

ESTUDIO : INUNDACIONES EN LA LOCALIDAD DE AREQUIPA OCASIONADAS POR EL INGRESO DE LAS TORRENTERAS

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. CARACTERÍSTICAS GEOGRAFICAS DE LA CIUDAD DE AREQUIPA.....	2
2.1. Coordenadas Geográficas.....	2
2.2. Características climáticas.....	2
2.3. Aspectos fisiográficos de la cuenca.....	7
2.4. Torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa.....	8
2.5. Antecedentes Históricos.....	10
3. OBJETIVOS.....	12
4. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	13
4.1. Influencia de las temperaturas oceánicas sobre las lluvias en Arequipa...	13
4.2. Análisis estadístico pluviométrico.....	14
4.3. Características de las microcuencas.....	17
4.4. Capacidad máxima de transporte por los tramos críticos.....	17
5. METODOS Y RESULTADOS.....	17
5.1. Influencia de las condiciones térmicas del Océano Pacífico Sur sobre las lluvias en Arequipa.....	17
5.2. Probabilidad de riesgo y período medio de retorno. Fases, determinaciones y métodos.....	21
FASE 1. ESTUDIO ESTADÍSTICO PLUVIOMETRICO.....	22
1.1. Ecuaciones de las curvas de frecuencia en función de las precipitaciones para las estaciones pluviométricas de la región.....	22
1.2. Provincias pluviosas.....	25
1.3. Curvas de la frecuencia anual en función de la altitud.....	25
FASE 2. ESTUDIO DE LAS MICROCUENCAS.....	27
2.1. Area de las microcuencas.....	28
2.2. Coeficiente de escurrimiento.....	28
2.3. Coeficiente de pendiente.....	28
2.4. Coeficiente de retardamiento.....	28
2.5. Precipitación máxima.....	28
2.6. Altitud media.....	28
2.7. Caudal máximo.....	29
FASE 3. ESTUDIO DE TRAMOS DE TORRENTERAS Y RIESGO ESTADÍSTICO.....	29
3.1. Capacidad máxima de transporte.....	29
3.2. Precipitación crítica de los tramos.....	34
3.3 y	
3.4. Frecuencia anual media de desborde en los tramos y período medio de retorno.....	37

3.5. Clasificación y ordenamiento de los tramos críticos en relación a su peligrosidad.....	39
3.6. Peligrosidad comparativa de las torrenteras.....	43
6. ANÁLISIS Y COMENTARIOS.....	44
7. CONCLUSIONES.....	47
8. RECOMENDACIONES.....	49
9. BIBLIOGRAFÍA.....	51

ESTUDIO : INUNDACIONES EN LA LOCALIDAD DE AREQUIPA OCASIONADAS POR EL INGRESO DE LAS TORRENTERAS.

Elaborado por los especialistas:

Dr. Jaime Fuse Fernández-Dávila , e

Ing. Alfredo Benites Montufar.

Supervisión General :

Ing. Roberto Kosaka Masuno.

1. INTRODUCCIÓN.

La Región de Arequipa y especialmente la localidad de Arequipa (Cercado y distritos aledaños) a pesar de sus características climáticas desérticas y semidesérticas con cierta frecuencia y con periodicidad irregular es severamente afectada por precipitaciones pluviales convectivas (chubascos) en la única estación lluviosa del año (verano), las que actuando combinadamente con la considerable pendiente topográfica de la región generan avenidas de ríos y torrenteras que a su vez producen inundaciones en asentamientos humanos y en infraestructuras de producción y de servicios con pérdidas patrimoniales e incluso de vidas humanas y que así mismo ocasiona la frecuente interrupción de servicios públicos críticos como los de saneamiento, energía eléctrica, comunicaciones y transporte, riego agrícola, etc., mereciendo especial importancia los ingresos de las torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa. Por tanto, aparece la perentoria necesidad de realizar estudios actualizados con el fin de evaluar y corregir principalmente el estado de las torrenteras que frecuentemente son obstruidas principalmente por la actividad humana frecuentemente irracional.

Estos estudios permitirán disponer del conocimiento actualizado de los fenómenos y de las características físicas involucradas con el objeto principal de diseñar planes de prevención, asistencia inmediata de emergencia, asistencia mediata y rehabilitación, puesto que es axioma indiscutible en cualquier contexto social que toda inversión realizada en dimensionar los riesgos y adoptar medidas adecuadas relacionadas con la Defensa Civil resulta pequeña en comparación con los costos de los perjuicios ocasionados por los desastres naturales. Así mismo, se presenta la conveniencia de estudiar y concluir respecto a los efectos de la Oscilación Austral El Niño sobre nuestra región, pues en general la ocurrencia del fenómeno El Niño se asocia con fuertes precipitaciones en nuestro país principalmente en los departamentos del norte y centro.

2. CARACTERÍSTICAS GEOGRAFICAS DE LA LOCALIDAD DE AREQUIPA.

2.1. Coordenadas geográficas:

La localidad de Arequipa se encuentra entre las siguientes coordenadas:

Latitud : 16° 19' 44" y 16° 30' 00" SUR ,
Longitud 71° 25' 06" y 71° 35' 00" OESTE y
Altitud : 2 363 m. s.n.m. (Plaza de Armas de Arequipa).

2.2. Características climáticas.

A nivel nacional, las regiones de costa y de sierra presentan condiciones climáticas desérticas y semidesérticas ocasionadas por la barrera de la Cordillera de los Andes que impide el pasaje de masas aéreas húmedas procedentes del sudeste; también de considerable influencia es el hecho de que las masas húmedas y frías del vecino Océano Pacífico al ingresar a las zonas continentales peruanas de mayor temperatura que el

mar, al calentarse aumentan su capacidad para contener agua atmosférica, haciendo descender la temperatura del punto de rocío, desapareciendo de esta manera las condiciones termodinámicas para que se presenten lluvias. Esta crítica condición es impuesta por el flujo de la fría Corriente Oceánica del Perú. Sin embargo, durante el verano, las masas húmedas provenientes de los océanos Pacífico y Atlántico incluyendo la cuenca amazónica, originadas por la mayor evaporación estival, se condensan en las alturas andinas, produciendo precipitaciones pluviales en la sierra peruana, en la que también se encuentra ubicada la localidad de Arequipa.

Las especificaciones climáticas de la localidad de Arequipa son las siguientes:

Clasificación de Koppen : **BWkw**, siendo BW: clima árido, k: temperatura media anual inferior a 18° C. w : invierno seco .

Clasificación de Budyko : **$E/p > 0.97$** , siendo E : evaporación y r lluvia, que significa **clima desértico**.

ONERN: Piso Ecológico : **Matorral Desértico Montano Bajo**.

Con respecto al fenómeno de El Niño, existe indicaciones que sus efectos sobre las lluvias en la localidad de Arequipa son muy variados, como se ve en el fragmento siguiente de la Publicación “El Niño y sus Efectos en Arequipa “(Fuse, et al, 1999).

“CANTIDAD DE LLUVIAS REGISTRADAS EN LA REGION AREQUIPA

Se considera la cantidad de lluvias en mm. presentada en la Región Arequipa en función de la altitud (m.s.n.m.) en los meses de Enero y Febrero que son los mas representativos y corresponden a años típicos con relación al fenómeno de El Niño, el resultado se ofrece en la Figura 3. Para fines principalmente de planeamiento de proyectos y de previsión de desastres en la Región Arequipa, es importante conocer panorámicamente los perfiles altitudinales de las lluvias durante años típicos con relación al fenómeno de El Niño. Con este fin se ha preparado en el Instituto Geofísico de la UNSA un esquema que presenta estos perfiles cuya información básica proviene de las siguientes estaciones pluviométricas.

ESTACION	Pampa Blanca	Pampa de Majes	Characato	Chiguata	Pampa de Arrieros	El Frayle	Imata
Altitud (m)	455	1 438	2 452	2 850	3 741	4 015	4 405

Los años considerados son los siguientes:

AÑO	1963	1966	1972	1983	1998
EL NIÑO	Ausente	Moderado, ó Grande*	Grande	Gigante	Gigante
Lluvia Total Anual en Characato (mm)	264	20	536	14	95 [#]

* Existen discrepancia entre las fuentes de información.

el cálculo y el trazado de las curvas se ha utilizado el método de los mínimos cuadrados.

A continuación se presenta el gráfico correspondiente(Figura 3)

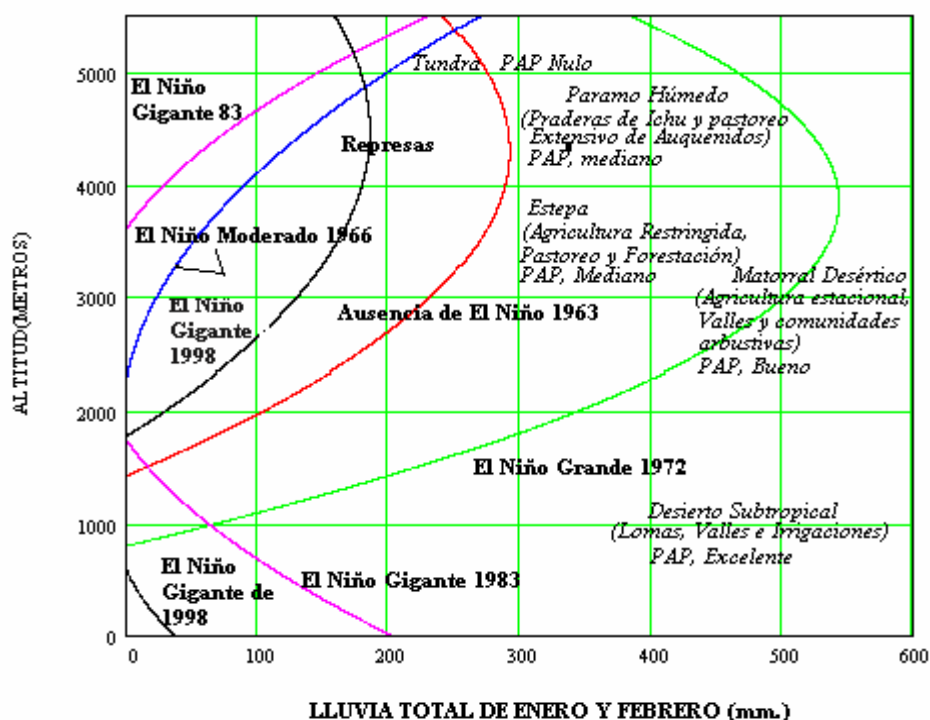


FIGURA 3.-Curvas altitudinales de las lluvias en la Región Arequipa para los años:1963 (rojo), 1966 (azul), 1972 (verde), 1983 (morado) y 1998 (negro). Se indica los pisos ecológicos y sus respectivos potenciales agropecuarios (PAP).

COMENTARIO.

En el gráfico es posible observar que los volúmenes de lluvia que caen en la Región Arequipa en años típicos de El Niño son variables. El año de mayor lluvia corresponde a 1972(El Niño Grande), otro año de considerables lluvias es el de 1963 en el que El Niño no se hizo presente

Lluvia registrada sólo en la estación lluviosa.

Ausente); se observa que en 1966 (El Niño Moderado o tal vez Grande), fue un año de sequía; debe resaltarse que estos tres años, las lluvias cayeron a partir de alturas considerables (800, 1425 y 2260 metros, respectivamente).

Como se observa, los años de El Niño Gigante se caracterizan porque la lluvia inusualmente cae en gran parte sólo en la franja costera (hasta 1775 m en 1983 y hasta 600 m en 1998), presentándose ausencia de lluvias entre los 1775 y 3600 m en 1983, y entre los 600 y los 1775 m en 1998).

Así mismo, en general se observa que los mayores volúmenes de lluvia corresponden a altitudes superiores a los 4000 m, valores compatibles con la estratégica ubicación de las represas de Arequipa y sus cuencas de contribución hidrológica.

El recurso hidrológico almacenado en las represas durante la estación lluviosa del verano es canalizado y distribuido reguladamente y principalmente en el piso ecológico de Matorral Desértico (ubicado entre 2200 y 3600 metros de altitud) la que incluye la campiña de la localidad de Arequipa, y en su mayor parte en el piso ecológico de Desierto Subtropical ubicado por debajo de los 2200 metros de altitud que presenta las mejores condiciones climáticas y donde se ubican las prioritarias irrigaciones de la Joya y de la Pampa de Majes. En los pisos ecológicos más elevados (por encima de 3600 metros de altitud) se desarrolla agricultura muy restringida (piso de Estepa) y hasta nula (piso de Tundra) debido a las limitantes condiciones de temperaturas muy bajas que se presentan casi todo el año.”

En el desarrollo del presente estudio se analizará los efectos del fenómeno de El Niño sobre la ocurrencia y volúmenes de lluvias en la localidad de Arequipa recurriendo a técnicas estadísticas adecuadas de comparación.

2.3. Aspectos fisiográficos de la cuenca general de recepción de las Torrenteras de Arequipa.

La cuenca general de recepción de las torrenteras que afectan a la localidad de Arequipa se encuentra ubicada aproximadamente entre las latitudes 16°11.6' y 16°28.3' SUR y entre las longitudes 71°19.24' y 71°32.1' OESTE.

Esta cuenca general está atravesada por el río Chili con dirección del NORESTE al SUROESTE dividiéndola en dos subcuencas, una en la margen derecha y la otra en la margen izquierda. La cuenca general limita por el norte con el volcán Misti y las faldas del nevado Chachani, con una cota aproximada de 5 000 m.s.n.m y por el sur con las estribaciones de la localidad de Arequipa. Por el Este limita con las estribaciones del Cono Norte de Arequipa.

La penillanura de Arequipa está constituida por materiales aluviales que han rellenado la cuenca de Arequipa y están constituidas por materiales ligeramente cementados de cantos, gravas y arenas de diferente granulometría que subrayasen en las diferentes estructuras presentes en la zona. Tiene una altitud que oscila entre 1 800 y 2 600 m.s.n.m., presentando una pendiente del 5 % inclinada hacia el Suroeste.

Estos aspectos fisiográficos se presentan en el plano que se adjunta al final del presente documento, que incluye así mismo las isoyetas de la máxima precipitación que afectó a la localidad de Arequipa el 8 de Febrero de 1989, plano original elaborado por Cornejo, 1990 y adaptado para los fines del presente trabajo.

2.4. Torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa.

Entre las torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa puede distinguirse las que se ubican en la ribera izquierda del río Chili y aquella que

se encuentra ubicada en la ribera derecha del mismo río: En el presente estudio reciben la denominación que corresponde a los distritos o zonas en donde se localiza su mayor recorrido, lo que permite su inequívoca identificación.

Ribera izquierda:

Polanco (sin denominación tradicional). Torrentera irrelevante hasta épocas pasadas recientes, adquiere importancia actual debido a que recientemente se han instalado en su zona de influencia dos asentamientos humanos de alta significación Independencia y Pampas de Polanco. Se ubica inmediatamente al norte de la Torrentera de San Lázaro

San Lázaro (tradicionalmente Segunda Torrentera) : Se origina en la quebrada del mismo nombre, en dirección noreste de la ciudad de Arequipa, presentando una dirección aproximada NE – SO, hasta su desembocadura en el río Chili a la altura del Puente Grau.

Miraflores (tradicionalmente Tercera Torrentera): Se origina en las Depresiones topográficas occidentales del cerro El Botadero. A partir de su origen hasta el Cuartel Mariano Bustamante presenta un rumbo NO – SE, seguidamente el de NE – SO hasta su desembocadura en el río Chili, situada 150 metros antes del Puente Trébol del inicio de la Variante de Uchumayo.

Mariano Melgar (tradicionalmente Cuarta Torrentera) : Se origina en las quebradas denominadas El Chilcal y Guarangal, presentando una dirección general del Este hacia el Oeste hasta su desembocadura en el río Chili a la altura del Cuartel Arias Araguez en Tingo.

Paucarpata (tradicionalmente Quinta Torrentera) : Tiene su nacimiento en las depresiones del cerro Alto Jesús. Su dirección general es del NE hacia el SO hasta la altura de Ciudad Mi Trabajo, cambiando de rumbo hacia el SE hasta su desembocadura en el río Socabaya entre Bellapampa y Huasacache.

Ribera derecha

Zamácola (tradicionalmente Primera Torrentera o Cerro Colorado) : Se origina en la quebrada Piedraypicho. Su rumbo general es de NO a SE. De las torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa es la única que desemboca en la margen derecha del río Chili en las cercanías del puente de la Variante de Uchumayo. Se encuentra conformada por tres ramales contribuyentes que son de sureste a noroeste (alejándose del río Chili) : Pastoraiz, Gamarra y El Azufral. En el ramal Pastoraiz se han instalado asentamientos humanos y la cruzan varias calles (badenes), considerándose de alto peligro; en el ramal Gamarra el cauce ha sido respetado; El ramal El Azufral, el cauce es muy amplio sin indicaciones de peligrosidad.. El ramal El Azufral se une al Gamarra entre los asentamientos de Villa Paraíso, El Nazareno y Alto Cayma, y ambos se unen al de Pastoraiz un poco más abajo del Parque El Azufral.

La ubicación y la trayectoria de las seis torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa, se presentan en el plano que aparece en la siguiente página.

En general, el material que se encuentra en el cauce de las torrenteras está constituido de pequeños cantos con un diámetro aproximado de 2 a 3 cm, contenidos en un material areno-arcilloso de escasa o nula consolidación, aumentando el diámetro de los cantos a medida que se asciende hacia los orígenes de las torrenteras, llegando a encontrar incluso bolones y rocas, incrementándose el peligro en caso de fuertes avenidas. .

2,5, Antecedentes Históricos.

En esta sección se reproduce a continuación inmediata los antecedentes históricos presentados por Cornejo, 1990.

“CAPITULO III

2.1. Antecedentes históricos.

A lo largo de su historia, la ciudad de Arequipa, ha sido afectada muchas veces por fuertes precipitaciones pluviales, las que causan serias destrucciones materiales y, en muchas ocasiones ha cobrado vidas humanas.

Considerando solamente algunos datos obtenidos de las crónicas de las últimas décadas, cabe mencionar las lluvias de Enero y Febrero de 1961 las que ocasionaron muchos desastres y entre lo que podemos destacar es la muerte de dos hombres al haber sido sepultados por el derrumbe de una pared de sillar remojada; el hecho de que muchos barrios resultaron inundados, determinaron lógicamente pérdidas materiales a las familias afectadas; así mismo se produjo el hundimiento de un número considerable de pistas de tránsito. Además, en este ciclo de lluvias, el caudal del río Chili aumentó a 27,381 Lts. / seg. Y esto a pesar del cierre de las compuertas de la represa El Frayle, ya que el volumen de las aguas determinó las continuas descargas de las torrenteras de dicho río; entre otros daños ocasionó el derrumbe parcial del Puente Izcuchaca, con lo que la ciudad de Arequipa resultó aislada de los poblados de la costa norte y sur de la República.

Una de las precipitaciones pluviales que fue particularmente intensa ya que ocasionó la caída de huaycos, destruyó las vías públicas, viviendas rústicas y los canales de regadío en la zona de Characato, en donde la pérdida de los cultivos fue muy significativa; y, en esta fecha, la torrentera de San Lázaro hizo una espectacular entrada que se producía, según los pobladores de esta zona, después de 5 años; igualmente la torrentera de Ichuza registró una violenta entrada dejando a su paso destrucción y pérdidas materiales. Posteriormente en este mismo año en el mes de

Febrero, la ciudad de Arequipa soportó una tempestad de singulares magnitudes, dando lugar a que descendieran un conjunto alarmante de rayos y truenos, granizo y violenta lluvia, lo que ocasionó que por segunda vez en un mismo año se produzca la entrada de las torrenteras, el aumento del caudal del río Chili, inundación de numerosas casas de las zonas bajas de la ciudad, y peligro de inundación de las Urbanizaciones que se encontraban. Relativamente cerca de la ribera del río.

En el período lluvioso del año 1967, el 2 de Febrero, las torrenteras hicieron su entrada poniendo en peligro de ser arrasados veinte barrios marginales, y como siempre, se produjo inundaciones en diversas viviendas ubicadas en la parte baja de la ciudad, en las que el agua alcanzó un metro de altura; además, se produjo la interrupción del servicio eléctrico, paralizando de este modo las actividades de la ciudad y distritos; y el día 9 del indicado mes, la caída de un huayco en el lecho del río Chili cortó el suministro de agua en la Planta N° 4 de la Central Eléctrica dejando de esta manera a oscuras la ciudad. En el distrito de Characato, se registraron lluvias y vientos fuertes que ocasionaron la pérdida de las cosechas de los pobladores. En el año de 1972, dentro del período lluvioso se registraron desbordes en las torrenteras ocasionando graves daños en diversas urbanizaciones; en la torrentera de San Lázaro el agua alcanzó una altura de 8 metros; al igual que en otros años se produjo la inundación de viviendas en el sector bajo de la ciudad; también hubo caída de huaycos que amenazaron dejar la ciudad sin energía eléctrica.

Finalmente de todo lo expuesto, claramente apreciamos que cada vez que ocurren fuertes precipitaciones en la ciudad de Arequipa se generan casi siempre los mismos desastres, como por ejemplo lo ocurrido el 8 de Febrero del año 1989, fecha en que se produjo una precipitación de una magnitud de 37.7 mm / h (medida en la Estación Climática de Characato y en la Estación Pluviométrica de Pampa de Arrieros), ocasionando que todas las torrenteras hicieran su ingreso y a causa de ello el caudal del río Chili

aumentó considerablemente su volumen y debido a algunos obstáculos que existían en su cauce se produjo la inundación del Barrio Obrero, en el que los pobladores que allí tienen sus hogares, perdieron todas sus pertenencias materiales; en el sector de Chilina la entrada de una torrentera del sector cobró una vida humana; el canal de la Tomilla fue rellenado por material de arrastre lo que ocasionó que toda la ciudad estuviera sin servicio de agua durante 20 días; la red de desagües en su mayoría fue averiada; y, a causa de todo esto hubo brotes de epidemias en algunos sectores de la ciudad; por otro lado, el sistema de canales para el regadío del sector agrícola fue destruido y generó de este modo, en los meses siguientes, un desabastecimiento de productos de pan llevar.”

3. OBJETIVOS.

Los principales objetivos del presente estudio son :

- Establecer la influencia de las condiciones térmicas del Océano Pacífico, incluyendo la presencia de El Niño y de La Niña sobre las ocurrencias y los volúmenes de lluvia en la localidad de Arequipa.
- Determinar la frecuencia anual media de desbordes hídricos en tramos críticos de la torrenteras.
- Determinar el período medio de desbordes en los tramos críticos .
- Microzonación que consiste en la clasificación y ordenamiento de los tramos críticos de las torrenteras en función al nivel de peligrosidad.
- Presentar las conclusiones y las recomendaciones pertinentes.

4. FUENTES DE INFORMACIÓN.

Las fuentes de información se clasifican en :

4.1 Influencia de las temperaturas oceánicas sobre las lluvias en Arequipa .

Se considera la calidez o frialdad de las aguas oceánicas del Pacífico Sur incluyendo la ocurrencia de El Niño en sus diferentes magnitudes y de La Niña y los correspondientes valores de precipitación total para los respectivos años desde 1964 hasta 1998. Estos datos se presenta en la tabla siguiente (1) y provienen de Fuse, et al, 1999.

TABLA 1.- Condiciones térmicas del Océano Pacífico Sur incluyendo El Niño(EN) y La Niña(LN) y sus valores correspondientes de precipitación anual total, P(mm/año) en la localidad de Arequipa (medidas en el Observatorio de Characato).

Año	P (mm)	Condición Oceánica térmica	Año	P (mm)	Condición Oceánica	Año	P (mm)	Condición Oceánica
1964	129.2	LN	1976	363.1	EN Peq.	1988	97.1	LN
1965	48.8	Fría	1977	185.9	Normal	1989	295.0	Normal
1966	20.0	EN Moder.	1978	36.0	Normal	1990	111.2	Normal
1967	324.3	Fría	1979	49.0	Normal	1991	8.6	EN Moder.
1968	259.8	Fría	1980	76.6	Normal	1992	40.5	Normal
1969	55.7	EN Moder.	1981	253.9	Normal	1993	136.7	Normal
1970	67.4	LN	1982	62.1	EN Gigante	1994	166.3	Normal
1971	135.0	Fría	1983	13.6	EN Gigante	1995	220.3	Normal

1972	536.3	EN Grande	1984	228.3	Normal	1996	80.7	Normal
1973	299.6	Fría	1985	194.8	Normal	1997	323.8	Fría
1974	270.0	Normal	1986	295.8	EN Moder.	1998	95.5	EN Gigante
1975	317.0	Fría	1987	163.6	EN Moder.	-----	-----	-----

EN Moder. : EN Moderado. EN Peq. : EN Pequeño.

4.2. Análisis estadístico pluviométrico.

Cantidad de precipitaciones \geq a 10, 20, 30, 40, 50 mm. Información proveniente de la Tesis UNSA, para Título de Ing. Geofísico: "Probabilidad de Ocurrencia y Peligrosidad de Fuertes Precipitaciones en la Ciudad de Arequipa" por Javier Cornejo del Carpio, Arequipa, 1990. Esta información se presenta en las siguientes tablas.

Characato.- Altitud : 2452 m.s.n.m.. Período estudiado : 29 años.

Precipitación, P	N	N Anual	N An. Est.	Θ (años)
\geq 10 mm	156	5.38	6.602	0.15
\geq 20 mm	60	2.10	1.741	0.57
\geq 30 mm	24	0.83	0.798	1.30
\geq 40 mm	14	0.48	0.459	2.17
\geq 50 mm	11	0.38	0.299	3.34
\geq 60 mm	6	0.21	0.211	4.80
\geq 70 mm	4	0.14	0.157	6.40
\geq 80 mm	3	0.10	0.121	8.30

N An. Est. : Valores estimados con las ecuaciones que aparecen posteriormente. Θ (años) : período medio de retorno.

La Pampilla.- Altitud : 2 370 m. Período estudiado : 19 años.

Precipitación, P	N	N Anual	N An. Est.	Θ (años)
≥ 10 mm	33	1.74	1.637	0.61
≥ 20 mm	5	0.26	0.242	4.13
≥ 30 mm	1	0.05	0.079	13.20
≥ 40 mm	1	0.05	0.036	27.80
≥ 50 mm			0.0194	51.50
≥ 60 mm			0.0120	84.80
≥ 70 mm			0.0053	188.70

Socabaya.- Altitud : 2 340 m. Período estudiado : 11 años,

Precipitación, P	N	N Anual	N An. Est.	Θ (años)
≥ 10 mm	12	1.10	1.163	0.86
≥ 20 mm	6	0.60	0.502	1,99
≥ 30 mm	2	0.18	0.217	4.61
≥ 40 mm	1	0.10	0.094	10.64
≥ 50 mm			0.0405	24,70
≥ 60 mm			0.0175	57.14
≥ 70 mm			0.0075	133.30

Imata - Altitud : 4 495 m. Período estudiado : 20 años,

Precipitación, P	N	N Anual	N An. Est.	Θ (años)
≥ 10 mm	345	17.25	17.253	0.06
≥ 20 mm	81	4.05	4.049	0.25
≥ 30 mm	19	0.95	0.950	1.10
≥ 40 mm			0.223	4.50

El Frayle - Altitud : 4 015 m. Período estudiado : 15 años

Precipitación, P	N	N Anual	N An. Est.	Θ (años)
≥ 10 mm	124	8.3	8.257	0.12
≥ 20 mm	15	1.0	1.014	0.99
≥ 30 mm	4	0.3	0.297	3.37
≥ 40 mm			0.125	8.00

Chiguata - Altitud : 2 850 m. Período estudiado : 9 años

Precipitación, P	N	N Anual	N An. Est.	Θ (años)
≥ 10 mm	33	3.7	3.636	0.28
≥ 20 mm	9	1.0	1.035	0.97
≥ 30 mm	3	0.3	0.295	3.39
≥ 40 mm			0.084	4.17
≥ 50 mm			0.024	41.70

Pampa de Arrieros - Altitud : 3 741 m. Período estudiado : 19 años

Precipitación, P	N	N Anual	N An. Est.	Θ (años)
≥ 10 mm	94	5.0	5.529	0.18
≥ 20 mm	22	1.2	1.033	0.97
≥ 30 mm	7	0.4	0.387	2.58
≥ 40 mm	4	0.2	0.193	5.18
≥ 50 mm	1	0.1	0.112	8.92
≥ 60 mm			0.072	13.90

4.3. Características de las microcuencas.

Áreas, altitudes promedio, precipitación máxima correspondientes a las microcuencas y caudal máximo al inicio de torrentera : información

proveniente de la Publ. UNSA “Peligrosidad de las Torrenteras de Arequipa (Fuse et al, 1991)

4.4. Capacidad máxima de transporte por los tramos críticos de las torrenteras.

En base a mediciones del área seccional de los tramos críticos. Trabajo de Campo realizado por el Ing. Alfredo Benites M. y asistentes. Esta información se presenta en el capítulo de Métodos y Resultados.

5. METODOS Y RESULTADOS.

5.1. Influencia de las condiciones térmicas del Océano Pacífico Sur sobre las lluvias en Arequipa.

En el apartado 2.2 se presenta indicaciones en el sentido que los efectos de las condiciones térmicas del Océano Pacífico Sur tienen una influencia muy variada sobre las precipitaciones presentadas en Arequipa. En el presente apartado se presenta el análisis estadístico para probar la hipótesis que las condiciones térmicas del Océano. Pacífico Sur tienen influencia sobre las lluvias que ocurren en Arequipa..

TABLA 2.- Distribución de volúmenes de lluvia total en mm (P) correspondientes a Arequipa en función de las condiciones térmicas del Océano Pacífico Sur. Se indica las ocurrencias de El Niño (EN) y de La Niña (LN).

EN Gigante		EN Grande		EN Moder.		T. Normal		T. Fría		LN	
Año	P	Año	P	Año	P	Año	P	Año	P	Año	P
1982	62.1	1965	48.8	1969	55.7	1966	20.0	1967	324.3	1964	129.2
1983	13.6	1972		1976		1974		1968		1970	

	536.3	363.1	270.0	259.8	67.4
1998 95.5		1986 295.8	1977 185.9	1971 135.0	1983 97.1
		1987 163.9	1978 36.0	1973 299.6	
		1991 8.6	1979 49.0	1975 317.0	
			1980 76.6	1997 323.8	
			1981 253.9		
			1984 228.3		
			1985 194.8		
			1989 295.0		
			1990 112.2		
			1992 40.5		
			1993 136.7		
			1994 166.3		
			1995 220.3		
			1996 80.7		
Media 57.07	292.55	177.42	147.89	276.58	97.90
D.st 41.18	344.71	151.65	91.17	73.48	30.91

La variabilidad dentro de cada grupo es muy grande tal como expresan los elevados valores de la desviación típica (D.St).

Seguidamente, para probar la igualdad de todas las medias aritméticas entre sí, se recurre al Análisis de Varianza, el cual arroja los valores y estadísticas que aparecen en la siguiente tabla (Tabla 3).

TABLA 3.- Resultados del Análisis de Varianza para comprobar si las medias de los 6 grupos considerados son iguales entre sí.

	Suma de Cuadrados	Grad. Libert.	Cuadrado Medio	Estadística F
Medias	$1176\ 004.774 - 1\ 015\ 856.681 = 160\ 148.093$	5	32\ 029.619	$F_o = 32029.619 / 12682.193$
Intra	$1543\ 788.360 - 1\ 176\ 004.774 = 367\ 783.586$	29	12\ 682.193	$F_o = 2.526$
TOTAL	$1543\ 788.360 - 1\ 015\ 856.681 = 527\ 931.679$	34		$F_{t0.95} = 2.53$

Con un nivel de confianza del 5 % que corresponde a un percentil 0.95 de F tabulada a con grados de libertad $v_1=5$ y $v_2=29$ se obtiene el valor crítico de 2.53. Nuestra F observada es igual a 2,526 que virtualmente es igual al valor crítico, hecho que hace dudar entre aceptar o no la hipótesis planteada de igualdad de medias de todos los grupos o categorías, por lo que se hace necesario ingresar al análisis individual de todas las medias entre sí, recurriendo a la prueba de t de Student, cuyos resultados aparecen a continuación.

GRUPOS	1	2	3	4	5	6
1	Med :57.07 D.St :41.18 N : 3	$t_o = -1.248$ $p > 0.1$	$t_o = -1.307$ $p > 0.1$	$t_o = -1.663$ $p > 0.05$	$t_o = -4.712$ <u>$p < 0.005$</u>	$t_o = -1.373$ $p > 0.1$
2		Med.:292.55 D.St.:344,781 N : 2	$t_o = 0.670$ $p > 0.1$	$t_o = 1,563$ $p > 0.05$	$t_o = 1.721$ $p > 0.05$	$t_o = 1.063$ $p > 0.1$
3			Med.:177.42 D.St.:151.65 N : 5	$t_o = 0.540$ $p > 0.1$	$t_o = -1.424$ $p > 0.05$	$t_o = 0.870$ $p > 0.1$
4				Med.:147.89 D.St.: 91.17 N : 16	$t_o = -3.087$ <u>$p < 0.005$</u>	$t_o = 0.921$ $p > 0.1$
5					Med.:276.58 D.St.: 73.48 N : 6	$t_o = 3.932$ <u>$p < 0.005$</u>
6						Med.: 97.90 D.St.: 30.91 N : 3

1 : EN Gigante. 2 : El Niño Grande. 3 : El Niño Moderado. 4 : Temperatura Normal. 5. Temperatura Fría. 6. La Niña.

CONCLUSIONES.

1. La media aritmética de la categoría Temperatura Fría es estadísticamente superior a las medias de las categorías EN Gigante, Temperatura Normal y La Niña (en la Tabla los correspondientes valores de p están subrayados).
2. Las restantes comparaciones no evidencian diferencias significativas.

3. Como se observa en la Figura 3 de Fuse et al, 1999, en los años de El Niño Gigante, las precipitaciones se concentran casi exclusivamente en la zona costera del Departamento de Arequipa, produciéndose sequías por encima de la altitud de aproximadamente 1 000 metros, afectando por tanto a la localidad de Arequipa.

4. Como conclusión de este aspecto particular se puede establecer que en general la Oscilación Austral El Niño (ENSO) no tiene marcada influencia sobre la magnitud de las precipitaciones pluviales en la zona de Arequipa. Sin embargo, la media de la categoría Temperatura Fría aparece como valor estadísticamente superior, así como la media de la categoría El Niño Grande.

5.2. Probabilidades de Riesgo y Periodo Medio de Retorno. Fases, Determinaciones y Métodos

Las fases y las determinaciones de los parámetros involucrados en el presente apartado se presentan en el flujo grama del gráfico siguiente (Figura 1). Así mismo en el esquema se incluye la metodología utilizada.

Resultados.

Los resultados que se ha obtenido en las tres fases son las siguientes:

FASE 1. ESTUDIO ESTADÍSTICO PLUVIOMETRICO.

1.1. Ecuaciones de las curvas de frecuencia (N) en función de la magnitud de las precipitaciones, P, en mm por día, para las estaciones pluviométricas de la región, basadas en los valores de las Tablas del apartado 4.2.

TABLA 1.1

Estación	Altitud, H (m.s.n.m.)	Ecuación	r
Socabaya	2 340	$N = 2.69444 * 0.91945^P$	-0.990
La Pampilla	2 370	$N = 931.99781 * P^{-2.75532}$	-0.980
Characato	2 452	$N = 552.84065 * P^{-1.922915}$	-0.9997
Chiguata	2 850	$N = 12.76992 * 0.88195^P$	-0.993
P. de Arrieros	3 741	$N = 1 454.95276 * P^{-2.42020}$	-0.997
El Frayle	4 015	$N = 8 757.29540 * P^{-3.02553}$	-1.000
Imata	4 495	$N = 73.51705 * 0.865061^P$	-1.000

Estas Ecuaciones se presentan gráficamente en la Figura 2.

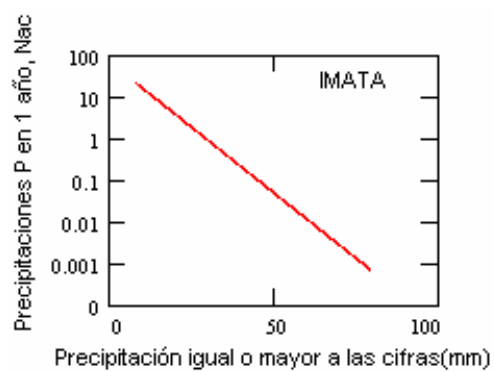
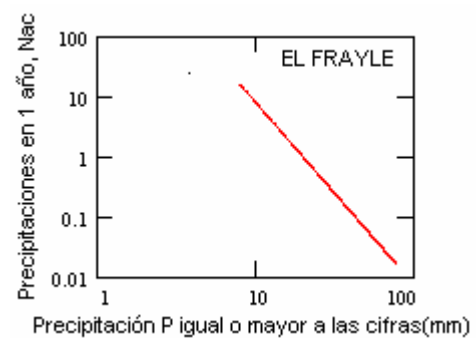
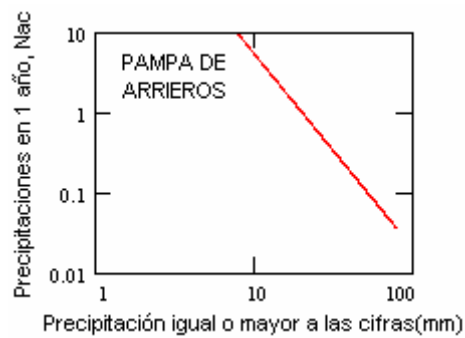
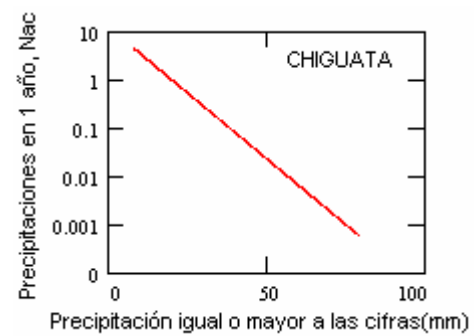
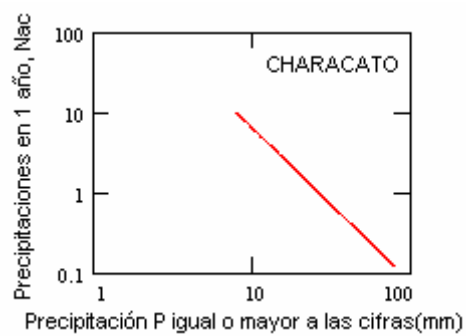
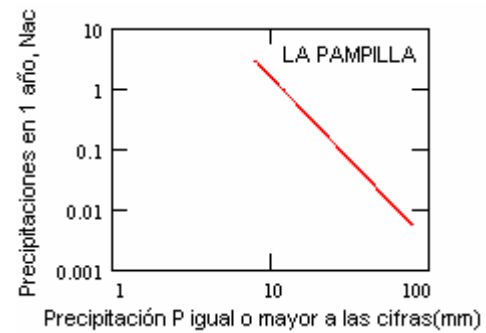
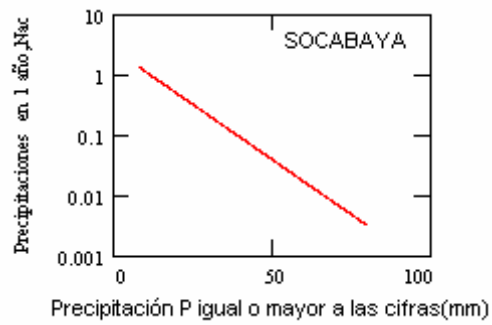


FIGURA 2.- Gráficos de las ecuaciones de la Tabla 1.1 : Cantidad de precipitaciones (N) en función del volumen de precipitación $P \geq P_i$ correspondientes a las estaciones pluviométricas indicadas.

1.2. Provincias Pluviosas

El análisis de los resultados obtenidos con las ecuaciones de la Tabla 1.1 ordenados a manera de perfiles en función de su altitud, ha permitido identificar tres provincias pluviosas:

- Sector Sur, representado por las estaciones de Socabaya y Characato, que para los fines del presente estudio carece de importancia, pues su régimen pluvioso no afecta a la localidad de Arequipa.
- Sector Noreste, que influye en las torrenteras de la ribera izquierda del río Chili y representado por las estaciones de Imata, El Frayle y La Pampilla.
- Sector Noroeste que influye en la torrentera Zamácola de la ribera derecha del río Chili y representado por las estaciones de Imata, Pampa de Arrieros y La Pampilla.

1.3 . Curvas de la frecuencia anual ,N, de la precipitación en función de la altitud en metros, H.

TABLAS 1.3.

a) Ribera Izquierda.

P (mm/día)	E c u a c i ó n	r
$P \geq 10$	$N = H/(2421.26579-0.480748341H)$	1.0
$P \geq 20$	$N = H/(27262.6169-5.818053950H)$	1.0
$P \geq 30$	$N = 1/(23.0272799- 0.004888772H)$	1.0
$P \geq 40$	$N = H/(129385.155-24.2908486H)$	1.0

Estas ecuaciones se presentan gráficamente en la Figura 3.

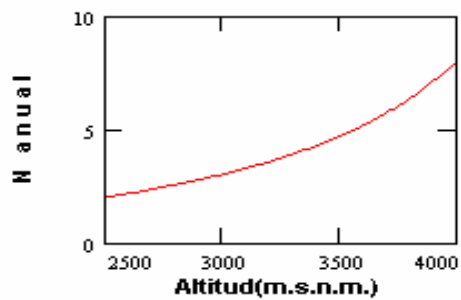
b) Ribera Derecha.

P (mm/día)	E c u a c i ó n	r
$P \geq 10$	$N = H/(2773.848-0.559778H)$	1.0
$P \geq 20$	$N = H/(19\ 688.750-4.20378H)$	1.0
$P \geq 30$	$N = H/(203389.775-89.934585H+0.0101755758H^2)$	1.0
$P \geq 40$	$N = H/(292721.181-134.72883H+0.0164830901H^2)$	1.0

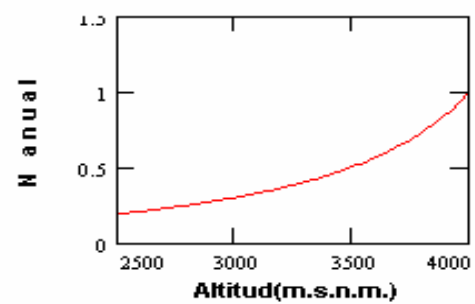
Estas ecuaciones se presentan gráficamente en la Figura 4.

RIBERA IZQUIERDA

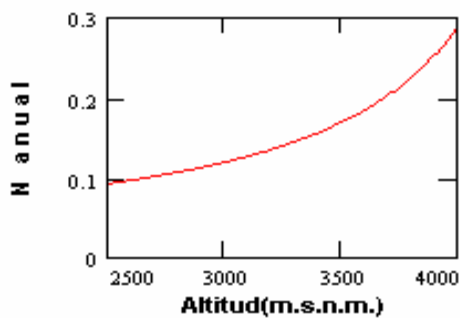
Precipitación igual o mayor a 10 mm



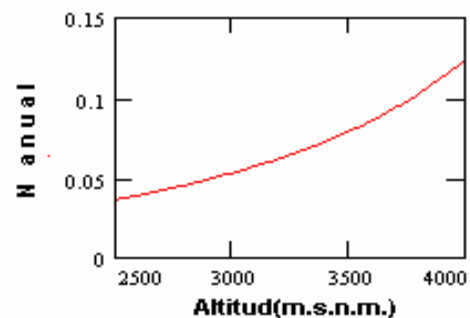
Precipitación igual o mayor a 20 mm



Precipitación igual o mayor a 30 mm

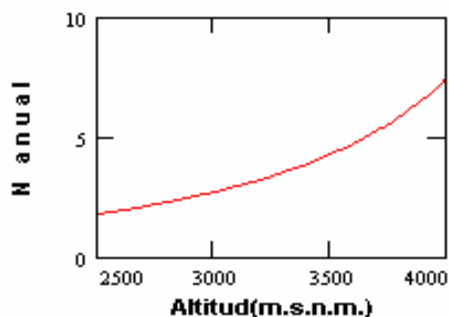


Precipitación igual o mayor a 40 mm

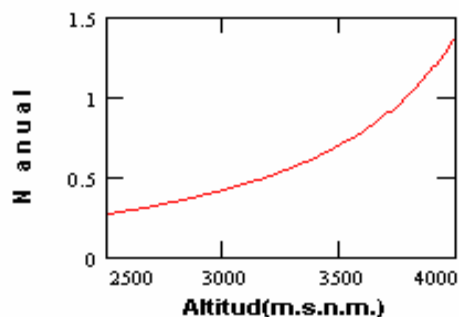


RIBERA DERECHA

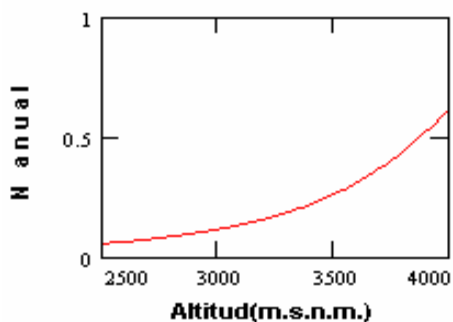
Precipitación igual o mayor a 10 mm



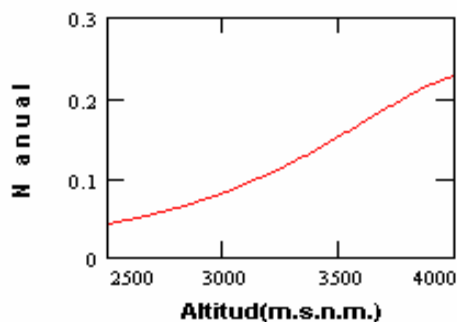
Precipitación igual o mayor a 20 mm



Precipitación igual o mayor a 30 mm



Precipitación igual o mayor a 40 mm



FIGURAS 3 Y 4.- Gráficas que corresponden a las ecuaciones de las Tablas 1.3: de cantidad de precipitaciones por año en función de $P \geq P_i$, para las riberas izquierda y derecha, respectivamente.

FASE 2. ESTUDIO DE LAS MICROCUENCAS.

2.1. Área de las microcuencas en hectáreas, A :

Torrentera	A (has.)
Polanco	2 130
San Lázaro	2 140
Miraflores	720
Mariano Melgar	3 690

Paucarpata	1 540
Zamácola	2 430

2.2. Coeficiente de escurrimiento : $e = 0.65$ (suelo desnudo y casi impermeable).

2.3. Coeficiente de pendiente: $n = 6$ (pendiente supercrítica).

2.4. Coeficiente de retardamiento : $k = 1/A^{(1/n)} = 1/A^{(1/6)}$

2.5. Precipitación máxima, P_{mx} , en mm por hora, valor determinado en base a las isoyetas del evento del 8 de Febrero de 1989 (P_{mx}) provenientes de Cornejo, 1990.

Torrentera	P_{mx}
Polanco	36.82
San Lázaro	40.64
Miraflores	36.62
Mariano Melgar	40.83
Paucarpata	41.72
Zamácola	17.55

2.6. Altitud media de las microcuencas, H, en metros:

Torrentera	H
Polanco	3 210
San Lázaro	3 726
Miraflores	2 751
Mariano Melgar	3 118
Paucarpata	2 667
Zamácola	2 994

2.7. Caudal máximo de torrentera, Q_{mx} en m^3/s .

Torrentera	Q_{mx} en m^3/s
Polanco	39.48
San Lázaro	43.74
Miraflores	19.64
Mariano Melgar	69.20
Paucarpata	30.40
Zamácola	21.00

FASE 3. ESTUDIO DE TRAMOS DE TORRETERAS Y RIESGO ESTADISTICO.

3.1. Capacidad máxima de transporte

Los valores de los tramos críticos de las torrenteras consideradas en el presente estudio correspondientes a los parámetros C : capacidad máxima de transporte; P : precipitación crítica en mm/hora (precipitación para colmar y desbordar el cauce del tramo que para efectos de utilizar las ecuaciones de la Tabla 3.1 se multiplica P por 1.5 debido al efecto chubasco) se utilizan para calcular la frecuencia anual de desborde y el período medio de retorno para cada tramo, a través de la utilización de las ecuaciones de Tabla 3.2, que se han obtenido con los valores calculados aplicando las ecuaciones de la Tabla 1.3, para las diferentes altitudes promedio de las microcuencas de las torrenteras estudiadas.

Con la finalidad de calcular los valores de C, es necesario disponer de los del área seccional de los tramos de las torrenteras, **a**, elegidos preliminarmente por su potencial peligrosidad mediante la inspección in situ y realizar las medidas y cálculos necesarios; éste trabajo de campo y gabinete fue asumido por el Ing. Alfredo Benites y asistentes. Los puntos o

tramos considerados así como los respectivos valores de **a** se presentan a continuación en la Tabla 3.1.

TABLA.3.1. Puntos o tramos de las torrenteras de Arequipa elegidos por su aparente peligrosidad con sus correspondientes valores de área seccional, **a**, en m².

(i) **Torrentera Polanco.**

Punto	U b i c a c i ó n	Area seccional, a (m²)
1	Avenida 1° de Enero, Pampa de Polanco	4.96
2	Avenida Chilina, a la altura del Grifo Chilina	14.85
3	Desvío hacia el Centro Recreacional Chilina	2.01

(ii) **Torrentera San Lázaro**

Punto	U b i c a c i ó n	Area seccional, a (m²)
1	Complejo Deportivo Alto Selva Alegre	33.66
2	Puente Cahuide, en la calle Cahuide	33.60
3	Al final de la calle Amazonas	30.68
4	200 m antes del Puente La Chabela	6.70
5	A la altura del grifo Alto Selva Alegre	16.80
6	Callejón Ripacha, San Lázaro	23.10
7	Fábrica Mitchell	31.92
8	Puente al ingreso al Molino San Juan	37.80

(iii) **Torrentera Miraflores**

Punto	U b i c a c i ó n	Area seccional, a (m²)
1	Urb. Sta. Rita de Casia, altura de la Manzana A	26.40

2	Puente Sepúlveda	33.75
3	Puente Corrillos, en el Malecón Zolezzi	11.00
4	Puente Mariscal Castilla	26.00
5	Cooperativa Universitaria, Avda. Venezuela	45.00
6	Badén Lambramani	3.56
7	Víctor Lira-Dolores(piso encementado)	27.00
8	Urb. Cabaña María, altura calle Travada	16.50
9	Colegio El Pilar(piso encementado)	9.80
10	Avenida Alcides Carrión(piso encementado)	7.60
11	Terminal Pesquero(estacionamiento de vehículos)	2.40
12	Badén Manzanitos	0.45
13	Puente Limpieza, Avda. Venezuela	13.20
14	Puente Juan José Barriga--Inca Kola	27.72

(iv) **Torrentera Mariano Melgar.**

Punto	U b i c a c i ó n	Area seccional, a (m²)
1	Avenida Brasil	36.00
2	Puente Mariscal Castilla—Avda, Metropolitana	48.00
3	Calle Praga	30.40
4	Puente Avenida Jesús	39.04
5	Badén La Isla—Calle Internacional	3.40
6	Puente Lambramani	27.60
7	Puente Dolores	32.32
8	Puente Avenida Alcides Carrión = Avenida Los Incas	42.00
9	Avenida Los Incas	30.00
10	Avenida Vidaurrazaga	17.40

11	Badén Feria Altiplano—Los Incas	6.00
12	Puente Terminal terrestre	30.00
13	Puerta Ingreso al 1er Terminal Terrestre	25.11
14	Puente Hunter—Terminal Terrestre	33.80
15	A 200 m del Puente de Hunter	3.20
16	Badén Bellavista—Calle Chichis	4.76
17	Puente del Club del Colegio de Abogados	25.50
18	Avda. Alfonso Ugarte, 100 m antes del Cuartel	7.40
19	A 100 m arriba de la desembocadura de torrentera	8.10

(v) **Torrentera Paucarpata**

Punto	U b i c a c i ó n	Area seccional, a (m²)
1	Asentamiento Condesuyos(Fábrica de ladrillos)	20.00
2	Puente Venezuela)(Avda. Venezuela)	3.14
3	Avda. Los Olivos—Julio C. Tello	56.25
4	Jorge Chávez. 300 m antes de Puente Mrcal. Castilla	15.00
5	A 200 m antes del badén de la Avda. Kennedy	13.30
6	Badén Avda. Kennedy	1.00
7	Calle Las Américas, 300 m del badén Pizarro-Colón	8.00
8	Badén Avda. Pizarro—Colón	0.43
9	C.E.I. Mi Perú, Asentamiento Mi Perú	20.40
10	Av. Tupac Amaru (Urb. Dolores), a 300 m del Puente	8.75
11	Puente Dolores	20.25
12	Puente Bartolomé Herrera II	26.25

13	Puente 13 de Enero—Avda. Perú	39.00
14	Urb. Las Casuarinas, a 200 m del Puente 13 Enero	5.20
15	Badén Urb. Porvenir—24 de Julio(SEDAPAR)	0.38
16	Badén Avda. Las Peñas (encementado)	0.86
17	A 300 m antes de Puente La Amistad (Chilpinilla)	1.40
18	Puente de la Avda, La Amistad	17.00
19	Puente de Avda. Paisajista	11.90
20	Los Cristales, Restaurante La Finca	10.00

(vi) **Torrentera Zamácola**

Punto	U b i c a c i ó n	Area seccional, a (m²)
1	Puente Cayma -- Cerro Colorado	12.50
2	Las Caléndulas	2.56
3	A 100 m antes de Puente Juan Pablo II	5.06
4	Puente La Canoa	10.26
5	Puente Concodia, altura Colegio Lord Byron	6.24
6	Señor de la Caña, 300 m antes de Puente Chullo	5.32
7	Puente Chullo	11,50
8	Parque Alipio Ponce, Urb. Juan XXIII	9.68
9	Puente Calle Primavera, Urb. Primavera	14.96
10	Puente Calle Las Orquídeas	23.10
11	Puente Urb. Los Independientes	17.68
12	Puente Tahuaycani, Urb. Víctor Andrés Belaunde	12.09
13	A 300 abajo del Puente Tahuaycani	4.85
14	Puente Urb. El Buen Pastor	7.50

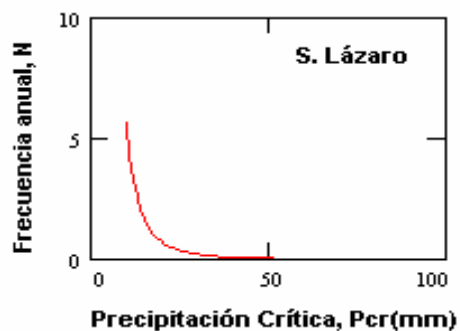
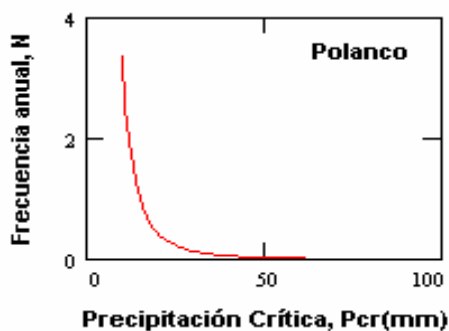
15	Avda. Fernandini, Prolongación del Puente de Fierro	8.75
16	Puente del desvío a la Cervecería	15.60
17	Puente Variante Uchumayo	7.37
18	500 m abajo del Puente de la Variante Uchumayo	5.07

3.2. Precipitación crítica de los tramos

Tabla 3.2. Ecuaciones de la frecuencia anual de desborde las torrenteras ,N, en sus diversos tramos, en función de los volúmenes de lluvia ,P, en mm.

Torrentera	H(m)	E c u a c i ó n	r
Polanco	3 210	$N = 2873.116 * P^{-2.93067}$	0.994
San Lázaro	3 726	$N = 5485.246 * P^{-2.98526}$	0.998
Miraflores	2 751	$N = 1720.710 * P^{-2.87987}$	0.988
M. Melgar	3 118	$N = 2585.939 * P^{-2.92081}$	0.993
Paucarpata	2 667	$N = 1569.705 * P^{-2.87005}$	0.986
Zamácola	2 994	$N = 1106.141 * P^{-2.62730}$	0.986

Estas ecuaciones se presentan gráficamente en la Figura 5.



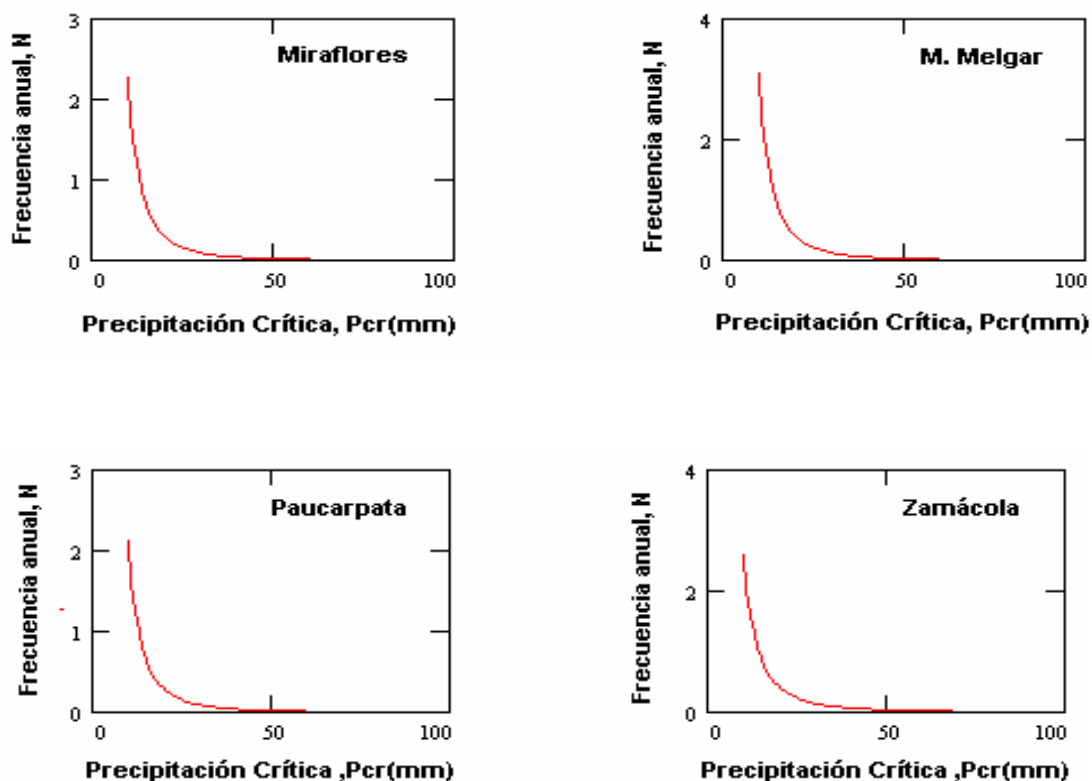


FIGURA 5.- Curvas que corresponden a las ecuaciones de la Tabla 3.1.

Con la finalidad de determinar la capacidad máxima de transporte, C , se utiliza la ecuación:

$$C = -0.0894 + 1.52528a \quad (\text{Cornejo, 1990}),$$

siendo a el área seccional de los tramos de las torrenteras en metros cuadrados, determinada en base a trabajo de campo realizado por el Ing. Alfredo Benites y asistentes y calculada por el mismo Ing.. Estas áreas seccionales se presentan en la Tabla 3.2, así como los respectivos valores de C .

En base a los valores área, A , de e : coeficiente de escurrimiento, de n : coeficiente de pendiente y de k : coeficiente de retardamiento para las

torreteras, se calcula el valor de la Precipitación crítica de cada tramo de torrentera, mediante la ecuación :

$$P_r' = C \cdot 360 / A \cdot e^k \quad \text{en mm/hora, (Fuse, 1991)}$$

Para transformar estos valores en precipitación en mm/día, se multiplican por 1.5, considerando que la duración promedio de los chubascos que producen intensa lluvia tienen una duración confinada en un día a una hora y media. Por tanto:

$$P_r = P_r' \cdot 1.5 \quad \text{en mm/día}$$

Insertando estos valores en las ecuaciones de la Tabla 3.1 se obtendrá los valores correspondientes a la frecuencia anual de desbordes en los tramos críticos de cada torrentera, N y por consiguiente los del período medio de retorno en años, \emptyset , mediante la ecuación :

$$\emptyset = 1/N \quad \text{en años}$$

Los valores de C, P_r' , P_r , N y \emptyset se presentan en la Tabla 3.3. para los tramos seleccionados de las diferentes torrenteras de Arequipa.

3.3. y 3.4. Frecuencia anual media de desborde en los tramos, N, y Período medio de retorno de desborde en los tramos críticos, \emptyset (años).

TABLA 3.3.-

(i) Torrentera de Polanco. A = 2 130 has. k = 0.2788.

PUNTO	a area sec.	C	Pcr'	Pcr	N anual	\emptyset (años)
1	4.96	7.4759888	6.97245008	10.4586751	2.95531284	0.33837365

2	14.85	22.561008	21.0414309	31.5621464	0.11608892	8.6140862
3	2.01	2.9764128	2.7759391	4.16390866	43.9338838	0.02276148

(ii) **Torrentera de San Lázaro. A = 2 140. k = 0.2786.**

PUNTO	a area sec.	C	Pcr'	Pcr	N anual	Ø (años)
1	33.66	51.2515248	47.6103144	71.4154716	0.01603777	62.3527938
2	33.6	51.160008	47.5252995	71.2879492	0.01612357	62.0210047
3	30.68	46.7061904	43.3879074	65.081861	0.02116151	47.2556107
4	6.7	10.129976	9.4102828	14.1154242	2.02796659	0.49310477
5	16.8	25.535304	23.7211255	35.5816883	0.12834576	7.79145312
6	23.1	35.144568	32.6476907	48.9715361	0.04946234	20.2173999
7	31.92	48.5975376	45.1448821	67.7173231	0.01879669	53.2008685
8	37.8	57.566184	53.476343	80.2145145	0.0113372	88.2051778

(iii) **Torrentera Miraflores. A = 720 has. k = 0.3340.**

PUNTO	a area sec.	C	Pcr'	Pcr	N anual	Ø (años)
1	26.4	40.177992	92.5333763	138.800064	0.00116387	859.203525
2	33.75	51.3888	118.352833	177.529249	0.00057293	1745.40924
3	11	16.68868	38.4354675	57.6532013	0.01461387	68.4281629
4	26	39.56788	91.1282358	136.692354	0.0012163	822.163192
5	45	68.5482	157.872409	236.808614	0.00024989	4001.73598
6	3.56	5.3405968	12.2998544	18.4497817	0.38888171	2.57147605
7	27	41.09316	94.6410871	141.961631	0.00109077	916.779629
8	16.5	25.07772	57.7561492	86.6342239	0.00452287	221.098678
9	9.8	14.858344	34.2200461	51.3300691	0.02042016	48.9712166
10	7.6	11.502728	26.4917734	39.7376601	0.04267888	23.4307946
11	2.4	3.571272	8.22494703	12.3374205	1.23914851	0.80700577
12	0.45	0.596976	1.37488715	2.06233072	213.991544	0.00467308
13	13.2	20.044296	46.1637402	69.2456103	0.00862218	115.979902
14	27.72	42.1913616	97.1703399	145.75551	0.001011	989.124574

(iv) **Torrentera Mariano Melgar. A = 3 690 has. k = 0.2544**

PUNTO	a area sec.	C	Pcr'	Pcr	N anual	Ø (años)
1	36	54.82068	32.343729	48.5155935	0.03079493	32.4728813
2	48	73.12404	43.1425537	64.7138306	0.01327516	75.3286503
3	30.4	46.279112	27.3042774	40.9564162	0.05050475	19.8001186

4	39.04	59.4575312	35.0794312	52.6191469	0.02429317	41.1638279
5	3.4	5.096552	3.00692178	4.51038267	31.7530367	0.03149305
6	27.6	42.008328	24.7845517	37.1768275	0.06701178	14.9227491
7	32.32	49.2076496	29.0320894	43.5481341	0.04221819	23.686472
8	42	63.97236	37.7431414	56.614712	0.01961755	50.9747565
9	30	45.669	26.9443166	40.4164749	0.05250085	19.0473104
10	17.4	26.450472	15.6055506	23.408326	0.25879009	3.86413557
11	6	9.06228	5.34666714	8.02000071	5.91148548	0.16916222
12	30	45.669	26.9443166	40.4164749	0.05250085	19.0473104
13	25.11	38.2103808	22.5437955	33.8156933	0.08838005	11.3147701
14	33.8	51.465064	30.3639444	45.5459167	0.03703416	27.0020946
15	3.2	4.791496	2.82694137	4.24041205	38.0258158	0.02629792
16	4.76	7.1709328	4.23078858	6.34618287	11.7120117	0.08538243
17	25.5	38.80524	22.8947573	34.342136	0.0844809	11.8369952
18	7.4	11.197672	6.60653002	9.90979504	3.18641708	0.31383211
19	8.1	12.265368	7.23646147	10.8546922	2.44217223	0.40947153








(v) **Torrentera Paucarpata. A = 1 540 has. k = 0.2943.**

PUNTO	a area sec.	C	Pcr'	Pcr	N anual	Ø (años)
1	20	30.4162	24.4403914	36.6605871	0.05087302	19.6567852
2	3.14	4.6999792	3.83714145	5.75571218	10.3346485	0.09676188
3	56.25	85.7076	68.7386008	103.107901	0.00261559	382.323075
4	15	22.7898	18.3302936	27.4954403	0.11616303	8.60859093
5	13.3	20.196824	16.2528603	24.3792904	0.16405831	6.09539361
6	1	1.43588	1.22201957	1.83302936	275.745635	0.00362653
7	8	12.11284	9.77615657	14.6642348	0.70565956	1.41711394
8	0.43	0.5664704	0.52546842	0.78820262	3107.93914	0.00032176
9	20.4	31.026312	24.9291992	37.3937989	0.0480623	20.8063268
10	8.75	13.2568	10.6926712	16.0390069	0.54563024	1.83274298
11	20.25	30.79752	24.7458963	37.1188445	0.04909118	20.3702568
12	26.25	39.9492	32.0780137	48.1170206	0.02330969	42.9006056
13	39	59.39652	47.6587633	71.4881449	0.00748296	133.63688
14	5.2	7.842056	6.35450177	9.53175265	2.42964739	0.41158236
15	0.38	0.4902064	0.46436744	0.69655116	4431.49982	0.00022566
16	0.86	1.2223408	1.05093683	1.57640525	425.110045	0.00235233
17	1.4	2.045992	1.7108274	2.5662411	104.981767	0.00952546
18	17	25.84036	20.7743327	31.1614991	0.08110707	12.3293812
19	11.9	18.061432	14.5420329	21.8130493	0.22575381	4.42960407
20	10	15.1634	12.2201957	18.3302936	0.37192781	2.68869384

(vi) **Torrentera Zamácola. A = 2 430 has, k = 0.2727**

PUNTO	a area sec.	C	Pcr'	Pcr	N anual	Ø (años)
1	12.5	18.9766	15.860473	23.7907096	0.26765499	3.73615305
2	2.56	3.8153168	3.18880775	4.78321163	18.1127	0.05520988
3	5.06	7.6285168	6.37584631	9.56376946	2.93361866	0.34087593
4	10.26	15.5599728	13.0048865	19.5073297	0.45089326	2.2178198
5	6.24	9.4283472	7.8801285	11.8201928	1.68152755	0.59469736
6	5.32	8.0250896	6.70729832	10.0609475	2.56789556	0.38942394
7	11.5	17.45132	14.5856576	21.8784864	0.33356702	2.99789828
8	9.68	14.6753104	12.2654936	18.3982403	0.52585227	1.90167479
9	14.96	22.7287888	18.996519	28.4947785	0.16661176	6.00197722
10	23.1	35.144568	29.3735165	44.0602747	0.0530158	18.8623032
11	17.68	26.8775504	22.4640169	33.6960254	0.10725142	9.32388626
12	12.09	18.3512352	15.3377987	23.0066981	0.29228781	3.42128532
13	4.85	7.308208	6.10813507	9.1622026	3.28358434	0.30454525
14	7.5	11.3502	9.48639593	14.2295939	1.03282756	0.96821583
15	8.75	13.2568	11.0799152	16.6198728	0.68683963	1.45594395
16	15.6	23.704968	19.8124008	29.7186013	0.14918428	6.70311906
17	7.37	11.1519136	9.32066993	13.9810049	1.08177635	0.92440549
18	5.07	7.6437696	6.38859446	9.58289169	2.91826366	0.34266952

3.5. Clasificación y Ordenamiento de los tramos críticos en relación a su peligrosidad. Clasificación en categorías o prioridades del grado de peligrosidad de los tramos de torrenteras medido en términos de ϕ : período medio de retorno (años). Se incluye el símbolo que se presenta en el Listado y en el Mapa correspondientes

Categoría o Prioridad	Período medio de retorno, ϕ (años)	Símbolo
1	< 1	
2	1 a 3	
3	4 a 6	
4	7 a 9	
5	10 a 12	
6	13 a 15	
7	16 a 18	

8	19 a 21	●
9	22 a 24	●

TABLA 3.5.- Listado de puntos o zonas expuestas a inundaciones por las torrenteras de Arequipa. Se presenta la categoría o prioridad, la ubicación y el símbolo correspondientes.

Torrentera Polanco.

Punto	Ubicación	Categoría	Símbolo
1	Avda. 1º de Enero	1	●
3	Desvío hacia Centro recreac .Chilina	1	●
2	Avda. Chilina, altura Grifo Chilina	4	●

Torrentera San Lázaro

Punto	Ubicación	Categoría	Símbolo
4	200 m antes del Puente La Chabela	1	●
5	Grifo Alto Selva Alegre	4	●
6	Callejón Ripacha, San Lázaro	9	●

Torrentera Miraflores

Punto	Ubicación	Categoría	Símbolo
11	Terminal Pesquero (Playa de carros)	1	●
12	Badén Manzanitos	1	●
6	Badén Lambramani	2	●
10	Avda. Alcides Carrión	9	●

Torrentera Mariano Melgar

Punto	Ubicación	Categoría	Símbolo
5	Badén La Isla, Calle Internacional	1	●
11	Badén Feria Altiplano-- Avda. Los Incas	1	●
15	A 200 m del Puente de Hunter	1	●
16	Badén Bellavista—Calle Chichis	1	●
18	Avda. Alfonso Ugarte, 100m antes Cuartel	1	●
19	A 100 antes de la desembocadura Torr.	1	●
10	Avda. Vidaurrazaga	3	●
13	Puerta ingreso 1er Terminal Terrestre	5	●
17	Puente Club Colegio Abogados	5	●
6	Puente Lambramani	6	●
3	Calle Praga	8	●
12	Puente Terminal Terrestre	8	●

Torrentera Paucarpata

Punto	Ubicación	Categoría	Símbolo
2	Puente Venezuela(Avda. Vanezuela)	1	●
6	Badén Avda. Kennedy	1	●
8	Badén Avda. Pizarro—Colón	1	●
14	Las Casuarinas, 500 m de Puente 15 Enero	1	●
15	Badén El Porvenir-24 de Julio(SEDAPAR)	1	●
16	Badén Avda. Las Peñas	1	●
17	A 300 m antes Puente Amistad, Chilpinilla	1	●
7	Calle Las Américas, 300 m antes de badén	2	●
10	Avda. Tupac Amarú, Urb. Dolores, Mi Perú	2	●
20	Los Cristales, Restaurante La Finca	2	●
5	A 200 m antes badén Avda. Kennedy	3	●
19	Puente de la Avda. Paisajista	3	●
4	Jorge Chávez, 300 m antes de Puente	4	●

18	Puente de La Amistad	5	●
1	Pueblo Joven Condesuyos	8	●
9	CEI Mi Perú, Pueblo Joven Mi Perú	8	●
11	Puente Dolores	8	●

Torrentera Zamácola

Punto	Ubicación	Categoría	Símbolo
0 (*)	Tramo parcialmente relleno en el ramal Pastoraiz para Instalación de pueblos jóvenes.	1	●
2	Las Caléndulas	1	●
3	A 100 m antes del Puente Juan Pablo II	1	●
5	Puente Concordia, Colegio Lord Byron	1	●
6	Sr.de la Caña, 100 m antes de Puente	1	●
13	A 300 m antes de Puente Tahuaycani	1	●
14	Puente Urb. El Buen Pastor	1	●
17	Puente Variante Uchumayo	1	●
18	A 500 antes Puente Variante Uchumayo	1	●
4	Puente La Canoa	2	●
7	Puente Chullo	2	●
8	Parque Alipio Ponce, Urb. Juan XXIII	2	●
12	Puente Tahuaycani, Avda. V.A. Belaúnde	2	●
15	Avda. Fernandini, prolong. Puente Fierro	2	●
1	Puente Cayma—Cerro Colorado	3	●
9	Puente en Urb. Primavera	3	●
11	Puente Urb.Los Independientes	4	●
16	Puente desvío a la Cervecería	4	●
10	Puente Calle Las Orquídeas	8	●

Nota (*) : Este punto no aparece en las Tablas 3.1 y 3.3., puesto que al ser relleno, no presenta cauce.

Esta distribución se presenta graficada adecuadamente en el Plano de la localidad de Arequipa que se anexa al final del presente documento.

3.6. Peligrosidad comparativa de las Torrenteras.

Se estima que el parámetro que puede usarse convenientemente para servir en la comparación del grado global de peligrosidad de las 6 torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa, está constituido por la sumatoria de los valores inversos de la categoría, $\sum (1/C)$, para cada torrentera : Los resultados se presentan en la Tabla 3.6

TABLA 3.6.- Peligrosidad global de las torrenteras de Arequipa expresada por $\sum (1 / C)$ correspondiente a todos los puntos críticos (valores individuales provenientes de la Tabla 3.6 . Se ordenan crecientemente en función del grado de peligrosidad.

Torrentera	Zamácola	Paucarpata	M Melgar	Miraflores	Polanco	S.Lázaro
$\sum(1/ C)$	12.79	9.825	7.15	2.61	2.25	1.36

En la magnitud de estos valores de $\sum (1 / C)$, actúan en forma conjunta la cantidad de puntos vulnerables y la magnitud de los valores de N, que a su vez varían en función de las otras variables fundamentales involucradas en el diseño metodológico . Así, es posible inferir que el máximo valor de $\sum (1 / C)$, de la torrentera de Zamácola se debe principalmente a los considerables desbordes que se presentan a nivel de los múltiples puentes de insuficiente luz ubicados en su cauce y a la mayor cantidad de puntos vulnerables (19).; la torrentera de Paucarpata presenta un valor de segunda peligrosidad debido a la considerable cantidad de badenes y de puentes de escasa luz y también a una cantidad considerable de puntos vulnerables (17); la torrentera de Mariano Melgar, ofrece peligrosidad debido principalmente a la presencia de un número considerable de badenes, con mediana cantidad de puntos críticos (12); en

la torrentera de Miraflores se presentan pocos puntos vulnerables (4); estando situados los más amenazantes en las inmediaciones del Mercado de Productores El Palomar constituidos por dos badenes; en el otro extremo, de mínima peligrosidad, aparece la torrentera de Polanco, con sólo dos tramos de elevado riesgo, y la de San Lázaro, de peligrosidad absolutamente mínima, debido a la mayor profundidad de su cauce.

6. COMENTARIOS.

Los valores de N , número o cantidad de precipitaciones iguales o mayores a 10, 20, etc. Mm, y por tanto también los valores de Φ , período medio de retorno en años, constituyen valores climáticos promedio para un período largo de tiempo; la variabilidad de los valores de N y de Φ de año a año es elevada; las inundaciones con período de retorno menores a 1 año pueden ocurrir muchas veces durante una época lluviosa y ninguna vez en varios años de una época de sequía, por tanto no constituyen fenómenos específicos predecibles con alguna precisión, especialmente considerando que la variabilidad de la magnitud de las lluvias en función de los estados térmicos del Océano Pacífico Sur no presenta una correlación estrecha. Sin embargo, los mencionados valores, materia del presente estudio indican claramente los sitios vulnerables con relación a inundaciones, debiéndose por tanto concentrar el interés especialmente preventivo con el fin de planificar y ejecutar obras y acciones tendientes a neutralizar o mitigar los desastres de esta naturaleza.

En el diseño expuesto, se asume que todo el caudal inicial de cada torrentera llega completamente a todos los tramos no interesando su ubicación o su lejanía desde el origen del flujo hídrico, no se considera entonces que aguas arriba ya debe haberse producido disminución del caudal por desbordes en los tramos anteriores; sin embargo, se estima que se debe plantear y proceder a subsanar la vulnerabilidad a lo largo de todo el

recorrido de las torrenteras, dimensionando el esfuerzo y el costo en función de los grados de peligrosidad de los tramos.

En lo referente específicamente a las torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa se puede establecer que las torrenteras de Paucarpata y de Zamácola en su recorrido atraviesan en parte terrenos agrícolas, la segunda de las mencionadas pasa también por la extensa e importante zona urbana de Umacollo, sin embargo, el efecto de las inundaciones se atenúa parcialmente por tratarse de terreno relativamente liso, siempre con declive, que ocasionan el rápido flujo de los desbordes hasta su desembocadura en el río Chili, así mismo en esta torrentera los desbordes son de magnitud relativamente baja ; es necesario mencionar que un ramal de esta torrentera de Zámacola, el llamado Pastoraiz, ha sido rellenado parcialmente para permitir irracionalmente la instalación de pueblos jóvenes y de badenes, lo que obliga a considerar a este punto de alta peligrosidad, de prioridad 1. La torrentera de Paucarpata destaca por la presencia significativa y peligrosa de varios badenes,. con vulnerabilidad predominante y elevada , por lo que se recomienda su especial y perentorio tratamiento; se considera que la elevada peligrosidad indicada para la torrentera de Miraflores, concentrada sólo en los alrededores del Mercado de Productores del Palomar, es fácilmente subsanable. Las torrenteras de Mariano Melgar y de Paucarpata atraviesan zonas principalmente pobladas, con depresiones topográficas en algunos lugares, por lo que se recomienda dedicarles especial atención.

En resumen, en general el análisis indica en el aspecto de la peligrosidad comparada de las torrenteras , que éstas pueden ser ordenadas de acuerdo a su peligrosidad decreciente de la siguiente manera:

1 : Zamácola. 2 : Paucarpata. 3 : Mariano Melgar. 4 : Miraflores. 5 : Polanco.
6 : San Lázaro.

Con relación a las microcuencas de las torrenteras, se evidencia la necesidad de adoptar medidas de forestación e instalación de especies vegetales adecuadas que generen una significativa disminución de la escorrentía superficial acuática y la erosión del suelo, pudiéndose recomendar las plantaciones de tunales, cuyo aparato radicular con estructura de malla retiene eficazmente el agua y el suelo superficial.

Finalmente, existe la razonable expectativa que los resultados obtenidos en el presente estudio sirvan eficientemente para proceder a la planificación y ejecución de obras y de actividades tendientes a mitigar y aún más, para prevenir óptimamente los perjuicios que frecuentemente soporta la localidad de Arequipa debido a las inundaciones ocasionadas por la entrada de las torrenteras.

7. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten extraer las siguientes conclusiones :

1. En el aspecto general, el panorama ofrecido por el presente estudio evidencia elevada cantidad de puntos vulnerables en las torrenteras que atraviesan la localidad de Arequipa, con relación a inundaciones por desbordes.
2. Gran parte de los puntos vulnerables corresponden a badenes improvisados ubicados principalmente en los asentamientos humanos ubicados en la periferia de la ciudad y algunos en zonas bien urbanizadas e incluso en el Cercado de Arequipa.

Otra gran parte corresponde a puentes rústicos o diseñados inadecuadamente ubicados principalmente en la periferia , algunos en las urbanizaciones privadas y un pequeño número en el Cercado.

3. En zonas altas de la ciudad, especialmente en Cayma y en Zamácola, los cauces de las torrenteras tienden a desaparecer debido a la desordenada invasión de pobladores que se establecen en asentamientos sin planificación ni ordenamiento territorial de ninguna clase.
4. Las torrenteras de Arequipa se ordenan decrecientemente de acuerdo a su peligrosidad respecto a inundaciones de la siguiente manera:

1: Zamácola. 2 : Paucarpata. 3 : Mariano Melgar. 4 : Miraflores.
5 : Polanco. 6 : San Lázaro.

5. La máxima peligrosidad de la torrentera Zamácola, se debe principalmente a la elevada cantidad de puntos vulnerables, correspondiendo principalmente a puentes deficientemente diseñados y ubicados en la parte baja de la torrentera. Así mismo, aparece una zona de alta peligrosidad en el ramal Pastoriz contribuyente de la torrentera Zamácola, el que ha sido parcialmente rellenado para dar lugar a la instalación de precarios asentamientos humanos.
6. En segundo lugar de grado de peligrosidad aparece la torrentera de Paucarpata; ESPE puente presenta un considerable número de puntos vulnerables ubicados en badenes y puentes ubicados a lo largo de todo su trayecto.
7. La torrentera de Mariano Melgar, a pesar de originarse en la cuenca de mayor área, ocupa el tercer lugar de grado de peligrosidad; los puntos vulnerables corresponden también a badenes y puentes ubicados principalmente en su parte inicial y en la parte final de su trayectoria.
8. Las torrenteras de Miraflores, Polanco y San Lázaro son las menor peligrosidad, con pequeña cantidad de puntos vulnerables con problemas de no muy difícil solución. La última de las mencionadas, presenta la ventaja de contar con el cauce de máxima profundidad.

8. RECOMENDACIONES.

1. Es de necesidad crítica y perentoria realizar evaluaciones periódicas y un estrecho seguimiento con el fin de detectar los cambios que se operan en los cauces de las torrenteras, principalmente los de origen antropogénico, actividades que deben ser asumidas por organismos competentes e idóneos.
2. Es necesario demandar a los organismos competentes y afines, que procedan a realizar las acciones tendientes que tengan por principal objetivo planificar y ejecutar las obras indispensables y suficientes para subsanar las deficiencias detectadas en las torrenteras de Arequipa y prevenir las futuras. Y ampliar los estudios hacia las zonas de futura expansión, principalmente las correspondientes al Cono Norte y las destinadas al COFROPI.
3. Plantear a las autoridades locales y centrales la imprescindible tarea de realizar la planificación necesaria y obtener la concreción de un Ordenamiento Territorial racional y sostenido para el desarrollo de zonas urbanas de Arequipa, teniendo en cuenta la prevención de desastres naturales.
4. Es muy recomendable la necesidad de densificar la red climática y pluviométrica para la óptima realización de estudios de esta naturaleza y demandar al SENAMHI la emisión fluida de su información climática e hidrológica.
5. Con relación a las microcuencas se recomienda estudiar, planificar y ejecutar obras de forestación y de desarrollo de plantaciones vegetales adecuadas con el objeto de disminuir significativamente la escorrentía superficial y la erosión ocasionadas por fuertes

precipitaciones, disminuyendo de esta manera los elevados caudales hídricos que se originan en estas microcuencas.

9. BIBLIOGRAFÍA.

- Cornejo, Javier.- Probabilidad de Ocurrencia y Peligrosidad de Fuertes Precipitaciones en la Ciudad de Arequipa. Tesis UNSA en Ingeniería Geofísica. Arequipa, 1990
- Fuse, Jaime, R. Kosaka, E. Gonzales, E. Zamalloa y M. Lazo.- Peligrosidad de las Torrenteras de Arequipa. Publicación Especial UNSA. Arequipa, 1991.
- Fuse, Jaime.- Riesgos Sísmicos con Relación a la Intensidad en el Valle de Vítor. Estudio Técnico por Contrato con A.C.I. Ingenieros. Arequipa, 1992.
- Fuse, Jaime, V. Lucano, R. Salazar, J. Soto y J. Ticona.- El Niño y sus Efectos en Arequipa. Publicación Especial Instituto Geofísico UNSA y Colegio de Biólogos del Perú. Arequipa, 1999.
- Nogueira, L.- Hidrología. Editora Edgar Blucher Ltd.. Sao Paulo, 1967.