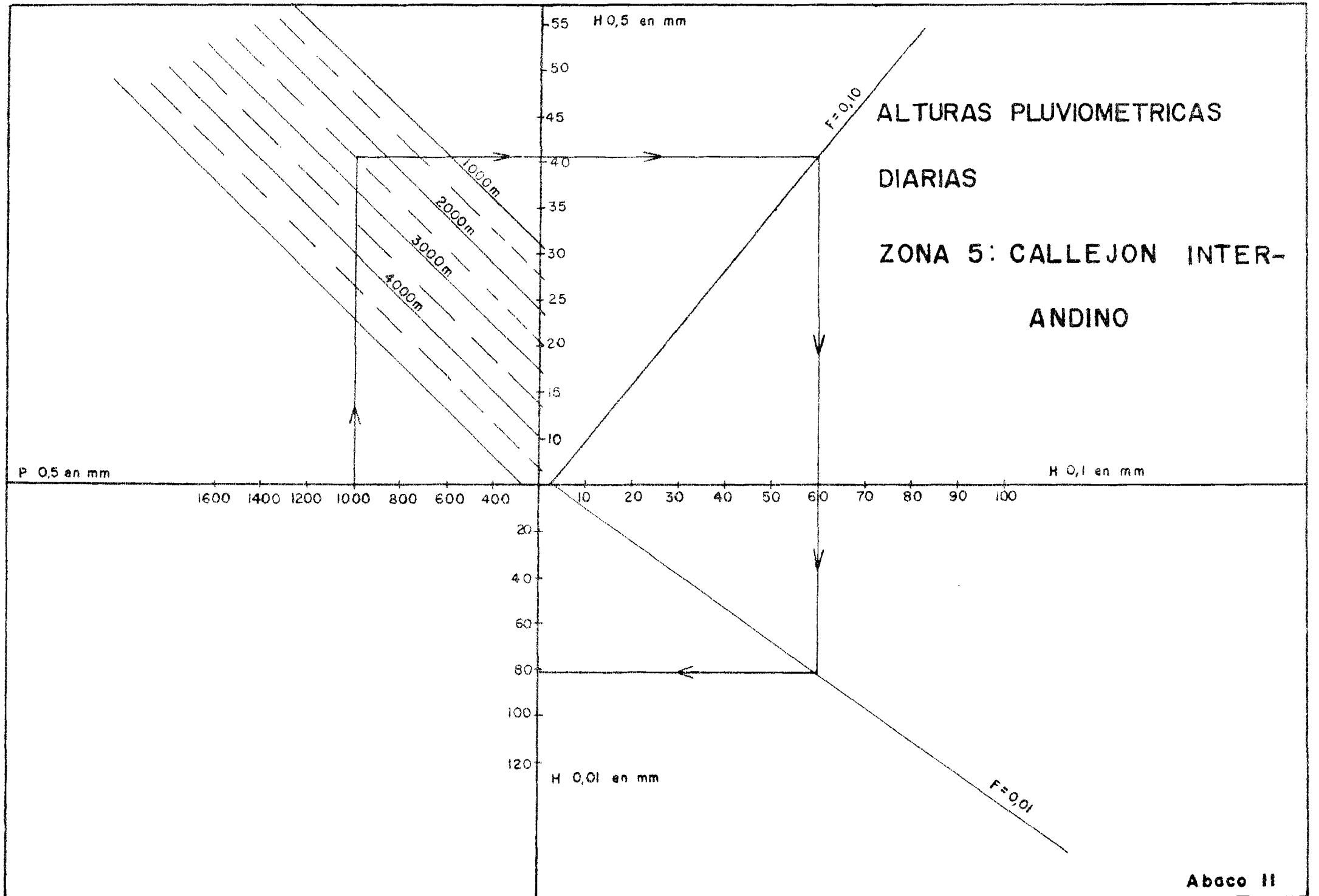


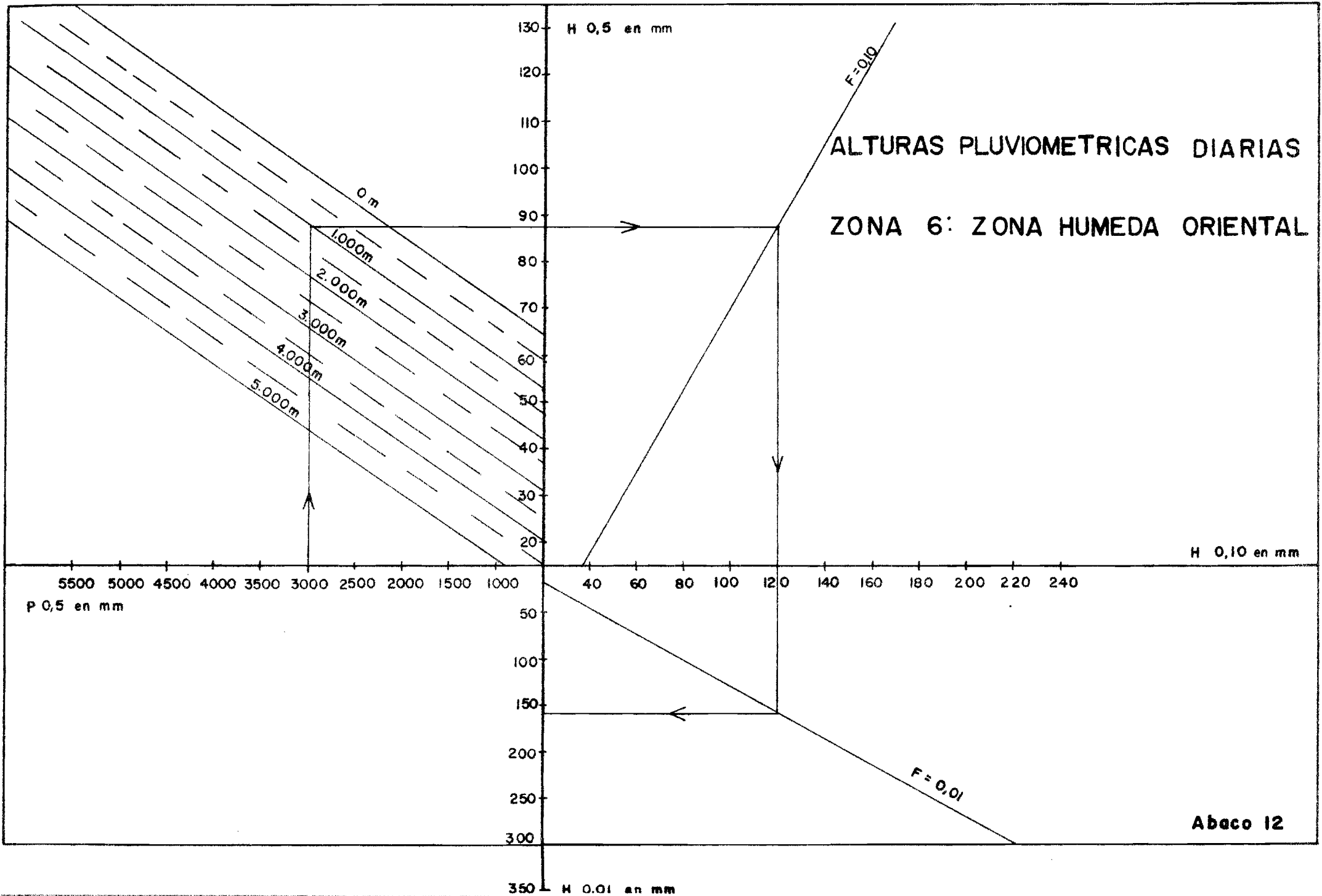


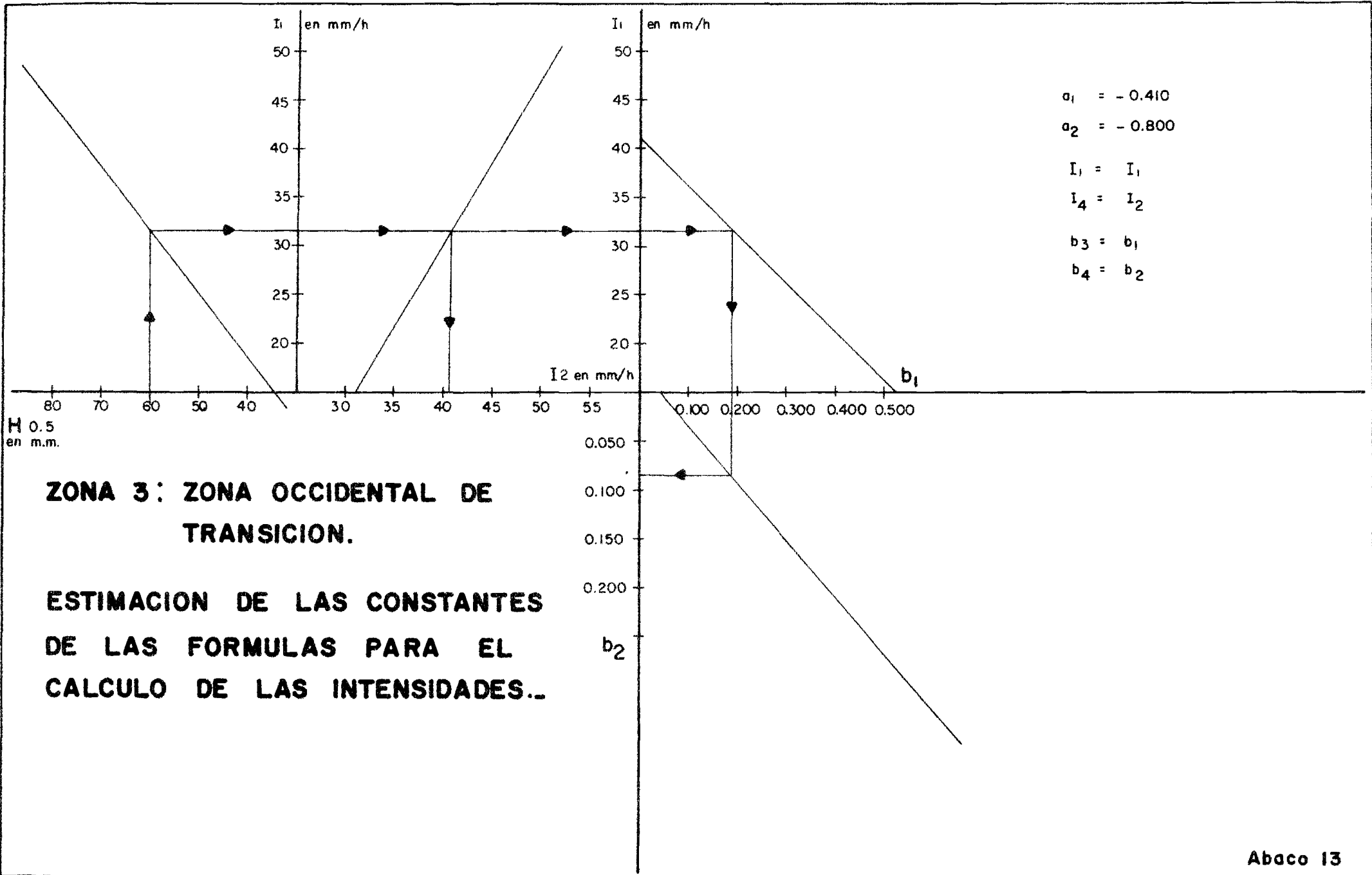


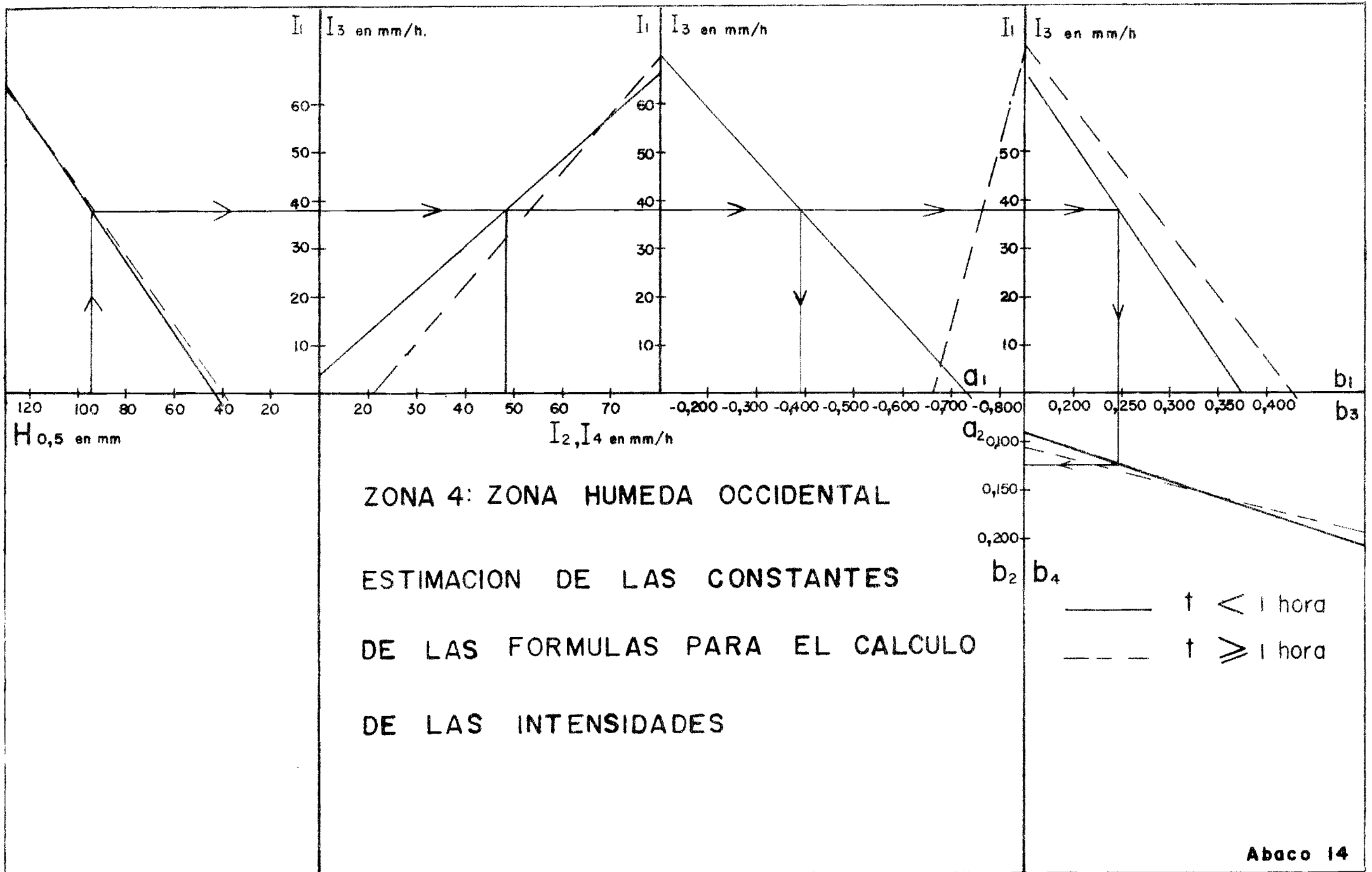


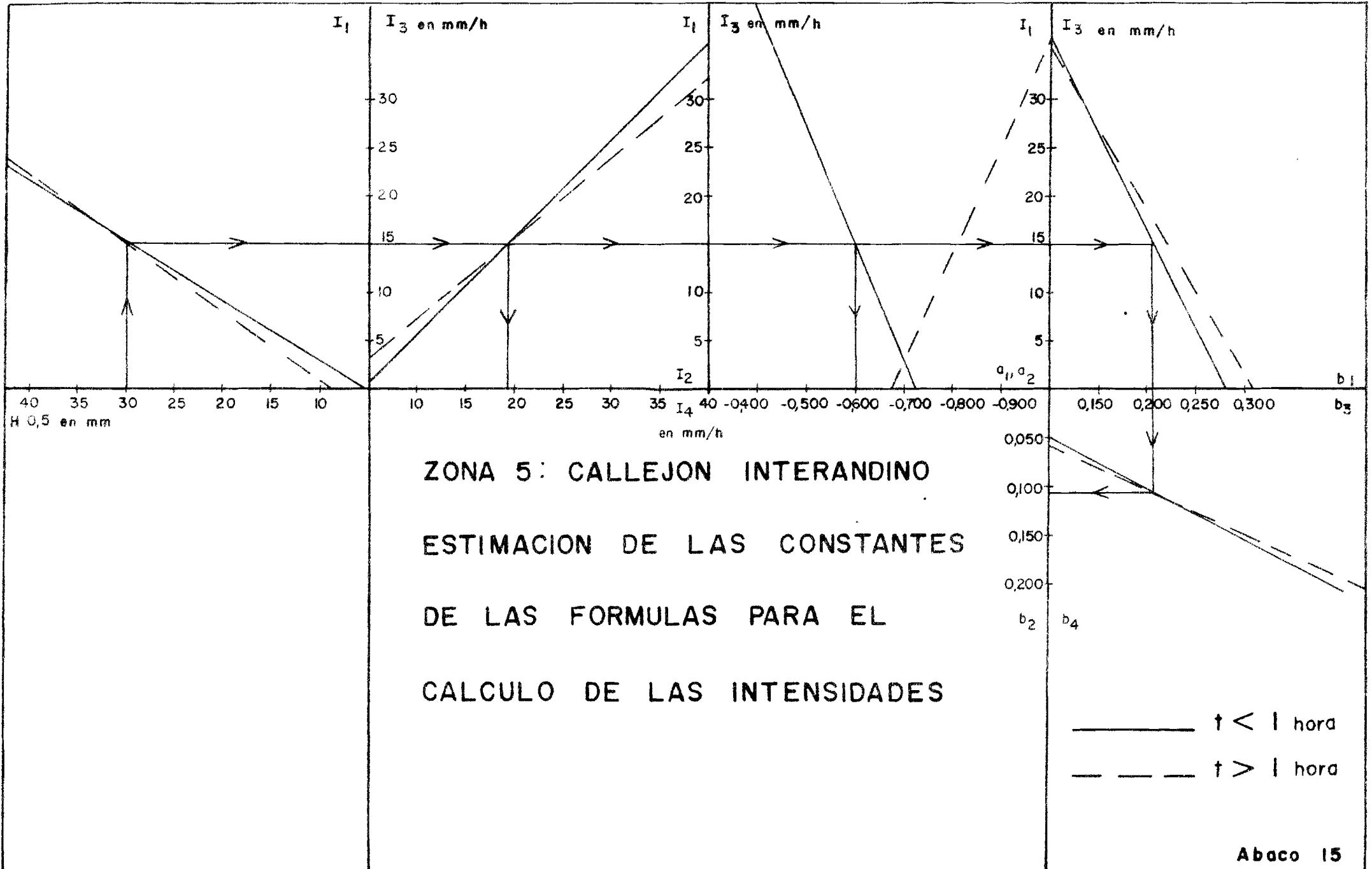


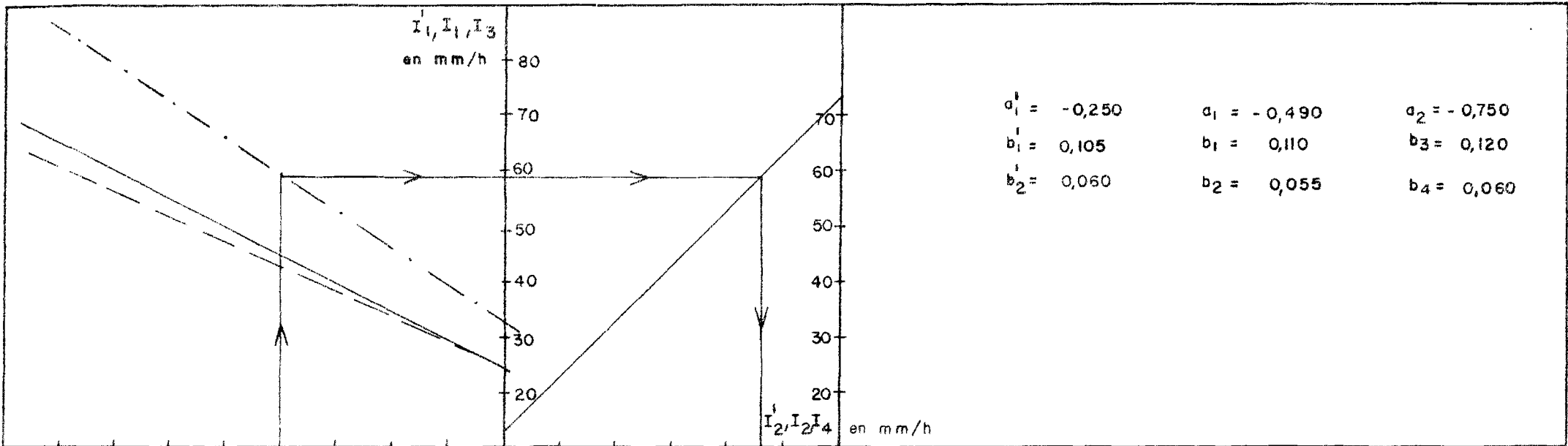












$a_1^i = -0,250$	$a_1 = -0,490$	$a_2 = -0,750$
$b_1^i = 0,105$	$b_1 = 0,110$	$b_3 = 0,120$
$b_2^i = 0,060$	$b_2 = 0,055$	$b_4 = 0,060$

H 0,5 en mm

ZONA 6: ZONA HUMEDA ORIENTAL

ESTIMACION DE LAS CONSTANTES

DE LAS FORMULAS PARA EL

CALCULO DE LAS INTENSIDADES

- · — · $t < 15 \text{ mn}$
- $15 \text{ mn} \leq t < 1 \text{ hora}$
- - - - $t \geq 1 \text{ hora}$