

## CAPITULO I

# CARACTERISTICAS CLIMATICAS Y OCEANOGRAFICAS DEL FENOMENO EL NIÑO 1997-98 EN PERU

Debido a su situación geográfica respecto al Océano Pacífico, Perú es uno de los países que recibe recurrentemente mayores impactos sobre las variables oceanográficas y atmosféricas del Fenómeno El Niño, generando una serie de efectos climáticos que se revierten en amenazas para las comunidades y para las actividades productivas. Estas variaciones se relacionan con modificaciones en los factores físicos que influyen cotidianamente el clima y las características oceánicas.

A fin de precisar el tipo de variabilidad que generó El Niño en Perú durante 1997-98, así como los efectos asociados, se exponen a continuación las características climáticas, oceanográficas e hidrológicas en años en que no se presenta El Niño.

## 1. CARACTERISTICAS CLIMATICAS DEL PERU

### 1.1 EL CLIMA PERUANO

El clima peruano está determinado por un conjunto de factores, representados gráficamente en la Figura I.1.1-1.

Figura I.1.1-1 Perú. Factores modificadores del clima



*Corriente Peruana.* Es una corriente de aguas frías que se desplaza de sur a norte a lo largo del litoral, manteniendo temperaturas bajas en los estratos superficiales del mar en plena área tropical, por el fenómeno de afloramiento o surgencia de aguas profundas. Ello motiva una evaporación muy restringida que limita la producción de nubes, produciendo gran estabilidad atmosférica y el establecimiento de una persistente inversión de temperatura durante todo el año, así como la casi completa escasez de lluvias en la región de la Costa, excepto para la costa norte que llueve en verano.

*Zona de Convergencia Intertropical.* Es una banda nubosa, de alta convectividad, donde convergen los vientos Alisios del Hemisferio Norte y del Hemisferio Sur. En verano alcanza su posición más austral, ubicándose entre los 2°N a 5°N sobre el Pacífico y 10°S en el continente. Durante el invierno su posición es más septentrional, alcanzando hasta los 15°N sobre el Pacífico y hasta los 10°N sobre el Atlántico. Dependiendo de su posición, es determinante de las estaciones lluviosas o secas en el territorio nacional.

*Anticiclón del Pacífico Sur.* Centro de alta presión situado aproximadamente a 30°S, frente a las Costas de Chile, ejerce gran influencia sobre la Costa Occidental de América del Sur, especialmente de mayo a octubre.

Durante el verano se encuentra ubicado a 33°S con 93°W. En invierno el centro es más amplio y se localiza a 27°S y entre los 95 a 100°W, con intensidades algo más bajas que las de verano.

*Baja de Chacos.* Centro de baja presión que se presenta durante el verano sobre el continente, a nivel de superficie, contribuyendo a la presencia de las precipitaciones en la sierra del Perú, presentando una intensidad desde 1002 a 1011 hPa. En invierno se encuentra ausente.

*Alta de Bolivia.* Sistema de alta presión que se localiza aproximadamente a los 12 km de altura, ubicada entre los 12 y 13°S y los 65 y 68°W, alimenta a la Baja de Chacos y se presenta sólo en el verano. Durante el invierno su configuración es de tipo Cuña, abarcando de 2 a 3°S y 48 a 100°W. (ver Figura I.1.1-2). De acuerdo a su ubicación incide en la generación de lluvias en Perú.

Adicionalmente a estos factores, el relieve también influye en las variaciones climáticas. La Cordillera de Los Andes atraviesa la parte occidental del continente americano, paralela a la Costa, con altitudes que en algunos casos sobrepasan los 6.000 m. Constituye una barrera natural que impide, en el territorio peruano, el libre paso de las masas de aire húmedo del Atlántico al Pacífico. Ello origina fuertes precipitaciones en los flancos orientales, en contraposición con las vertientes occidentales caracterizadas por escasas lluvias. Sin embargo, en la parte norte, cerca del Ecuador, la cordillera presenta elevaciones relativamente bajas, permitiendo que una extensión

**Figura I.1.1-2 Perú. Posición normal de la Alta de Bolivia**



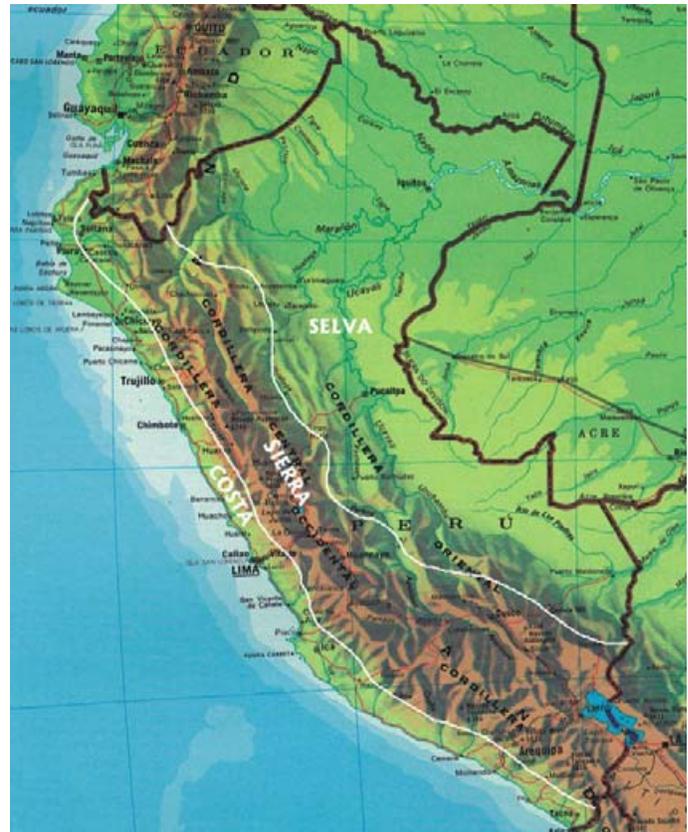
considerable de la zona de selva tropical avance hacia el Pacífico.

El territorio peruano tiene una configuración muy accidentada, debido fundamentalmente al sistema montañoso de los Andes que lo atraviesa en sentido longitudinal. El elemento orográfico más notable de este sistema es la Cordillera Occidental, porque además de su manifiesta definición y continuidad en su desarrollo, su línea de cumbres marca la divisoria continental de las aguas.

La Cordillera de los Andes origina tres unidades geográficas longitudinales de notables contrastes geomorfológicos y climáticos denominados: Costa, Sierra y Selva (ver Figura I.1.1-3), estando la zona costera directamente influenciada por El Niño.

LA COSTA es una región llana que representa el 12,5% de los 1,29 millones de km<sup>2</sup> que cubre la extensión total del país. Está comprendida entre la línea del litoral (riberas del Océano Pacífico) y las estribaciones occidentales de los Andes, mas o menos hasta los 1.500 Km de altitud. Su característica principal es la escasa precipitación que anualmente totaliza 50 mm en promedio, a excepción de la zona norte del país que

**Figura I.1.1-3 Perú. Relieve**



sobrepasa los 500 mm en los años de la invasión de la Contracorriente Ecuatorial, que es cuando ocurren las precipitaciones más intensas (Fenómeno El Niño). Ello la define como una zona árida y desértica, con un clima ligeramente caluroso y húmedo donde prácticamente no llueve. La escasez de lluvias obedece a la influencia de las aguas frías que recorren las costas, debido a la Corriente de Humboldt.

Está atravesada por unos 53 ríos de régimen temporal o irregular cuyos caudales se relacionan con las épocas de lluvias en la región andina, que tienen lugar durante el verano austral. Algunos de estos ríos son de régimen algo más constante debido a que sus cuencas receptoras llegan hasta las altas montañas de nieves perpetuas.

Los valles conformados por las cuencas de los ríos y donde se encuentran los centros poblados, están separados entre sí por extensas planicies áridas cubiertas de arena.

LA SIERRA es la franja intermedia entre la costa y la selva, presenta un relieve muy accidentado que conforma la Cordillera de los Andes, orientada de Sudeste a Noroeste. Presenta grandes elevaciones como la del Nevado Huascarán con 6.767 m. Tiene una extensión de 388.175,9 km<sup>2</sup> que es el 30,2% de la superficie total del país.

El clima es seco, frígido y con lluvias estacionales, variando de acuerdo a las características locales, precisamente por el relieve tan irregular y por la posición de las cadenas montañosas. La temperatura depende de la altura del lugar y las

lluvias varían entre límites extremos que van desde los 100 mm hasta cerca de los 1.000 mm al año.

En la sierra peruana es posible encontrar climas de tundra seca de alta montaña sin vegetación y clima de nieve perpetua de alta montaña. La superficie total que comprenden estos climas alcanza aproximadamente 169.000 km<sup>2</sup> o prácticamente el 13,2% de la superficie del país, estando en mayor extensión en la zona del Altiplano.

En los valles interandinos el clima es de tipo templado, con precipitaciones suficientes durante el verano.

LA SELVA, ubicada al este de los Andes, comprende desde los niveles inferiores de esta cordillera hasta los bajos amazónicos; los ríos que bajan de los flancos orientales desaguan en el río Amazonas y sus afluentes. Presenta un área de 736.442,3 km<sup>2</sup> o sea el 57,3% de la superficie total del país.

Esta región es la más húmeda, con precipitaciones que superan los 1.000 mm anuales, alcanzando en algunos casos hasta 3.000 mm. En algunos años las lluvias llegan alrededor de los 5.000 mm.

La ceja de selva es una zona que se inicia en las vertientes orientales de la Cordillera, presenta un clima de tipo templado con lluvias en verano. Este tipo de clima abarca el 9,4% o sea aproximadamente 121.000 km<sup>2</sup> del área total.

En las vastas llanuras del Amazonas y sus tributarios predomina el clima de selva tropical permanentemente húmedo y cálido, abarcando un área de 492.000 km<sup>2</sup>, que representa el 38,5% de la superficie del país.

Esta extensa región climática está marcada por los grandes ríos que forman el Amazonas tales como Marañón, Huallaga y Ucayali, así como también los ríos Santiago, Morona y Napo.

El tipo de clima tropical se presenta en algunas zonas del norte del país, especialmente en la vertiente de la cordillera que desagua en el Pacífico y en la parte oriental de los departamentos de Tumbes y Piura.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS

Adicionalmente a las condiciones atmosféricas, las características oceánicas tienen una relación directa con el Fenómeno El Niño frente a la costa de Perú. Cada episodio modifica las condiciones normales del medio marino, originando una secuencia de efectos climáticos y de otro orden, algunos de los cuales han sido indicados anteriormente. A continuación se resumen las características oceánicas normales de la costa, las cuales constituyen el marco para la identificación de las anomalías que fueron observadas durante El Niño 1997-98.

El sistema de circulación frente a la costa peruana es bastante complejo, especialmente en lo que se refiere a las corrientes sub-superficiales.

Frente al Perú la Corriente de Humboldt toma el nombre de Corriente Peruana, ésta última conformada por la Corriente Costera Peruana y la Corriente Oceánica Peruana, las cuales fluyen hacia el noreste abandonando la costa cerca de los 5°C para luego integrarse a la Corriente Sur Ecuatorial como parte de la circulación Anticiclónica del Océano Pacífico Sur. Estas dos corrientes están separadas por un flujo débil e irregular hacia el sur, denominada Contracorriente del Perú, la que es sub-superficial y ocasionalmente llega a la superficie del mar.

La Corriente Costera Peruana (CCP) o Corriente de Humboldt, que es fría y rica en nutrientes, tiene una velocidad promedio de 5 a 15 m/s, alcanzando algunas veces cerca de los 7°S velocidades de 40 a 80 m/s. Su flujo varía estacionalmente y es más intenso durante los meses de abril a septiembre, con un transporte confinado a los 200 m de profundidad.

Está sujeta a una serie de fluctuaciones a lo largo de la costa peruana, con la consiguiente formación de remolinos, siendo los más permanentes los que se presentan frente a Punta Falsa-Pimentel (zona norte), frente a Callao-Pisco (zona central) y frente a Ilo-Arica (zona sur).

La Corriente Oceánica Peruana (COP), es más intensa que la Corriente Costera Peruana, y llega hasta los 700 m de profundidad. Presenta variaciones estacionales y durante los meses de julio a octubre forma un solo flujo con la Corriente Costera Peruana hacia el oeste, integrándose luego en la Corriente Sur Ecuatorial.

En lo que respecta a las características del océano, frente a las costas del Perú la salinidad en la superficie del mar presenta gradientes zonales al sur de los 06°S, y aumenta lejos de la costa. Al norte de los 06°S presenta gradientes longitudinales muy intensos debido al efecto de las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y las Aguas Tropicales Superficiales (ATS).

La salinidad en la parte costera es de 35,1 a 34,8‰. El rango promedio de salinidad en el verano e invierno, respectivamente, es de 35,6 a 33,7‰ y de 35,5 a 32,0‰.

El rango de salinidad en el límite septentrional de la corriente del Perú varía estacionalmente de año a año, hallándose los valores más altos de julio a septiembre, cuando la Corriente Peruana es más intensa, y los menores valores de enero a marzo con rangos de 33,5 a 35,0‰.

La temperatura promedio de la superficie del mar a lo largo de la costa peruana muestra un aumento hacia el oeste y hacia el norte, dando lugar a gradientes zonales y latitudinales, al sur y al norte de los 6°S. Las temperaturas máximas se presentan de febrero a marzo con un rango promedio de 13 a 17°C. La variación anual promedio a lo largo de la costa peruana es de 5 a 17°C. El área con temperaturas más bajas a lo largo del

litoral peruano está entre los 14°S y 16°S, siguiéndole las áreas frías entre los 4°S a 6°S, 7°S a 9°S y 11°S a 13°S.

En Verano las aguas superficiales, con temperaturas de 25°C a 30°C, ocupan gran parte de la banda entre los 20°N y 30°S. La piscina caliente (temperaturas mayores de 28°C) se presenta al oeste de 140°W, mayormente en el Hemisferio Sur. Frente a Perú, las isothermas de 23 a 25°C se proyectan hacia el Sureste, en forma de una lengua caliente, con el eje orientado hacia los 22°S (Norte de Chile). Esta lengua cálida da lugar al gran contraste térmico con las aguas más frías pegadas a la costa.

En Otoño las aguas cálidas con temperatura de 25° a 30°C ocupan gran parte de la banda entre los 30°N y 20°S, al oeste de 140°W, extendiéndose mayormente en el Hemisferio Norte. Una pequeña piscina caliente se hace apreciable en el lado este, en el Hemisferio norte. Al sur de los 2°N y al este de los 120°W aparece con temperaturas menores de 25°C y una lengua fría se proyecta hacia el oeste, alrededor de 1°S.

En Invierno las aguas con temperaturas de 25° a 30°C se extienden mayormente al oeste de los 14°W y entre los 35°N y 20°S. Gran parte de la piscina caliente del oeste está al oeste de 170°W en el Hemisferio Norte. Al sur de los 3°N y este de los 130°W se tienen aguas con menos de 25°C, y la lengua fría ecuatorial se extiende hasta los 140°W. La isoterma de 15°C se aproxima a los 20°S con el lado este del Pacífico Sur.

En Primavera las temperaturas de 25 a 30°C ocupan mayormente la banda entre los 25°N y 25°S, al oeste de 130°W. La piscina caliente ubicada al oeste se extiende casi por igual en los hemisferios Norte y Sur, con una proyección en el Hemisferio Sur hasta los 150°W. Al sur de los 3°N y este de 120°W se mantienen las temperaturas menores de 25°C, pero la isoterma de 20°C conforma la lengua caliente frente al Perú y Chile, y la isoterma de 15°C se repliega notablemente hacia el sur frente a Chile.

Finalmente, la termoclina o capa de transición es la porción de agua donde la temperatura cambia bruscamente con la profundidad. También varía según el lugar y la época del año. Está más desarrollada en el verano y se debilita en el invierno. Es más superficial cerca de la costa y en la región ecuatorial, y más profunda en las regiones subtropicales y en el área de la piscina caliente del oeste; además, desaparece en las áreas de afloramiento. Dentro de las 150 millas frente al Perú se presenta normalmente por encima de los 100 m de profundidad; pero en situaciones anómalas como El Niño alcanza profundidades mayores.

### 1.3 CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE LAS CUENCAS DEL PACIFICO

En el Pacífico, el régimen hídrico está dominado en superficie por el movimiento anticiclónico del Hemisferio Sur, del cual forma parte la Corriente Peruana, aunque al norte de los

6°S se tiene la influencia principal de las aguas tropicales del Golfo de Panamá en sus transgresiones hacia el sur. Un hecho notable es la lengua caliente costera del Perú que se desarrolla entre primavera y verano del Hemisferio Sur, en cuya formación se nota una influencia parcial de la piscina caliente del oeste (con temperatura de 28°C) en el período de su ubicación principal en el Hemisferio Sur; situación que cambia en agosto-setiembre (invierno), con el desarrollo de la lengua fría ecuatorial y el Frente Ecuatorial (zona de transición), coincidente con la ubicación en el Hemisferio Norte de la piscina caliente del oeste (Zuta, 1989).

El sistema hidrográfico de la vertiente del Pacífico está conformado por 53 ríos en su mayoría cortos y de fuerte pendiente, los cuales permanecen buena parte del año totalmente secos. Durante el verano (que es la temporada de lluvias en la sierra) los ríos de la costa incrementan considerablemente su caudal, disminuyendo el volumen de agua radicalmente durante el invierno.

Los dos fenómenos más importantes que tienen grandes repercusiones sobre el régimen hídrico y generan impactos socioeconómicos son: el afloramiento costero y el Fenómeno El Niño, el primero propio de períodos normales y fríos y el segundo de períodos cálidos.

## 2. VARIABILIDAD CLIMATICA, OCEANOGRAFICA E HIDROLOGICA DURANTE EL NIÑO 1997-98

### 2.1 VISION GLOBAL DE LA VARIABILIDAD CLIMATICA

En términos globales, puede afirmarse que el episodio El Niño 1997-98 fue un evento atípico para Perú, ya que rompió con patrones atmosféricos y oceánicos establecidos, produciendo un comportamiento climático muy variado, tanto en espacio como en tiempo, no observado en otros eventos Niños. A nivel mundial evolucionó rápidamente desde marzo de 1997. Durante los meses anteriores, la situación observada en el Pacífico Ecuatorial mostraba la presencia aún de la fase fría “La Niña 1995-96”, iniciada en octubre de 1995.

El Niño 1997-98 desarrolló una gran intensidad en el Perú, siendo considerado como uno de los más fuertes ocurridos sobre el Pacífico Ecuatorial Central y Oriental en el último siglo.

El calentamiento de la temperatura del mar en las costas del Perú empezó en áreas donde tradicionalmente el agua es más fría, manifestándose dicho incremento en el mes de marzo de 1997, debido a la incursión de aguas subtropicales y ecuatoriales.

Por otra parte, el comportamiento de las variables atmosféricas, a macro escala, se manifestó más rápidamente que las oceanográficas, tanto en tiempo como en espacio. Durante gran parte del año de 1997, la Zona de Convergencia Intertropical se presentó desplazada al sur de su posición nor-

mal, lo cual fue evidenciado por el comportamiento de la Radiación Emergente en Onda Larga sobre el Pacífico Ecuatorial (ver Figura I.2.1-1).

**Figura I.2.1-1 Perú. Comportamiento de los factores modificadores del clima durante el evento El Niño 1997-98**



Debido al receso temporal de invierno a primavera, las condiciones atmosféricas y oceánicas a macro escala se mantuvieron, presentándose las máximas intensidades de las condiciones atmosféricas y oceánicas de noviembre a diciembre de 1997.

La presencia de El Niño 1997-98 afectó el clima del país desde inicios del otoño de 1997. Entre abril y julio se registraron incrementos significativos en la temperatura del aire hasta llegar a niveles superiores a sus patrones normales, ocasionando uno de los inviernos más cálidos de la historia peruana, con anomalías que alcanzaron hasta 5,0°C en la costa norte, 6,0°C en la costa central y 3,0°C en la costa sur. Asimismo, la caída de la presión atmosférica en el Pacífico Oriental contribuyó a la alta sensación térmica de bochorno en la costa peruana, en especial durante el verano de 1998.

En diciembre de 1997, la presencia de las máximas anomalías positivas de la temperatura superficial del mar, el colapso de los vientos Ecuatoriales del Este (Alisios), la formación definida del Par Anticiclónico (200 hPa) y la intensa actividad convectiva sobre el Pacífico Tropical, indicaron que el Niño 1997-98 había alcanzado su máximo desarrollo.

De enero a mayo de 1998, la disminución de las anomalías positivas de la temperatura superficial y subsuperficial del mar y el desencadenamiento de las intensas precipitaciones en la costa de Perú, en especial en el norte, fueron indicativos de

que el fenómeno había entrado en su fase de declinación (fase mas crítica, fase de liberación de la energía acumulada hasta su disipación).

Las intensas lluvias desencadenadas se registraron justamente en ese período (de enero a marzo), en especial en las partes baja y media de la costa norte, en los departamentos de Tumbes, Piura, Chiclayo, Trujillo y Chimbote, superando inclusive a las registradas en diciembre de 1982 y enero-abril de 1983. Por el contrario, para la sierra peruana, donde se esperaba una sequía de acuerdo al comportamiento en 1982-83, sólo se observaron ligeras deficiencias en algunas zonas del Altiplano, por lo que el período lluvioso septiembre/1997-abril/98 presentó valores cercanos a su normal, con ligeros excesos en lugares localizados, manifestándose en la sierra sur ligeras deficiencias en algunas zonas del Altiplano y superiores en otras. Este comportamiento fue favorecido por la presencia de la Alta de Bolivia, ubicada al este de su posición normal.

A continuación se detallan las anomalías observadas tanto en la componente atmosférica como en la oceánica, las cuales respaldan las conclusiones globales reseñadas en este aparte.

## 2.2 COMPORTAMIENTO DE LA COMPONENTE ATMOSFERICA

Diversos factores explican el comportamiento anómalo observado en el territorio peruano.

El comportamiento espacio-temporal de la anomalía de la presión atmosférica desde marzo 1997 hasta febrero 1998 fue negativo, presentándose los máximos valores (-2,5 h.Pa) frente a la costa sudamericana (80°W a 160°W) en los meses de marzo de 1997 y enero de 1998. Contradictoriamente, en el Pacífico Oeste (entre las longitudes 120°E a 180°) predominaron las altas presiones atmosféricas (anomalías positivas), alcanzando en noviembre de 1997 el máximo valor de las anomalías (3,5 hPa).

Vale recalcar que en gran parte del año 1997, el Anticiclón del Pacífico Sur permaneció al sur oeste de su posición, permitiendo, por un lado, la presencia de aguas frías frente a la costa norte del Perú hasta febrero de 1997 y el ingreso de aguas cálidas (aguas subtropicales) en la costa sur desde fines de 1996.

En respuesta al comportamiento de la presión atmosférica, en los primeros meses del año 1997 (presiones altas), los vientos ecuatoriales del este (Alisios) en el Pacífico Oriental fueron ligeramente intensos sobre la costa sudamericana como producto de la intensificación del APS, pero menos intensos en la parte occidental, permitiendo la formación del tren de ondas oceánicas "Kelvin" como producto de la presencia de vientos de componente oeste.

La evaluación de la Radiación en Onda Larga (ROL) a macro escala, muestra que las máximas intensidades de los valores

negativos se registraron sobre el Pacífico Ecuatorial (180° a 90°W) entre los meses de noviembre 1997 hasta febrero 1998 (60 watt/m<sup>2</sup>). En enero de 1998, los núcleos alcanzaron el valor de -45 watt/m<sup>2</sup>, que asociados con la presencia del Par Anticiclónico (200 hPa) favorecieron condiciones para la ocurrencia de lluvias en la costa sur de Ecuador y norte del Perú; así mismo, el desplazamiento de la nubosidad hacia la costa de Sudamérica indicó la intensificación de la Zona Intertropical de Convergencia que en gran parte del año 1997 se mantuvo desplazada al sur de su posición normal, favoreciendo condiciones de lluvias y tormentas, especialmente sobre la costa norte del Perú.

Otras anomalías fueron las de los Vientos al nivel de 200 hPa (12 km de altura). La presencia del Par Anticiclónico, sistemas atmosféricos, alimentaron la potencialidad de las condiciones que favorecieron las precipitaciones en casi todo el Pacífico Central y Oriental. Cabe resaltar que la distribución de estos centros anticiclónicos se observó desde noviembre de 1997 hasta marzo de 1998, donde las anomalías de los vientos del este estuvieron acompañadas con el Par Anticiclónico y los intensos vientos del oeste en las latitudes mas bajas (850 hPa).

En cuanto a la Alta de Bolivia, uno de los principales sistemas de generación de precipitación, fue observada desde fines de noviembre, atrasada en cuanto a su patrón normal; así mismo, ubicada al este de su posición normal, por lo que incidió en la generación de las precipitaciones en la parte sur de Perú y ausencia de ellas en Bolivia (ver Figura I.2.2-1).

### 2.3 COMPORTAMIENTO DE LAS PRINCIPALES VARIABLES METEOROLOGICAS DURANTE EL NIÑO 1997-98 EN EL TERRITORIO

El comportamiento meteorológico en las diferentes regiones del país fue reflejo de las anomalías de las variables atmosféricas.

#### 2.3.1 COSTA

En la costa se evidenciaron las mayores anomalías meteorológicas, tanto en lo que respecta a la temperatura como a la presión atmosférica y a las precipitaciones.

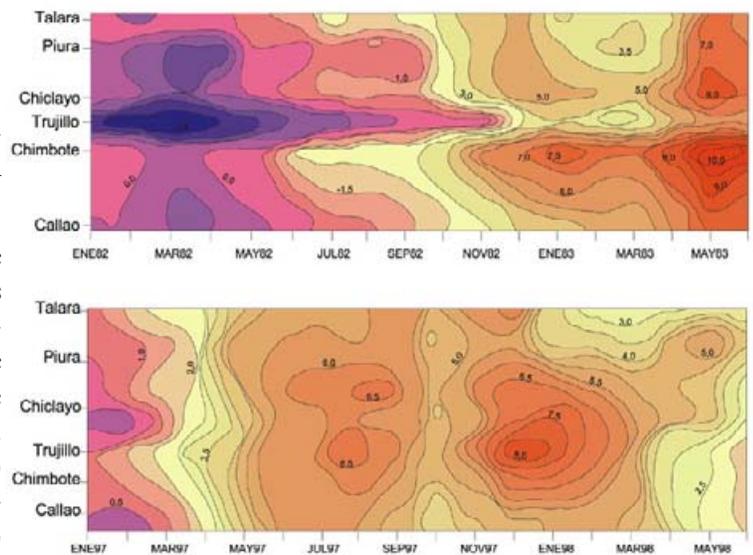
A partir de mayo de 1997 la temperatura mínima del aire comenzó a presentar anomalías positivas, registrándose en los meses del invierno rangos anómalos significativos que alcanzaron hasta 6,5°C, especialmente desde Chiclayo hasta el norte chico de Lima. Debido al receso temporal de la estación de primavera, las anomalías se mantuvieron hasta noviembre, para incrementarse significativamente en los meses de verano de 1998, presentando los mayores valores en diciembre y enero, que alcanzaron hasta +8°C, especialmente desde Trujillo hasta el norte Chico de Lima. Desde marzo de 1998 las ano-

**Figura I.2.2-1 Perú. Comportamiento de la Alta de Bolivia durante el verano de 1998**



malías positivas, en gran parte de la costa, especialmente en el norte, tendieron a tomar valores menores a los registradas en los meses anteriores. En el Sur las anomalías fueron de 4°C. (ver Figura I.2.3-1).

**Figura I.2.3-1 Perú. Anomalías de la temperatura mínima del aire durante 1982-83 y 1997-98**



FUENTE: SENAMHI

A partir de julio de 1997, se observan en forma generalizada anomalías negativas de la presión atmosférica en gran parte de la costa, registrándose los máximos valores de agosto a septiembre de ese mismo año y de diciembre de 1997 a enero de 1998 sobre Chimbote. En febrero y marzo de 1998 tendieron a disminuir.

Las altas anomalías negativas de la presión atmosférica, junto con el alto contenido de humedad en la atmósfera, contribuyeron a la alta sensación térmica de bochorno durante el verano de 1998.

Entre diciembre de 1997 y marzo de 1998, las precipitaciones en el extremo norte (Tumbes, Piura y Lambayeque) mos-

traron niveles muy elevados respecto a lo normal y superiores a los de 1982-83 (ver Figura I.2.3-2). En el resto del territorio los niveles de precipitación se mantuvieron normales, con ligeras modificaciones.

Durante enero de 1998 las lluvias alcanzaron entre el 50 y el 100% por encima de los promedios normales en toda la costa y vertiente occidental de los Andes, pero dado que en la costa los niveles normales son muy bajos, el incremento no tuvo mayores efectos. Sin embargo, en algunas quebradas de las cuencas medias se formaron avalanchas de lodo de diverso tamaño, por ejemplo en la cuenca del Rimac. En cambio, las anomalías mayores estuvieron en la costa norte: 1.000 % en Lambayeque, 3.000 % en Tumbes y 26.000 % en la franja litoral de Piura, durante enero de 1998 (ver Figura I.2.3-3).

**Figura I.2.3-2 Perú. Costa Norte: precipitaciones en los períodos lluviosos (1982-83 y 1997-98)**



**Figura I.2.3-3 Perú. Anomalías de la precipitación. Enero 1998**



En febrero, las anomalías mantuvieron niveles significativamente altos en la costa norte, aun cuando no alcanzaron los registros de enero. En el litoral de Piura se registraron anomalías de precipitación entre 5.000 a 10.000%. Las lluvias llegaron hasta Chiclayo donde superaron en 1.000% los niveles normales. La curva de 500% por encima, llegó hasta Chimbote y la franja entre 100 y 500% abarcó hasta la cuenca del río Huaramey. En la costa central no hubo anomalías y en el sur y resto del país éstas no fueron nada significativas (ver Figura I.2.3-4).

**Figura I.2.3-4 Perú. Anomalías de la precipitación. Febrero 1998**



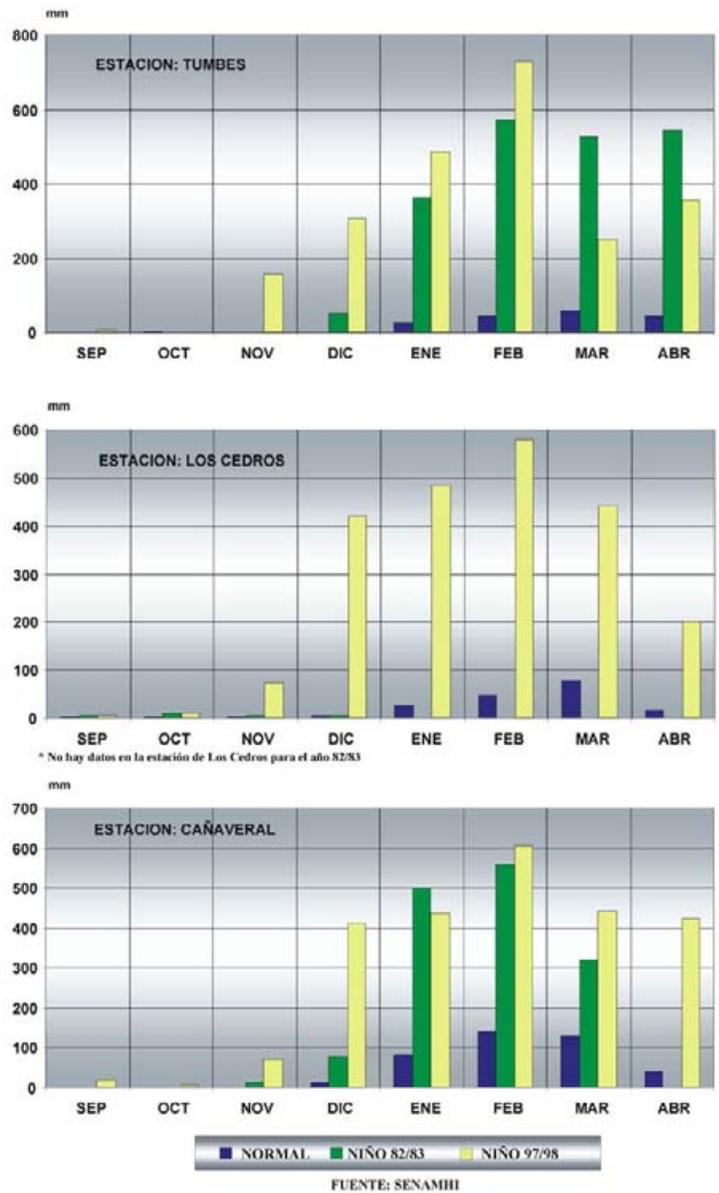
En marzo, las lluvias se replegaron hacia el norte para concentrarse en mayores volúmenes en Tumbes, Piura y Lambayeque, presentando el mayor nivel de anomalías en Lambayeque y Piura, donde alcanzaron entre 1.000 y 3.000%, correspondiendo los valores máximos a las cuencas de Chancay-Lambayeque, Zaña, Chamán y Jequetepeque (ver Figura I.2.3-5).

**Figura I.2.3-5 Perú. Anomalías de la precipitación. Marzo 1998**



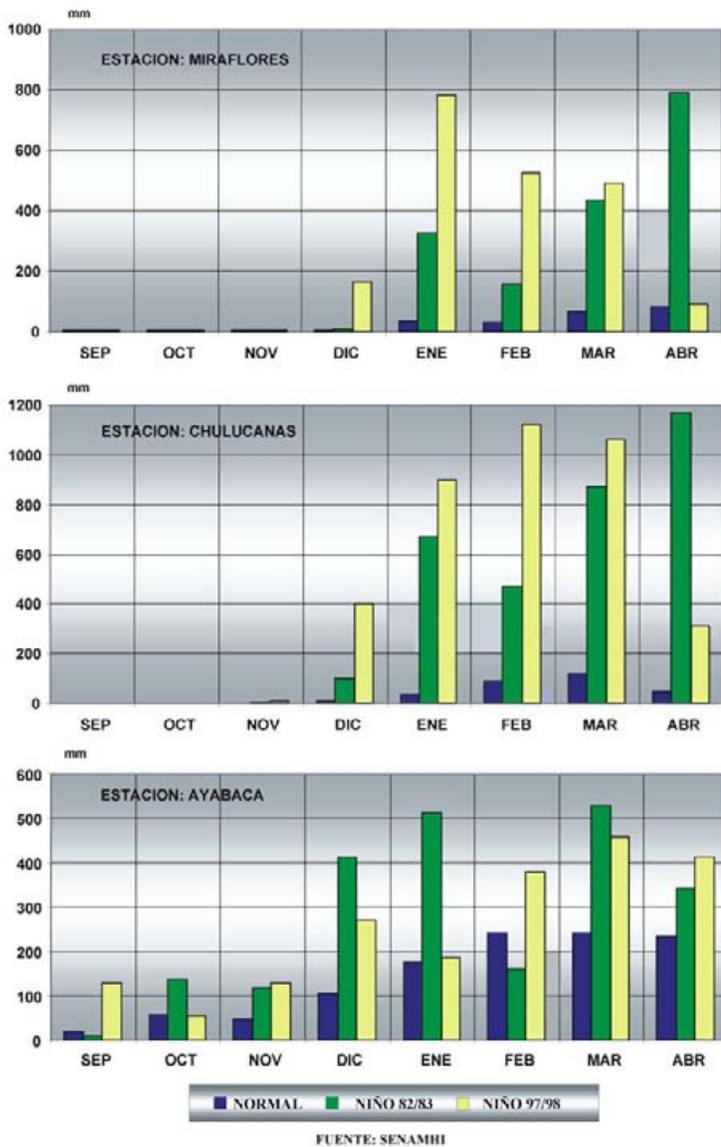
Una visión por departamentos refleja que en el de Tumbes, las precipitaciones fueron mas frecuentes a partir de noviembre de 1997, incrementándose en el mes de febrero. Las lluvias mas intensas ocurrieron en la estación de Tumbes, donde acumuló 701,4 mm, lo que representa una anomalía de 1.945%. (ver Figura I.2.3-6).

**Figura I.2.3-6 Ecuador. Precipitaciones durante los eventos 1982-83 y 1997-98 en estaciones representativas del departamento de Tumbes**



Sobre el departamento de Piura, las precipitaciones se incrementaron a partir de diciembre de 1997, presentándose las más altas intensidades en el mes de enero de 1998. Las lluvias sobre la parte baja y media totalizaron cantidades muy superiores a sus patrones normales, inclusive superiores a las registradas en el período (septiembre-abril) durante El Niño 1982-83 (ver Figura I.2.3-7).

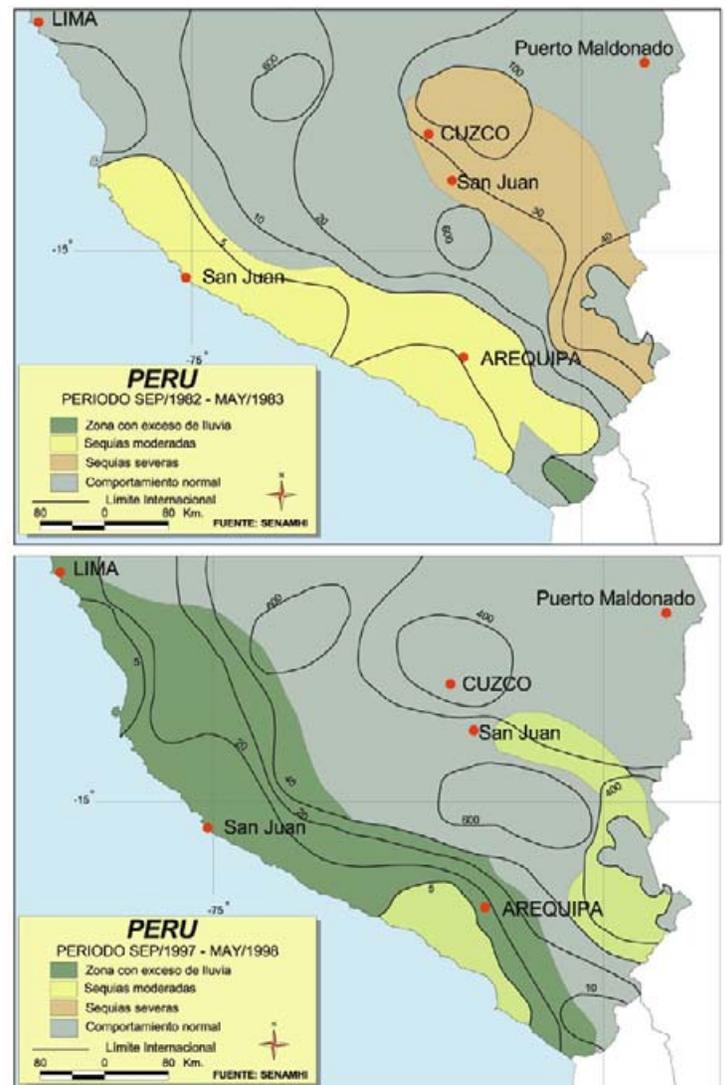
**Figura I.2.3-7 Perú. Precipitaciones durante los eventos 1982-83 y 1997-98 en estaciones representativas del departamento de Piura**



des superiores a su normal, para luego disminuir o colapsar frente a la presencia de El Niño, independientemente de la intensidad del evento. Durante El Niño 82-83, catalogado de extraordinario, se observaron sequías severas. El Niño 91-92, clasificado de moderado y que se prolongó casi hasta 1993, originó sequías muy intensas por un período mucho más prolongado.

Durante El Niño 1997-98, el período lluvioso en la región sur se inició a partir del mes de setiembre de 1997. En noviembre ya se observó un incremento tanto en frecuencia como en intensidad en la parte media y alta de Cuzco y Puno, mientras que en Tacna, Moquegua y Arequipa esta situación se presentó en enero de 1998, con registros que superaron a su promedio normal y a lo registrado durante el evento Niño 1982-83 (ver Figura I.2.3-8).

**Figura I.2.3-8 Perú. Zona Sur: precipitaciones durante los periodos lluviosos**



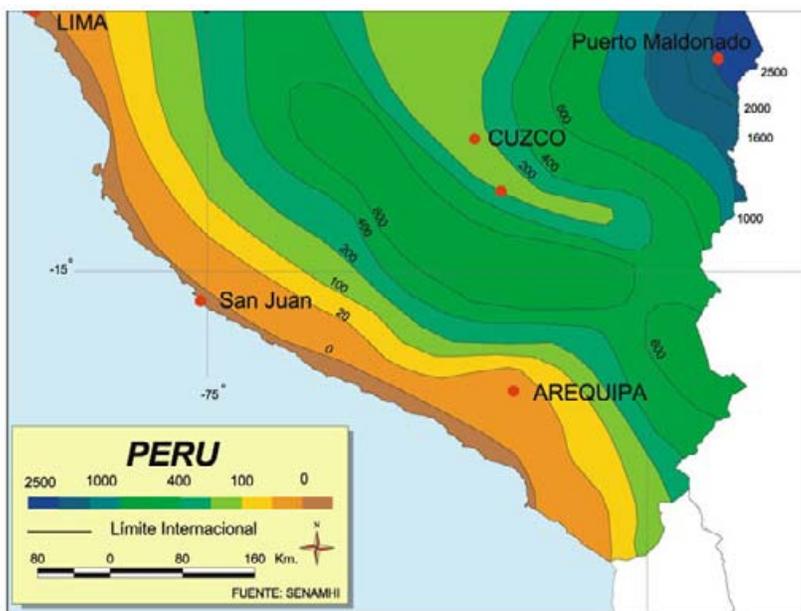
En las partes altas las precipitaciones fueron ligeramente superiores a sus promedios normales, pero menores a las registradas durante El Niño 1982-83. La magnitud de las precipitaciones ocurridas en el resto de la costa norte fueron menores, pero altamente significativas debido a que registraron cantidades muy superiores, tanto respecto a su normal como respecto a lo registrado durante el Fenómeno El Niño 1982-83.

### 2.3.2 ALTIPLANO

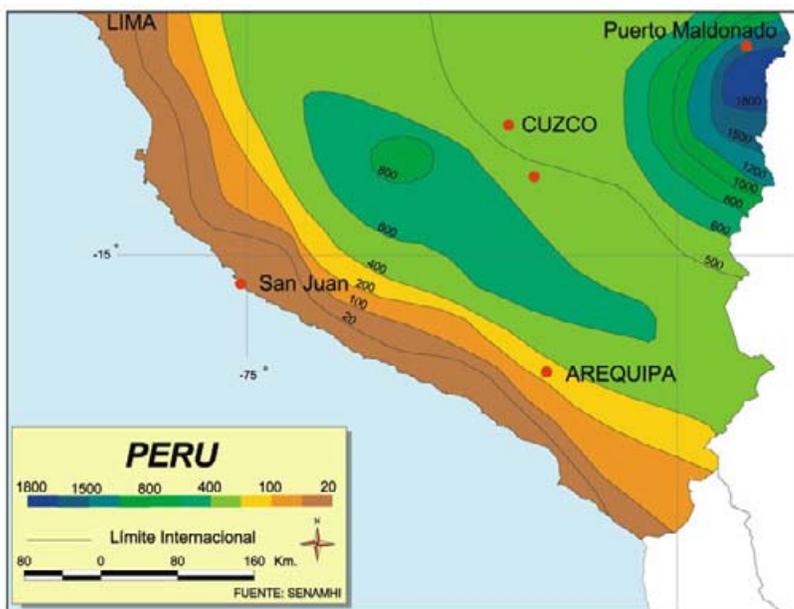
Generalmente, el período lluvioso en la sierra del Perú se inicia en septiembre y culmina en abril del siguiente año. En los años que se presenta El Niño, el período lluvioso tiende a adelantarse, inclusive con intensidad

Con respecto a la precipitación acumulada, los registros de las estaciones meteorológicas representativas de la parte media y alta de Cuzco y Puno señalan que el régimen fue deficiente con relación a los promedios normales, pero fue superior a los niveles de lluvias durante el evento Niño 82-83. Mientras tanto en la sierra (parte media y alta) de Arequipa, Moquegua y Tacna, las precipitaciones acumuladas durante el período lluvioso 97-98, superaron ligeramente a sus promedios y a lo acumulado durante el evento Niño 82-83 (ver Figuras I.2.3-9 y I.2.3-10).

**Figura I.2.3-9. Perú. Precipitación acumulada (mm) en la Sierra Sur. Septiembre 1982-mayo 1983**



**Figura I.2.3-10 Perú. Precipitación acumulada (mm) en la Sierra Sur. Septiembre 1997-mayo 1998**



El régimen pluviométrico en el sur del país se desplazó al oeste del continente determinado por la ubicación de la Alta de Bolivia al oeste de su posición normal (ver Figura I.2.2-1 antes mencionada), incrementando las precipitaciones en la franja costera y en las partes medias y altas de la vertiente occidental y oriental de la sierra sur, en especial en las partes altas de Ica.

## 2.4 COMPORTAMIENTO OCEANOGRÁFICO DURANTE EL NIÑO 1997-98

Los diferentes episodios El Niño producidos en el Perú se caracterizan por una invasión de aguas tropicales superficiales (ATS) y aguas ecuatoriales superficiales sobre gran proporción del mar peruano que presentan altas temperaturas (entre 23 a 28°C) y bajas salinidades (entre 33,0 a 34,6%), asociadas a bajas concentraciones de nutrientes, de clorofila "a" y de productividad.

Generalmente durante El Niño aparecen en la parte norte del Perú las ATS, asociadas con aguas sub-superficiales procedentes de la corriente de Cromwell y acompañadas con notables precipitaciones en la región marítima y en las costas adyacentes, por la gran inestabilidad atmosférica causada por las ATS.

El origen de este fenómeno está en el sistema de circulación oceánico-atmosférico, en el que toman parte los vientos alisios del SE y NE, la Contracorriente Nor-ecuatorial, la Corriente de Cromwell y la Corriente Costera Peruana, con el consiguiente desplazamiento hacia el sur de la franja de convergencia tropical y del frente ecuatorial.

Durante El Niño 1997-98, la temperatura superficial del agua del mar frente al litoral peruano tuvo un comportamiento por encima de su valor normal observándose dos máximos: el primero durante los meses del invierno de 1997 (julio-agosto) y el segundo en la estación del verano 1998 (desde inicios de diciembre), siendo los valores observados durante el verano superiores a los del invierno.

En las estaciones costeras de Paita, Chimbote, Huacho y Callao se registraron anomalías positivas significativas de 8,1°C, 7,4°C, 7,5°C y 7,5°C, respectivamente; mientras en la costa sur (Ilo) se presentaron anomalías de 5,2°C.

A partir de mayo de 1998 se observó un brusco descenso de la temperatura superficial del mar a lo largo del litoral, dando inicio al episodio frío 1998, más conocido como La Niña (ver Figs. I.2.4-1 a I.2.4-5).

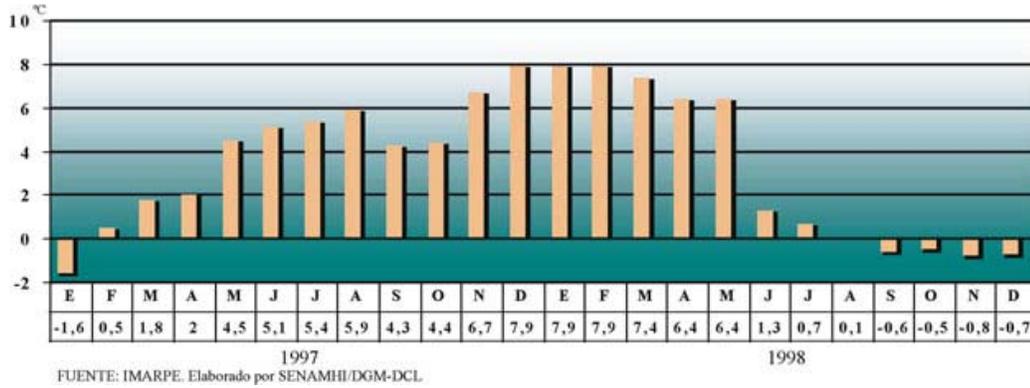


Figura I.2.4-1 Perú. Anomalia de la temperatura superficial del agua del mar durante el evento 97-98, en Paita

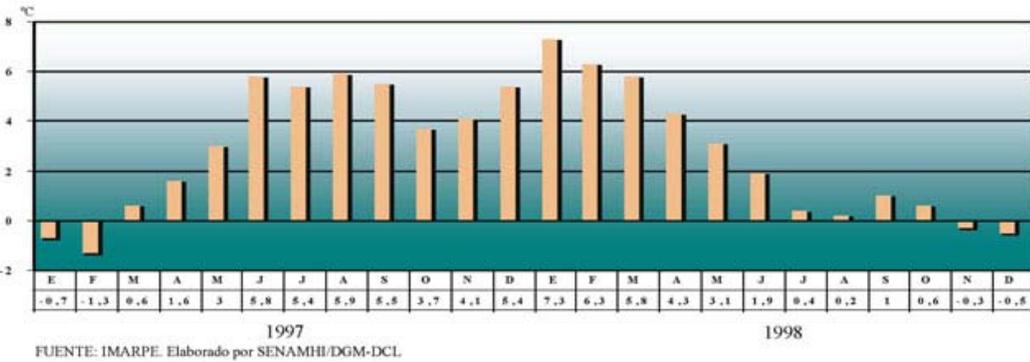


Figura I.2.4-2 Perú. Anomalia de la temperatura superficial del agua del mar durante el evento 1997-98 en Chimbote

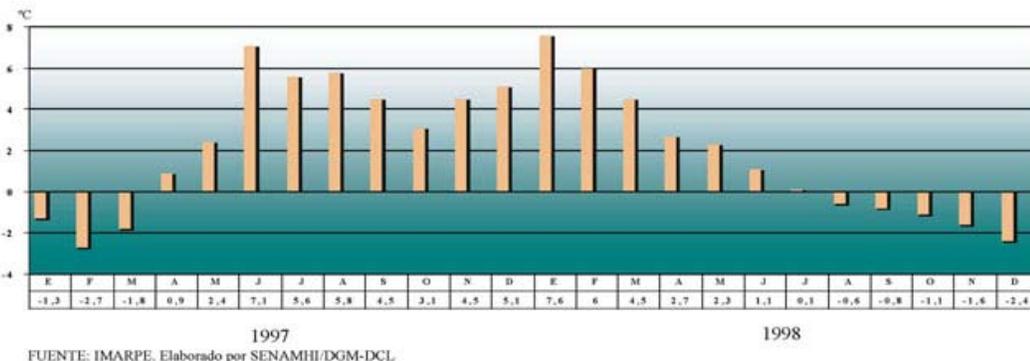


Figura I.2.4-3 Perú. Anomalia de la temperatura superficial del agua del mar durante el evento 1997-98 en Huacho

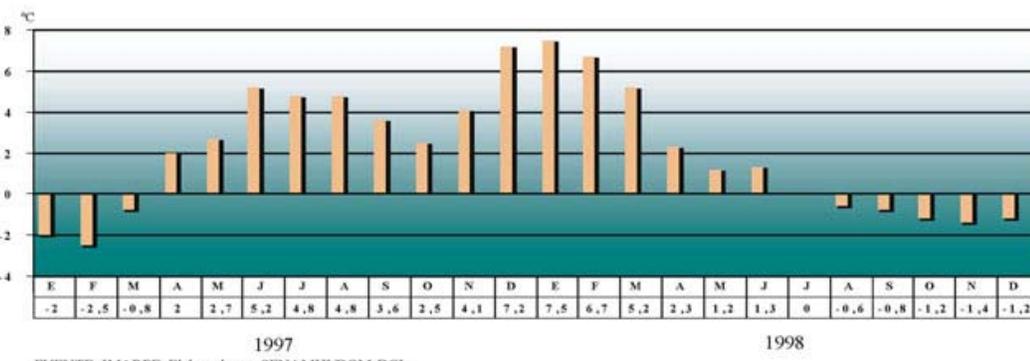


Figura I.2.4-4 Perú. Anomalia de la temperatura superficial del agua del mar durante el evento 1997-98 en Callao

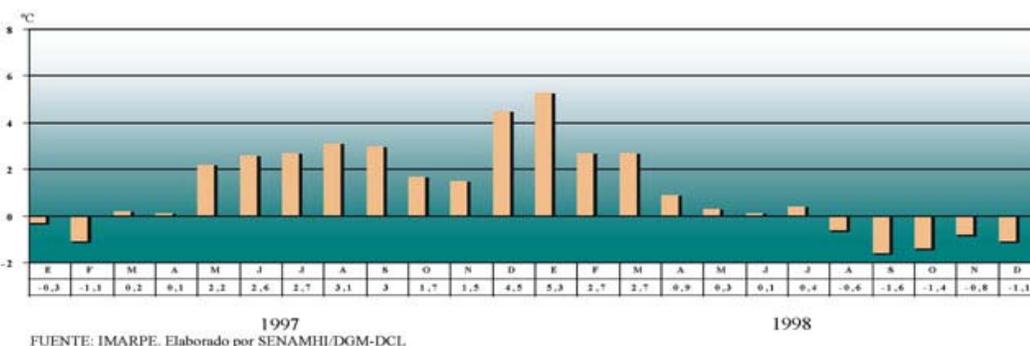


Figura I.2.4-5 Perú. Anomalia de la temperatura superficial del agua del mar durante el evento 1997-98 en ILO

La salinidad en la superficie del mar frente a las costas del Perú durante el año 1997 presentó un comportamiento inusual, por debajo de sus valores normales estacionales (verano e invierno), siendo el rango promedio de salinidad en el verano de 35,6 a 33,7 0/00 y durante el invierno de 35,5 a 32,0 0/00.

El valor más alto de salinidad a lo largo del litoral costero se registró en Paíta (35,731 0/00) durante noviembre/97, así como también el valor mas bajo (34,324 0/00) durante el mes de febrero (ver Figuras I.2.4-6 a I.2.4-10).

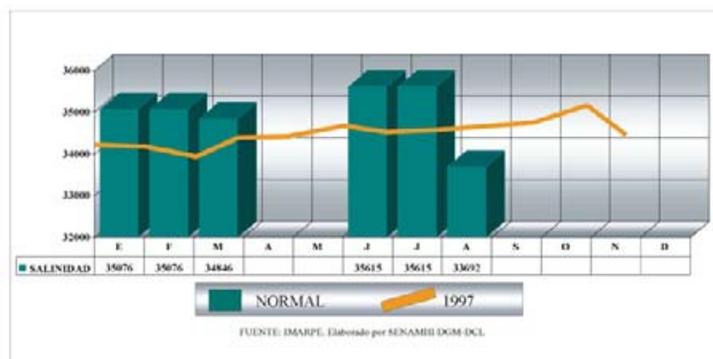
**Figura I.2.4-6 Perú. Comportamiento de la salinidad del agua de mar durante el año 1997 en Paíta**



**Figura I.2.4-7 Perú. Comportamiento de la salinidad del agua de mar durante el año 1997 en Chimbote**



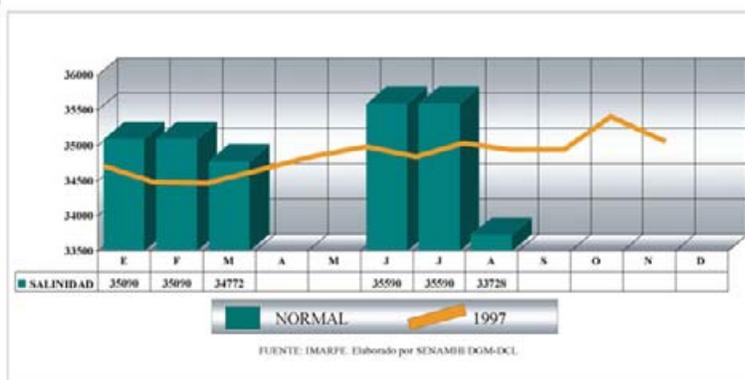
**Figura I.2.4-8 Perú. Comportamiento de la salinidad del agua de mar durante el año 1997 en Huacho**



**Figura I.2.4-9 Perú. Comportamiento de la salinidad del agua de mar durante el año 1997 en Callao**



**Figura I.2.4-10 Perú. Comportamiento de la salinidad del agua de mar durante el año 1997 en Ilo**



## 2.5 COMPORTAMIENTO HIDROLOGICO DURANTE EL EVENTO NIÑO 1997-98 EN LAS CUENCAS OCCIDENTALES DEL NORTE PERUANO

En correspondencia con las condiciones pluviométricas, el comportamiento de los ríos también expresó anomalías de gran significación. Las cuencas afectadas por excesos de precipitación fueron, durante los dos primeros meses de 1998, las de los departamentos de Tumbes, Piura y la provincia de Lambayeque. A partir de fines de enero hasta marzo, las lluvias torrenciales se presentaron también en el resto de la costa norte y central, desde Lambayeque hasta Ica. Un fenómeno inusual se presentó en el valle del Vilcanota (Provincia La Convención-Cuzco), donde ocurrieron deshielos de glaciares que generaron modificaciones en los regímenes hidrológicos de la cuenca. Los detalles sobre el comportamiento del régimen hidrológico de las principales cuencas afectadas, se presentan en el Capítulo II siguiente.

### 3. EL NIVEL DE DESARROLLO DEL CONOCIMIENTO DEL FENOMENO EL NIÑO EN PERU Y LAS VULNERABILIDADES QUE PRESENTA EL SECTOR CONOCIMIENTO

La presencia de fuertes eventos en las últimas décadas, el desarrollo científico mundial para mejorar el conocimiento de la variabilidad climática asociada a El Niño a través de información y pronósticos internacionales y la repotenciación de una instancia para el análisis de este fenómeno en el Perú (ENFEN), han sido factores determinantes en los avances que este país ha tenido en la comprensión del comportamiento del mismo en las costas peruanas. Más recientemente, los cruceros regionales de investigación oceanográfica desarrollados por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (mayo de 1998) y en los cuales participan instituciones del Perú (IMARPE-DHNM e INPESCA), permiten reforzar el comportamiento de variables meteorológicas y oceanográficas (oxígeno, nutrientes, clorofila, fitoplancton y zooplacton) en el mar de las costas peruanas.

Sin embargo, los resultados del último evento (1997-98) y el comportamiento que tuvieron las diferentes componentes atmosféricas y variables meteorológicas y oceanográficas, revelan que todavía existen vacíos importantes en el conocimiento del propio fenómeno y de la forma como éste se expresa en el territorio peruano. Igualmente, puso en evidencia la falta de modelos regionales que permitan profundizar en el conocimiento de la estructura atmosférica como base para predicciones y pronósticos espaciales. Si bien los modelos océano-atmósfera mundiales ofrecen valores de pronóstico sobre las temperaturas del océano, no incorporan relaciones con la precipitación.

Durante las sesiones de trabajo que se llevaron a cabo para este estudio, existió consenso en que el sector de conocimiento tiene vulnerabilidades en el soporte físico y metodológico, resumidas en lo siguiente:

#### **Vulnerabilidades en los sistemas de monitoreo y recabación de la información**

Si bien el Perú cuenta con registros históricos de larga data y con un sistema de observación de variables estructurado con varios elementos (sinópticos, climatológicos, oceanográficos), a la vez que dispone de personal calificado, presenta vulnerabilidad en la capacidad de monitoreo, análisis y predicción de la variabilidad climática que se produce con El Niño, debido a varios factores. Por una parte,

la baja densidad de las estaciones y puntos de medición dentro de la red, tanto marina<sup>1</sup> como continental, limita las posibilidades de modelajes espaciales del comportamiento climático previsible. A ello se une el deterioro que presentan muchas de las estaciones por falta de recursos para el mantenimiento, reduciendo aún más la capacidad de recolección de información.

Por otra parte, la plataforma para la recolección de datos es inadecuada, por la falta de automatización de las mismas. Existe también poco apoyo de receptores de imagen satelital para acceder a la información internacional disponible. Lo anterior redundo, por una parte, en dificultades y retrasos en el tratamiento y acceso a la información que se produce y, por la otra, en limitaciones para la actualización permanente generada en diversos centros de análisis y suministro de datos.

A lo anterior se suman las deficiencias en el sistema de telecomunicaciones para captación de información a tiempo real y para su suministro a los usuarios, por lo que en muchas de las zonas, este retraso imposibilita manejar el evento con mayores bases, cuando se presenta la contingencia.

#### **Vulnerabilidades en los análisis de las amenazas y los pronósticos**

Los análisis de la información para fines de predicción se ven limitados, también, por la falta de investigación permanente sobre el evento a nivel de todo el territorio, así como por las deficiencias en los modelos de pronósticos, asociado a las limitaciones de la data. En efecto, si bien respecto del evento 1997-98 la información oceánica suministrada por las tres estaciones de boyas existentes permitió hacer pronóstico sobre las condiciones oceánicas del Perú mediante el uso de modelos, durante los primeros meses de 1997, sin embargo, las extrapolaciones sobre los cambios océano-atmosféricos probables para el Perú, tuvieron altos niveles de incertidumbre.

Por tanto, aunque la aparición del Fenómeno El Niño fue alertada por los organismos científicos, no hubo unanimidad de criterio en el pronóstico sobre su magnitud y el área que afectaría. Los pronósticos de los organismos científicos durante el segundo semestre de 1997 indicaban que el fenómeno podía alcanzar niveles más moderados o iguales que los de 1982-83 y que afectaría la costa norte del país con lluvias e inundaciones.

En los pronósticos, las probabilidades de lluvias en

<sup>1</sup> Existe un número adecuado de boyas ancladas de las islas Galápagos hacia el oeste con mediciones de temperatura y vientos. Para el lado más cercano a la costa de Perú, la instrumentación es muy pobre. El IGP, la Universidad de Piura y la Dirección de Hidrología y Navegación de la Marina, han elaborado un proyecto para el Banco Mundial con el objeto de mejorar la instrumentación costera.

el norte eran altísimas, mientras que las de sequía en el sur andino eran menores y conforme se acercaba el mes de diciembre fueron bajando aún más para finalmente dispersarse. Pero los institutos científicos no informaron con meridiana claridad sobre la probabilidad de que se produjeran lluvias en la costa central (entre Chimbote e Ica), cosa que ocurrió y con afectaciones muy significativas.

Adicionalmente, los pronósticos indicaban que la temperatura atmosférica se mantendría alta en la costa mientras durase el calentamiento del mar, pero hubo muy poca información sobre este factor en la sierra y selva.

Prácticamente, hasta ahora no se ha podido hacer análisis y pronósticos más certeros de zonas más específicas, incluyendo la sierra y selva. Se ha conocido la existencia de un estudio reciente del IGP orientado a superar esta vulnerabilidad. Utilizando modelaje matemático, se ha establecido una relación estrecha entre la temperatura del mar frente a la costa de Piura y las precipitaciones en ese departamento, con buenos pronósticos de lluvias para la ciudad, basados en las series históricas disponibles. Este trabajo no se ha realizado para el resto de la costa. También en la sierra y selva sur de Perú se han hecho algunos análisis, como es el caso de la región de Puno<sup>2</sup>.

#### ■ Vulnerabilidad en la difusión de la información

Se reconoce, adicionalmente, una debilidad en los sistemas de información orientados a los usuarios para apoyarlos en la toma de decisiones, lo cual completa el marco de las principales vulnerabilidades físicas presentes en el sector conocimiento. Las debilidades institucionales y de gestión relacionadas con la difusión y con la gestión se presentan en los Capítulos VI y VII de este volumen.

#### ■ Vulnerabilidad de la infraestructura física de apoyo al conocimiento climático

Durante el episodio El Niño 1997-98, se puso en evidencia una alta fragilidad de las instalaciones climáticas frente a crecidas extraordinarias de los ríos. Cincuenta y una estaciones sufrieron daños, quedando quince de ellas totalmente inhabilitadas para la recolección de la data, precisamente en zonas donde era indispensable mantener un flujo permanente de información por ser las más afectadas. Este fue el caso de la estación de Tumbes y algunas del altiplano. Los problemas de información explican parcialmente la limitación que se presentó para pronosticar el comportamiento climático en la costa, desde La Libertad hasta Lima.

## 4. LA RESPUESTA DEL SECTOR CONOCIMIENTO Y LAS ACCIONES FÍSICAS PARA ENFRENTAR EL EVENTO 1997-98

En conocimiento, por vía Internet y por información directa recabada, de los indicadores del océano sobre la proximidad del evento El Niño 1997-98, el SENAMHI y el IMARPI elaboraron planes de actuación para cubrir las tres etapas que fueron establecidas a nivel gubernamental para manejar los impactos del fenómeno:

■ En la etapa preventiva, las acciones persiguieron garantizar la mejor información sobre el evento, mejorando la capacidad de monitoreo. En este sentido se llevaron a cabo las siguientes acciones:

□ Una planificación de la vigilancia a realizar y de la red básica a utilizar, con 130 estaciones para el suministro de la información diaria.

□ La rehabilitación de algunas estaciones ubicadas en zonas clave, teniéndose limitaciones de recursos para cubrir las requeridas.

□ La adquisición de receptores de imágenes satélite, así como de otros equipos meteorológicos a nivel nacional.

□ Activación del ENFEN.

■ Durante la contingencia se reforzó el seguimiento mediante:

□ Establecimiento de turnos de 24 horas en el SENAMHI.

□ Convenios con la Universidad de Tumbes para usar información climática ante el daño de las estaciones del SENAMHI.

■ En la reconstrucción, se identificaron debilidades y necesidades físicas para el fortalecimiento de la función.

□ Preparación de un plan para mejorar el sistema de vigilancia, el cual constituyó realmente un listado de requerimientos no estructurado. En agosto de 1998, dicho plan fue reestructurado con enfoque de prevención.

□ El IGP ha elaborado planes para mejorar los modelos de pronóstico de la relación entre la temperatura superficial del mar (El Niño) y la precipitación en diferentes zonas del territorio nacional, principalmente en la costa, con fines preventivos.

<sup>2</sup> Woodman Pollit, Ronald. El Fenómeno El Niño y el clima en Perú. IGP. 1998.

## 5. LECCIONES APRENDIDAS Y PRINCIPALES POLITICAS PARA MEJORAR EL CONOCIMIENTO DEL FENOMENO Y REDUCIR LAS VULNERABILIDADES

La ocurrencia de un segundo evento extraordinario en los últimos veinte años con impactos devastadores, ha generado en la sociedad peruana, incluidos los niveles políticos, profesionales y la sociedad civil, la conciencia de que es necesario mantener investigaciones sostenidas para mejorar el conocimiento del fenómeno.

La constatación de la recurrencia del fenómeno, de su tendencia a la intensificación, la certeza de que no siempre ocurre de la misma manera ni se presenta con las mismas características y las dificultades que todavía existen para su cabal comprensión, son factores que también valorizan la necesidad de reforzar la capacidad de pronóstico sobre futuros eventos.

Si bien se están haciendo avances importantes a nivel mundial y regional para profundizar sobre esta materia, Perú requiere también hacer un esfuerzo para mejorar el manejo de las relaciones del fenómeno con el clima a nivel de los distintos ámbitos territoriales del país. Igualmente, ha sido objeto de reflexión, la debilidad que se tiene para usar la información climática.

El uso de la información sobre El Niño adquiere una alta prioridad tomando en cuenta los fuertes impactos que éste ha tenido sobre la economía y los distintos sectores, así como sobre la sociedad civil y el ambiente. Ello ha planteado la conveniencia de direccionar las investigaciones y los análisis a los fines de apoyar las necesidades de los usuarios (públicos y privados) y determinar a cuales de ellos deberán dirigirse los esfuerzos de investigación y de difusión de la información.

Dentro del marco de estas lecciones aprendidas del episodio 1997-98 y de su comparación con las de 1982-83, las

instituciones participantes en este estudio han identificado un conjunto de políticas que persiguen reducir las vulnerabilidades físicas y mejorar la capacidad para el manejo del conocimiento del fenómeno y predecir su comportamiento.

Las más importantes son:

- Modernizar los sistemas de observación y monitoreo climático y oceanográfico, densificando la red existente, automatizando los sistemas de registro y garantizando la información en tiempo real mediante sistemas de telecomunicaciones y de difusión a los usuarios.
- Mejorar el procesamiento y análisis de información, orientado a un conocimiento mayor de la estructura atmosférica, de las relaciones causa-efecto entre variables climáticas y con las oceanográficas, atendiendo a las necesidades de los usuarios.
- Mejorar los modelos de pronóstico apoyados en insumos de investigación y de información confiables y usar técnicas de modelación a una escala más reducida (nacional, local).
- Dotar y capacitar al personal en los diferentes niveles durante el proceso de modernización, para mejorar la capacidad de pronóstico.
- Establecer mecanismos y canales adecuados para la difusión de la información, y montar sistemas de alerta temprana que incorporen a los usuarios mas necesitados de este tipo de información.
- Evaluar las vulnerabilidades de las infraestructuras e instalaciones de monitoreo y recabación de información, como base para una política de protección o de reubicación de las instalaciones o infraestructuras para garantizar el funcionamiento permanente de la red, inclusive durante las contingencias.