

INFORME SUPPLEMENTARIO II

**MEOROLOGIA, HIDROLOGIA E
HIDRAULICA**

INFORME SUPLEMENTARIO II
METEOROLOGÍA, HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

CAPITULO I GENERALIDADES	II - 1
1.1 Propósito del Estudio	II - 1
1.2 Procedimientos del Estudio	II - 1
CAPITULO II RECOLECCION DE DATOS Y OBSERVACIONES	II - 3
2.1 Recolección de Datos	II - 3
2.2 Instalación de las Estaciones de Observación	II - 3
2.3 Observaciones	II - 5
CAPITULO III METEOROLOGIA EN LA CUENCA	II - 7
3.1 Temperatura Atmosférica	II - 7
3.2 Humedad	II - 8
3.3 Presión Atmosférica	II - 8
3.4 Precipitación	II - 9
3.5 Horas de Brillo Solar y Radiación Solar	II - 10
3.6 Evaporación	II - 10
3.7 Dirección y Velocidad del Viento	II - 11
CAPITULO IV HIDROLOGIA E HIDRAULICA EN EL LAGO Y LOS RIOS	II - 12

4.1 Nivel de aguas y volumen del lago	II - 13
4.2 Nivel de aguas y caudal de los ríos	II - 14
4.3 Temperatura de Aguas	II - 16
CAPITULO V CARACTERISTICAS DE LOS DATOS RECOGIDOS DURANTE LA INVESTIGACION	II - 17
5.1 Situación Hidrológica y Meteorológica entre Marzo de 1988 y Febrero de 1989	II - 17
5.2 Consideraciones sobre la inundación de Enero de 1988	II - 18

LISTA DE TABLAS

	<u>Pag.</u>
Tabla S2-1	Existing Meteorological and Hydrological Data ... II - 21
Tabla S2-2	Meteorological and Hydrological Observation Stations Installed II - 22
Tabla S2-3	Water Level of Lake Ypacarai II - 23
Tabla S2-4	Precipitation in January, 1988 II - 24
Tabla S2-5	Water Level in the Lake in January, 1988 II - 24

LISTA DE FIGURAS

		<u>Pag.</u>
Fig. S2-1	Location of Existing Observatories	II - 26
Fig. S2-2	Location of Installed Meteorological and Hydrological Observation Stations	II - 27
Fig. S2-3	Atmospheric Temperature	II - 28
Fig. S2-4	Humidity	II - 29
Fig. S2-5	Atmospheric Pressure	II - 30
Fig. S2-6	Rainfall / Asuncion, San Lorenzo, Caacupe and Carapegua	II - 31
Fig. S2-7	Rainfall (Observed in this Project)	II - 32
Fig. S2-8	Sunshine Hours and Solar Radiation	II - 33
Fig. S2-9	Evaporation	II - 34
Fig. S2-10 (1~2)	Wind Direction and Velocity / Asuncion	II - 35
Fig. S2-11 (1~2)	Wind Direction and Velocity / (Observed in this Project)	II - 37
Fig. S2-12-1	Water Level of Lake Ypacarai, Yagua-resa-u River and Yuquyry River (Observed in this Project)	II - 39
Fig. S2-12-2	Water Level of Lake Ypacarai	II - 40
Fig. S2-13	Relation between Water Level and Water Volume ..	II - 41
Fig. S2-14	Rating Curves of Pirayu River and Yuquyry River ..	II - 42
Fig. S2-15	Water Temperature	II - 43

INFORME SUPLEMENTARIO II

METEOROLOGÍA, HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Propósito del Estudio

Son dos los objetivos del estudio de la meteorología, hidrología e hidráulica en el presente Estudio :

- (1) Recolección de los datos meteorológicos de la cuenca del lago Ypacaraí y los datos hidrológicos e hidráulicos de los ríos afluentes y efluentes del lago desde los observatorios existentes y los nuevos observatorios instalados por el Proyecto, con el propósito de utilizarlos como datos de entrada para la simulación de contaminación.
- (2) Realizar el análisis de los anteriores datos para comprender su característica y servir de base para las futuras investigaciones.

1.2 Procedimientos del Estudio

Los estudios ejecutados para el logro de los objetivos mencionados fueron :

(1) Recolección de Datos

Se recolectaron todos los datos existentes sobre la temperatura atmosférica, humedad, precipitación, horas de radiación solar, evaporación, dirección y velocidad de vientos, nivel de agua del lago Ypacaraí; de las estaciones cercanas al lago (Asunción , San Lorenzo, Caacupe, Carapegua, San Bernardino). Los datos más antiguos recolectados fueron de 1950.

(2) Instalación de Estaciones de Observación

Se instalaron estaciones meteorológicas (medición de temperatura atmosférica, humedad, presión atmosférica, precipitación, radiación solar, dirección y velocidad del viento y temperatura del agua) y estaciones de medición de niveles de aguas.

(3) Observaciones

Se realizaron observaciones continuadas en las estaciones arriba mencionadas (de Marzo de 1988 a Febrero de 1989) y observaciones no periódicas de los ríos afluentes Pirayú y Yuquyry y el río efluente Salado.

(4) Compilación y Análisis de Datos

Se realizaron la compilación y análisis de datos existentes y los resultados de observaciones realizadas.

Los resultados concernientes a los puntos (1), (2) y (3) se tratan en el capítulo II y los concernientes al punto (4) en el capítulo III. En el capítulo IV se trata la hidrología del lago Ypacaráí y de los ríos afluentes y efluentes.

CAPITULO II

RECOLECCION DE DATOS Y OBSERVACIONES

2.1 Recolección de Datos

Existen 4 estaciones meteorológicas en las vecindades de la cuenca del lago Ypacarai : Asunción, San Lorenzo, Caacupe y Carapegua, y una estación de observación de nivel de aguas en San Bernardino. La estación de Asunción ha trasladado sus instalaciones en 3 oportunidades : antes de 1964 en la Armada, de 1965 a 1968 en Sajonia, después de 1969 en el aeropuerto internacional. En la Figura S2-1 se muestra la ubicación de las estaciones.

De los datos existentes de estas instalaciones se ha realizado la selección del mayor tiempo posible de los items que podían ser necesarios para el presente Estudio (Ver Tabla S2-1). Estos items son :

- (1) Temperatura atmosférica
- (2) Humedad
- (3) Precipitación
- (4) Horas de sol
- (5) Evaporación
- (6) Dirección y velocidad del viento
- (7) Nivel de agua del lago Ypacarai
(La marca 0 mt en la mira es de 62.29 msnm)

2.2 Instalación de las Estaciones de Observación

Para el presente Estudio, se instalaron 11 estaciones meteorológicas e hidrológicas dentro de la cuenca del Lago Ypacarai. Las características y la ubicación de estas estaciones se muestran en la Tabla S2-2 y Fig. S2-2, respectivamente. Los items de observación se muestran abajo y junto con los datos recolectados de las estaciones existentes se han acumulado los datos requeridos para el Estudio.

Items de observación :

- | | |
|-----------------------------|-----------|
| (1) Temperatura atmosférica | 3 lugares |
| (2) Humedad | 2 lugares |
| (3) Presión Atmosférica | 2 lugares |
| (4) Precipitación | 6 lugares |

(5) Radiación Solar	1 lugar
(6) Dirección del viento	1 lugar
(7) Velocidad del viento	3 lugares
(8) Nivel de agua del lago y ríos	7 lugares
(9) Temperatura del agua	1 lugar

Se detallan a continuación las razones de la ubicación, ítems de observación y período de las observaciones por estación.

La Estación Central de Observación en San Bernardino

Se decidió la instalación de la estación central en San Bernardino por estar cerca del lago y ser más notable la contaminación de las aguas del lago en dicha zona. Los ítems de observación son la temperatura atmosférica, precipitación, radiación solar, dirección y velocidad del viento, nivel de agua y la temperatura del agua del lago Ypacarai.

De esta estación se obtuvieron los valores medio, mínimo, máximo y acumulado diario de cada ítem, además de registrar en forma continuada los valores instantáneos. La observación del nivel de aguas se ha realizado como complemento de las observaciones que se realizan en la estación existente. La elevación 0 mt de la estación corresponde a 62.84 m.

Estación meteorológica de Ypacarai y Aregua

Estas estaciones sirvieron de complemento a la estación central mencionada y se ubicaron en las ciudades de Ypacarai y Aregua, lugares cercanos al lago. En estas estaciones se midieron : temperatura atmosférica, humedad, presión atmosférica, precipitación y velocidad del viento. Estas estaciones pueden registrar los valores instantáneos en forma continuada para cada ítem.

Estaciones de mediciones de precipitación en San Lorenzo, Pirayú y Paraguari

Se instalaron estaciones en San Lorenzo, Pirayú y Paraguari para que junto con las estaciones arriba mencionadas se puedan comprender las condiciones de precipitación en toda la cuenca.

Estaciones de observación de nivel de agua del lago Ypacarai, río Yaguaresa-u, río Yuquyry y río Salado

Se instaló la estación de medición de nivel de aguas del lago Ypacarai en el mismo lugar de la estación central de San Bernardino (la marca cero de la estación es de 62.39 m).

Para conocer el caudal de ingreso a través de los ríos se instalaron estaciones en Yagua Resa-u -curso principal del río Pirayú- y en el Yuquyry. Además, con el objeto de estimar la cantidad de agua salida del lago, se instaló una estación sobre el río Salado.

Todas estas estaciones se instalaron en los puentes de los caminos principales, considerando su facilidad de control y mantenimiento.

La estación del río Salado se desmontó el 7 de Junio de 1988 para evitar la influencia de las aguas del río Paraguay que creció de manera excepcional por esa fecha. Por lo tanto, no se obtuvieron datos de esta estación.

Regla de observación de nivel de aguas del río Ypucu y río Salado

Se instalaron las reglas de observación de nivel de aguas en el Ypucu (un ramal del Pirayú) y en el río Salado como instalación de reserva de las estaciones mencionadas anteriormente.

2.3 Observaciones

Se realizaron observaciones meteorológicas e hidrológicas desde Marzo de 1988 a Febrero de 1989 en las estaciones instaladas. Además, desde el 13 de Abril al 23 de Junio de 1988 se realizó la medición de descarga en el río Yagua-resa-u, Ypucú (corriente principal y secundaria, respectivamente, del Pirayú), en el Yuquyry, y en el río Salado. De las mediciones de descarga se confeccionaron la curva de relación para el río Pirayú y el Yuquyry.

Fecha (1988)	Río Pirayú		Río Yuquyry	Río Salado
	Yagua-Resa-u	Ypucú		
Abril 3	○	○	○	○
Abril 19	○	○	○	○
Mayo 4	○	○	○	○
Mayo 19	○	○	○	○
Junio 1	○	○	○	-
Junio 13	○	○	○	
Junio 20	-	-	-	○
Junio 23	-	-	○	-

Nota : ○ muestra las mediciones de descarga realizadas en la fecha indicada

CAPITULO III

METEOROLOGIA EN LA CUENCA

El área del Estudio se localiza al este de la ciudad capital de Asunción en las coordenadas de 25° latitud sur y 57° longitud oeste, zona subtropical desde el punto de vista climático. La primavera es de Setiembre a Noviembre, el verano de Diciembre a Febrero, otoño de Marzo a Mayo y el invierno de Junio a Agosto. La temperatura media diaria en verano es de aproximadamente 27°C, en invierno de 18°C y la media anual es de 23°C. La precipitación anual es de aproximadamente 1,500 mm, mostrando una tendencia a llover más en verano y poco en el invierno ; sin embargo, no existe una clara diferencia entre las épocas secas y épocas lluviosas.

De los datos recolectados y observados en el presente Estudio se puede mencionar lo siguiente sobre la meteorología del lago Ypacaraí.

3.1 Temperatura Atmosférica

Se han recolectado los datos de las temperaturas diarias media, máxima y mínima de los estaciones de Asunción, San Lorenzo, Caacupe y Carapegua. Sin embargo, como casi no existen diferencias entre los puntos mencionados se ha tomado como punto representativo la temperatura registrada en Asunción. (En las Tablas S2-3, S2-4 y S2-5 se muestran la temperatura media mensual y los valores medios mensuales de las temperaturas diarias máxima y mínima ; en la Figura S2-3 se grafican los promedios anuales de estos valores a partir de 1965).

Como se puede observar de la Figura S2-3, el valor normal anual es de 27°C de media mensual en verano, 18 a 19°C en invierno y 20 a 25°C en primavera y otoño ; el promedio anual es de 22.9°C. Los valores medios mensuales de la temperatura máxima y mínima diaria cambian en forma paralela a la media mensual variando en $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Esto significa una característica en que como la variación de la temperatura diaria es grande, la variación estacional es comparativamente pequeña.

En cuanto a la variación anual, se encuentra una diferencia de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ entre la media mensual, la media mensual de la temperatura máxima y mínima diaria y los valores máximos y mínimos por mes.

Se encuentra que la temperatura de cada año por cada mes, no

precisamente corresponde a los valores del promedio anual ; sin embargo, la temperatura media anual es casi constante.

Se ha graficado en la Figura S2-3, sólo el promedio mensual de San Bernardino. Se encuentra una tendencia a la elevación de temperatura en el orden de Ypacaraí, Aregua, San Bernardino ; aunque no se encuentra una diferencia esencial entre los puntos. La temperatura media mensual observada en el presente Estudio en San Bernardino muestra una variación bastante especial con respecto a las registradas en Asunción desde 1965 ; se encontró una máxima en marzo y mínima en mayo y julio.

3.2 Humedad

Se han recolectado los valores de la humedad media mensual de 1965 a 1979 de Asunción .

De los valores anuales presentados en la Figura S2-4, se puede ver que la humedad en Marzo a Junio es alta (72 %) y baja en Setiembre a Diciembre (65 %), siendo el promedio anual de 69 %. Sin embargo, como se vé en la Tabla S2-7, en el mismo mes existe una diferencia de 20 % entre los valores más altos y más bajos, habiendo una gran variación anual y no pudiéndose encontrar una clara variación estacional.

Los valores de Ypacaraí son ligeramente más altos en comparación con los de Aregua ; sin embargo, no puede decirse que existe una diferencia fundamental entre estas 2 estaciones. Por otro lado, los valores observados en Asunción muestran una misma tendencia de variación (Ver Figura S2-4).

3.3 Presión Atmosférica

Con respecto a este ítem, no se han recolectado datos de estaciones existentes. Como existe casi una coincidencia entre los valores de Ypacaraí y Areguá, se ha graficado en la Figura S2-5 solamente la presión atmosférica media mensual de Ypacaraí.

3.4 Precipitación

Se recolectaron los datos sobre la precipitación diaria de las estaciones de Asunción, San Lorenzo, Caacupe y Carapegua. De estos datos se calcularon el promedio mensual por estación como se muestra en la Figura S2-6.

En todos los puntos se observa la tendencia a una precipitación alta en Diciembre-Abril (150 mm) y baja en Julio-Setiembre (70 ~ 80 mm) . Esto significa una época lluviosa en verano y época seca en invierno, aunque no existe una diferencia notable entre estas estaciones.

La precipitación anual es de 1,394 mm en Asunción, 1,525 mm en San Lorenzo, 1,589 mm en Caacupe y 1,586 mm en Carapegua ; aunque Asunción tiene una precipitación ligeramente menor, la diferencia entre éstos no es muy grande.

La precipitación mensual y anual tienen grandes variaciones ya que en los datos recolectados se observó una precipitación mensual máxima en Carapegua de 573.4 mm (Abril 1986), y máxima anual de 2,456.3 mm (1965) en San Lorenzo. Además, como existe una gran variación entre estaciones considerando el mismo año y el mismo mes, se puede decir que la precipitación tiene una fuerte característica regional, es decir, las lluvias son muy localizadas.

Se muestran en la Figura S2-7 los datos de la precipitación mensual de San Bernardino, Ypacaraí, Areguá, San Lorenzo, Pirayú y Paraguarí. De esta figura se puede ver que la tendencia general de la variación estacional de cada estación no cambia grandemente con respecto a la de los datos recolectados, pero viéndolos por mes, se observa una gran disminución de la precipitación en marzo y julio y un valor más del doble en abril con respecto al año normal.

También, como se ha mencionado anteriormente, por la característica regional de la precipitación, se encuentra una gran diferencia en la forma y cantidad de precipitación por cada área .

3.5 Horas de Brillo Solar y Radiación Solar

3.5.1 Horas de sol

Se han recolectado los datos existentes de horas de brillo solar mensual en Asunción, San Lorenzo y Carapegua. Como no existe una diferencia significativa entre áreas, se ha tomado la estación de Asunción como representativa presentándose en la Figura S2-8 sus valores del año normal. Como se puede ver de esta figura, el valor del año normal es de 250 horas / mes en verano (Diciembre a Febrero), de 170 horas / mes en invierno (Julio a Agosto), y de 2,530 horas al año. En cuanto a la variación anual, existen meses que varían casi el doble pudiendo causar un 20 % de variación por año. Es por esto que la tendencia estacional mencionada no está claramente definida.

3.5.2 Radiación solar

En esta oportunidad no se efectuó la medición de horas de brillo solar, sino que se observó en San Bernardino la radiación solar diaria. Los resultados de sus valores promedios mensuales se muestran en la Figura S2-8. De la figura se puede ver que la radiación solar observada tiene una variación estacional proporcional con las horas de brillo solar registradas en los datos recolectados.

3.6 Evaporación

Se recolectaron los datos de la evaporación mensual de San Lorenzo y Caacupe. En esta oportunidad no se realizó la instalación de equipos para la medición de la evaporación.

La evaporación anual normal es de 880 mm en San Lorenzo y 1910 mm en Caacupe. Esta gran diferencia se cree que se debe más a la diferencia de forma de observación, antes que a la diferencia regional. En efecto, la medición en San Lorenzo se realiza en un recipiente pequeño y en Caacupe con un evaporímetro de Piche. Según los comentarios de los encargados, ambos valores observados tienen sus inconvenientes, pero se cree que los datos de Caacupe tienen mayor precisión. Por lo tanto, se toman los valores de Caacupe para el presente Estudio, presentándose los valores del

año normal en la Figura S2-9.

De la Figura S2-9, se puede ver que el valor del año normal es alto en Octubre - Diciembre (200 mm/mes) y bajo en Abril-Junio (120 mm/mes). Sin embargo, al igual que las horas de sol, la variación entre los años es grande, por lo que la variación estacional mencionada no se puede tomar tan claramente.

3.7 Dirección y Velocidad del Viento

Se han recolectado los datos de dirección y velocidad del viento de cada mes de 1986 a 1987 en la estación de Asunción (aeropuerto internacional) , y su gráfico se muestra en la Figura S2-10. En la Figura S2-11 se muestran los resultados mensuales de San Bernardino.

En cuanto a la dirección del viento, en Asunción no existe mucha diferencia por mes, siendo predominante durante todo el año los vientos del noreste y del sur, y el viento oeste casi no se presenta.

Los resultados de las mediciones de San Bernardino confirman las tendencias mencionadas y son predominantes los vientos del este-noreste y del sur-suroeste.

En cuanto a la velocidad del viento, aumenta en el orden siguiente: Ypacarai, San Bernardino, Aregua y Asunción. Esto se cree que se debe más al cambio de condición de instalación de cada estación que a diferencias regionales.

CAPITULO IV

HIDROLOGIA E HIDRAULICA EN EL LAGO Y LOS RIOS

El lago Ypacarai es un lago de forma plana con una profundidad máxima de 3m y con un área, en tiempos normales, de 59.6km². Está ubicada en el fondo de un valle configurado al este por la Cordillera de Los Altos y al Oeste por la Cordillera de Yaguarón.

Los principales ríos afluentes al lago son dos: el arroyo Pirayú que ingresa por el sur (la corriente principal se llama Yagua-resa-u y la secundaria Ypucu) y el arroyo Yuquyry que ingresa al lago realizando un giro desde el lado oeste.

Por otro lado, existe sólo un río efluente que es el Salado (en época de crecidas, gran cantidad de caudal sale por los humedales que se extienden en el lado oeste de este río) que conecta el lago con el río Paraguay. Las subcuencas del área del Estudio se detallan a continuación, junto con su superficie (Ver también la Figura S2-2).

Subcuenca		Area de Captación (Km ²)	Observación
Ríos Afluentes	Subcuenca del Pirayú	353.7	Yagua-resa-u y Ypucu
	Subcuenca del Yuquyry	343.9	
	Subcuenca Este	75.2	
	Subcuenca Oeste	60.2	
Total		833.0	
Lago Ypacaraí		59.6	en tiempos normales
Rio Salado		191.4	río efluente

A continuación se mencionan las características y condiciones de variación del nivel, volumen, temperatura de agua del lago Ypacarai, y el nivel y la descarga de los ríos afluentes y efluentes.

4.1 Nivel de aguas y volumen del lago

Características de la fluctuación del nivel de aguas

En la Tabla S2-3 se muestra la variación del nivel del agua del lago por mes, desde el año 1965, datos basados en las mediciones del club Militar, Naval y Aeronáutico de San Bernardino. En ese lapso el promedio del nivel fue de 1.20mts y aunque no existe una gran variación estacional, la variación anual es grande; por otro lado, la correlación entre el nivel de agua y la precipitación en cada mes es baja, pudiendo inferirse que el nivel del agua no solamente tiene relación con la entrada del agua desde la cuenca sino también con las condiciones de la salida por el río Salado.

Se muestran en la Figura S2-12 las mediciones diarias del nivel del agua del lago y de los ríos Yagua-resa-u (Pirayu) y el Yuquyry efectuadas por la estación automática instalada en San Bernardino por el presente Proyecto.

Como se puede ver de la figura anterior, con el aumento del nivel de agua en los ríos, casi al mismo tiempo aumenta el nivel de las aguas del lago; sin embargo, el nivel de las aguas del lago una vez que ha subido no baja fácilmente, aunque las aguas de los ríos afluentes bajen. Esto se cree que se debe, aparte de la gran superficie relativa del lago, a que los materiales arrastrados e islas de vegetación en las épocas de crecidas, obstaculizan la salida de las aguas del lago.

Se puede mencionar que en el año 1988, el nivel del río Paraguay alcanzó un nivel excepcionalmente alto (después del año 1983). Aunque a mediados de julio-época de la creciente más alta-la influencia de las aguas del río Paraguay llegó a unos 3Km aguas abajo del lago Ypacarai, el nivel de las aguas del lago fue aun 2m más alto que el del Río Paraguay. Además, en estas condiciones, la corriente del río Salado era uniforme en las cercanías de la salida del lago. Por lo tanto, no se puede decir que el nivel de las aguas del río Paraguay influyó directamente en el nivel de las aguas del lago.

Relación entre el nivel de las aguas y el volumen de aguas

En base a las mediciones topográficas y batimétricas efectuadas se ha graficado en la Figura S2-13 la relación entre el nivel de agua del lago Ypacaraí y el volumen de aguas. De esta figura se puede ver que el promedio del nivel del lago es de 63.49m (1.2m en la regla de la marina) y el volumen a ese nivel es de $115.3 \times 10^6 \text{ m}^3$, con una superficie de 59.6 km^2 .

4.2 Nivel de aguas y caudal de los ríos

Ríos afluentes (Pirayu y Yuquyry)

Se muestra en la Figura S2-12 el registro diario de los niveles del río Yagua-resa-u (Pirayu) y el Yuquyry, medido en los medidores automáticos instalados (para su ubicación ver Figura S2-2). Como se puede ver en la figura, la forma y volumen de precipitación varía por cada estación. Sin embargo, el nivel del Yagua-resa-u y el Yuquyry son casi semejantes, presentándose un atraso de 1 a 2 días entre el pico de la precipitación y el pico del nivel de los ríos (aunque esto varía en cierta medida con el tipo de lluvias).

En la Figura S2-14 se ha graficado la relación entre el nivel de aguas y el volumen de descarga obtenido de las mediciones directas de descarga en el Yagua-resa-u y el Ypucu (6 veces c/u) y el Yuquyry (7 veces) y la lectura del nivel de la estación automática o de la mira instalada (ver Fig. S2.14).

Esta relación obtenida es:

(1) Arroyo Pirayú

$$Q = 6.76 (H-0.04)^2$$

En donde, Q : descarga del Yagua-resa-u y el Ypucu (m^3/s)

H : Nivel de agua en el Yagua-resa-u (m)

Nota: El área de la subcuenca aguas arriba del punto de medición es de 311.2 km^2

(2) Arroyo Yuquyry

$$Q = 3.76 (H-0.32)^2$$

En donde, Q : Descarga (m^3/s)

H : Nivel de aguas (m)

Nota : el área de la subcuenca aguas arriba del punto de medición es de 275.3 Km²

Se muestra la descarga diaria total de toda la cuenca del lago, utilizando las fórmulas descritas en el párrafo anterior y la fórmula que se describe a continuación

$$Q_T = (Q_P + Q_Y) \times \frac{A_T}{A_P + A_Y}$$

En donde ,

- QT: Descarga total al lago desde toda la cuenca (m³/día)
- QP: Descarga del Arroyo Pirayú en la estación de medición (m³/día)
- QY: Descarga del arroyo Yuquyry en la estación de medición (m³/día)
- AT: Area total de captación de la cuenca (833 Km²)
- AP: Area de captación del arroyo Pirayú aguas arriba de la estación de medición (311.2Km²)
- AY: Area de captación del Arroyo Yuquyry aguas arriba de la estación de medición (275.3 Km²)

Río Efluente (río Salado)

La estación de medición instalada en el Río Salado, tal como se mencionó en el punto 2.2, fue desmontada el 7 de Junio de 1988, por la creciente del río Paraguay que influyó en el nivel del río Salado en el punto de instalación de la estación. Por lo tanto, no se han obtenido datos sobre los niveles de agua en esta estación.

En el punto de la estación de medición se realizaron 5 mediciones de descarga del río:

<u>Fecha (1988)</u>	<u>Descarga (m³/seg)</u>
13 de Abril	17.2
19 de Abril	11.8
4 de Mayo	14.7
19 de Mayo	17.2
20 de Junio	15.6

Nota: No se ha calculado la curva de relación porque el nivel de aguas que se observó estaba influenciado por las aguas de retroceso del río Paraguay.

4.3 Temperatura de Aguas

En la Figura S2-15 se muestra la temperatura de aguas mínima, máxima y media diaria y el promedio mensual, respectivamente. Como se puede ver de la comparación entre la Figura S2-15 y la Figura S2-3, la variación estacional de la temperatura de las aguas en comparación con la atmosférica es gradual, y la variación diaria es pequeña. Sin embargo, la temperatura de las aguas del lago es relativamente sensible a la temperatura atmosférica debido a la poca profundidad del lago (2.5m).

CAPITULO V

CARACTERISTICAS DE LOS DATOS RECOGIDOS DURANTE LA INVESTIGACION

5.1 Situación Hidrológica y Meteorológica entre Marzo de 1988 y Febrero de 1989

Debido a que los equipos de observación hidrológica y meteorológica para este proyecto fueron puestos en operación a finales de febrero de 1988, se mencionarán a continuación las características hidrológica y meteorológica de los alrededores del lago Ypacarai durante un año, de marzo de 1988 a febrero de 1989.

(1) Precipitación

La precipitación media anual de la zona del lago Ypacarai y su cuenca fué de 1485mm según los datos de 6 puntos de observación con los que se hizo una corrección por el método de Thiessen.

La precipitación media en Asunción durante los últimos 38 años fué de 1394mm y la de San Lorenzo durante los últimos 24 años fué de 1525mm.

Pensando en que la precipitación anual suele traer un 10% de oscilación, la precipitación durante el período de observación se consideraría como la de años normales.

La máxima mensual fue 192~388.5mm en abril y la mínima fue 1~5mm en julio.

(2) Nivel de Aguas del Lago

Se registró siempre de +19 a +61cm más alto que el promedio de los 20 años pasados.

(3) Temperatura

Comparando con los datos de Asunción de 38 años (hay que tener en cuenta de que los puntos de observación no fueron los mismos), la temperatura media de marzo de 1988 fue la máxima registrada y la de mayo y julio de 1988 fueron las mínimas registradas.

Por lo tanto, la temperatura durante el período de observación fue bastante anormal comparado con los datos históricos.

(4) Velocidad del Viento

La época del viento más fuerte fué en invierno (de julio a septiembre) en el que el viento del sur predomina. Esto indica la misma tendencia que en Asunción en los años ordinarios.

5.2 Consideraciones sobre la inundación de Enero de 1988

Del 13 al 16 de enero de 1988 hubo una precipitación fuerte en la zona del lago Ypacarai, lo cual se considera como la causa de la purificación posterior del lago.

A continuación se presentan las consideraciones hidrológicas de enero de 1988.

(1) Precipitación

Se muestran los datos de precipitación de los contornos de la cuenca (no dentro de la cuenca) de enero de 1988 en la Tabla S2. 4.

En Asunción (Aeropuerto) fue 110mm, y 151.5mm no es extraordinaria como la precipitación en enero (en abril fueron registradas entre 200 y 400mm mensuales en todos los puntos de observación).

En Caacupé se registró 226mm durante el 13 al 16 de enero, precipitación que es considerablemente alta.

Tal como se ha visto arriba, existen discrepancias locales en la precipitación. No se puede descartar la posibilidad de que en la cuenca pudo haber llovido mucho más todavía, pero se desconoce la verdad por la carencia de datos.

(2) Nivel del lago

Se muestra la variación del nivel de las aguas del lago durante la inundación en la Tabla S2.26.

El día 13, antes de la lluvia, el nivel fue de 1.68m y llegó hasta 2.60m como máximo, lo cual indica un incremento de 0.92m.

Se estima la precipitación de entonces suponiendo que no hubiese ninguna descarga de agua del lago.

$$\Delta H \cdot A_L = R \cdot f \cdot A_B + R \cdot A_L$$

Donde: ΔH : Variación del nivel de aguas del lago
 A_L : Superficie del lago = 59.6Km²

A_B : Superficie de la cuenca = 833Km²
 R : Precipitación total
 f : Coeficiente de descarga

(No se considera la evaporación por la superficie del lago.)

Cuando $\Delta H = 0.92$, $f = 0.3$, R sería

$R = 177\text{mm}$

O sea, suponiendo que no hubiese descarga de agua se necesitaría una precipitación de 180mm en la zona.

Como una de las causas de la subida del nivel, podría suponerse que el río Salado, efluente del lago, hubiese sido obstruido debido a la acumulación de las plantas flotantes, etc.

Según los datos se sabe que del 16 al 20 de enero no hubo descenso de nivel considerable. El hecho de que bajó el nivel después del 20 se atribuiría a la apertura artificial de canal de salida del lago.

(3) Consideración sobre las causas de la purificación del lago

En principio, se puede suponer que hubiera una precipitación más de lo que indican los datos registrados de la zona.

Como primera razón se considera que las aguas del lago fueron diluidas debido a las fuertes lluvias.

Como la segunda causa, se considera que, debido a la gran cantidad de la tierra que afluyó, los fitoplancton y sus restos en el lago se hubiesen precipitado.

La tercera, se considera que, al abrir el canal de salida y bajar el nivel de golpe, el agua arrastró la capa superior de los sedimentos del fondo.

De todas maneras, la probabilidad de repetir este mismo fenómeno natural tendría una frecuencia de varios años.

Mientras tanto, este fenómeno sugiere la posibilidad de controlar no solamente el nivel sino también la calidad de agua del lago mediante la instalación de compuertas.

TABLAS

TABLE S2-1

EXISTING METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL DATA

Item	Sub-item	Location	Period	Remarks
Atmospheric temperature	Mean, maximum and minimum daily temperature	- Asunción	Jan., 1965 - Feb., 1988	Shutdown - do -
		- San Lorenzo	Jan., 1957 - Dec., 1979	
		- Caacupé	Jan., 1961 - Sep., 1986	
		- Carapeguá	Jul., 1970 - Feb., 1988	
Humidity	Mean monthly humidity	- Asunción	Jan., 1965 - Dec., 1979	
Rainfall	Daily rainfall	- Asunción	Jan., 1950 - Feb., 1988	Shutdown
		- San Lorenzo	Jan., 1957 - Dec., 1980	
		- Caacupé	Jan., 1961 - Feb., 1988	
		- Carapeguá	Jan., 1971 - Feb., 1988	
Sunshine hours	Monthly sunshine hours	- Asunción	Jan., 1970 - Feb., 1988	Shutdown - do -
		- San Lorenzo	Jan., 1959 - Dec., 1980	
		- Carapeguá	Jan., 1971 - Nov., 1980	
Evaporation	Monthly evaporation	- San Lorenzo	Jan., 1957 - Mar., 1981	Shutdown - do -
		- Caacupé	Jan., 1961 - Dec., 1978	
Wind direction and velocity	Monthly wind direction and mean monthly velocity	- Asunción	Jan., 1986 - Dec., 1987	
Water level of Ypacarai Lake	Mean yearly and daily water level	- San Bernardino	1965 - Feb., 1988	

TABLE S2-2 METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL OBSERVATION STATIONS INSTALLED

Station No.	Name of Station	Location	Latitude & Longitude	Observation Item
1	San Bernardino Central Observation Station	Centro Militar, Naval y Aeronautico "Club de Verano" in San Bernardino City	S25° 19' 00" W57° 17' 21"	- Atmospheric temperature - Rainfall - Solar radiation - Wind direction and velocity - Water level - Water temperature
2	Ypacarai Meteorological Observation Station	Colegio Dr. Ignacio A. Pane in Ypacarai City	S25° 24' 17" W57° 17' 07"	- Atmospheric temperature - Humidity - Atmospheric pressure - Rainfall - Wind velocity
3	Aregua Meteorological Observation Station	Colegio Nacional Cadete del Chaco in Aregua City	S25° 18' 59" W57° 23' 14"	- do -
4	San Lorenzo Rainfall Gauging Station	Universidad Nacional de Asuncion, Facultad de Ingenieria Agronomica in San Lorenzo City	S25° 19' 28" W57° 31' 21"	- Rainfall
5	Pirayu Rainfall Gauging Station	Colegio Politecnico Juan Pablo Segundo in Pirayu City	S25° 29' 12" W57° 14' 18"	- do -
6	Paraguari Rainfall Gauging Station	Colegio Nacional de Paraguari in Paraguari City	S25° 37' 22" W57° 08' 39"	- do -
7	Ypacarai Lake Water Level Gauging Station	- Same as Station No. 1 -		- Water level: automatic
8	Yagua-resa-u River Water Level Gauging Station	Bridge of Route-2 crossing Yagua-resa-u River	S25° 23' 18" W57° 16' 11"	- do -
9	Yuquyry River Water Level Gauging Station	Bridge of Route Luque-Aregua crossing Yuquyry River	S25° 17' 32" W57° 26' 48"	- do -
10	Salado River Water Level Gauging Station	Bridge of Route Limpio-San Ber. crossing Salado River	S25° 07' 48" W57° 26' 50"	- do - (Shutdown on June 7)
11	Ypucu River Water Level Gauging Staff	Bridge of Route-2 crossing Ypucu River	S25° 23' 24" W57° 16' 29"	- Water level: manual (Discontinuous observation)
12	Salado River Water Level Gauging Staff	Bridge of Route Luque-San Ber. crossing Salado River	S25° 12' 24" W57° 22' 22"	- do -

Table S2-3 WATER LEVEL OF YPACARAI LAKE

Unit : m

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Mean
1965	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.18
1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.14
1967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.79
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.24
1970	1.18	1.17	1.15	1.31	1.21	1.23	1.35	1.31	1.40	1.43	1.27	1.09	1.26
1971	1.49	1.46	1.59	1.22	1.18	1.14	1.14	1.31	1.15	1.07	0.96	0.91	1.22
1972	1.17	1.13	1.07	0.86	0.82	1.22	1.20	1.11	1.15	1.15	1.29	1.30	1.12
1973	1.28	1.13	1.21	1.20	1.33	1.35	1.32	1.33	1.26	1.37	1.43	1.45	1.31
1974	1.29	1.28	1.33	1.38	1.51	1.44	1.23	1.27	1.34	1.32	1.35	1.41	1.35
1975	1.35	1.31	1.16	1.55	1.58	1.45	1.50	1.40	1.57	1.54	1.48	1.61	1.45
1976	1.42	1.46	1.50	1.42	1.39	1.34	1.24	1.22	1.16	1.19	1.22	1.07	1.30
1977	1.08	1.18	1.09	1.03	1.20	1.30	1.38	1.24	1.15	0.91	0.92	1.25	1.14
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	0.81	0.89	1.31	1.07	1.02
1979	0.72	0.47	0.43	0.98	1.35	1.17	0.99	0.93	1.24	1.11	1.25	1.36	1.00
1980	1.11	1.11	0.75	-	0.97	1.32	1.18	1.19	1.19	1.17	1.21	1.38	1.14
1981	1.29	1.34	1.33	1.21	1.23	1.17	1.07	0.86	0.86	0.84	0.72	1.10	1.09
1982	1.27	1.13	1.11	0.97	0.89	1.00	-	1.06	0.94	1.24	1.40	1.42	1.13
1983	1.19	1.44	1.24	1.21	1.73	1.68	1.36	1.34	1.28	1.26	1.38	1.28	1.37
1984	1.10	1.11	1.01	1.40	1.38	1.31	1.27	1.17	1.15	1.13	1.41	1.42	1.24
1985	1.29	1.17	1.05	1.16	-	1.38	1.31	1.47	1.48	1.40	1.40	1.21	1.30
1986	1.10	1.11	1.10	1.46	1.57	1.45	1.46	1.43	1.35	1.44	1.33	1.53	1.36
1987	-	-	1.50	1.59	1.67	1.56	-	-	1.42	1.49	-	-	1.54
1988	1.96	1.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average	1.25	1.22	1.15	1.25	1.31	1.32	1.27	1.23	1.22	1.22	1.25	1.29	1.20

Note: 1) The water level has been observed at San Bernardino by the Navy.
 2) The elevation of 0m of the staff is 62.29m.

Table S2-4 Precipitation in January, 1988

<u>ASUNCION</u>		<u>CAACUPE</u>		<u>CARAPEGUA</u>	
<u>DAY</u>	<u>mm.</u>	<u>DAY</u>	<u>mm.</u>	<u>DAY</u>	<u>mm.</u>
5	12.0	5	12.4	5	9.4
12	0.6	13	153.0	13	1.5
13	79.8	14	41.0	14	77.4
14	17.4	15	2.0	16	12.6
16	13.6	16	30.0	21	22.4
21	2.4	21	0.5	22	5.5
22	0.3	22	8.8	24	6.3
30	25.4	25	9.0	25	5.6
		26	0.3	31	71.5
		30	<u>45.0</u>		
TOTAL	151.5		302.0		212.5

Table S2-5 Water Level in the Lake in January, 1988

<u>DAY</u>	<u>WATER LEVEL (m)</u>	<u>VARIATION (cm)</u>	<u>DAY</u>	<u>WATER LEVEL (m)</u>	<u>VARIATION (cm)</u>
8	1.73	± 0	20	2.54	- 2
9	1.73	± 0	21	2.30	- 24
10	1.73	± 0	22	1.90	- 30
11	1.72	- 1	23	1.85	- 5
12	1.69	- 3	24	*	*
13	1.68	- 1	25	*	*
14	2.10	+ 42	26	1.84	- 1
15	2.50	+ 40	27	1.85	+ 1
16	2.60	+ 10	28	*	*
17	2.60	± 0	29	1.84	- 1
18	2.60	± 0	30	1.83	- 1
19	2.56	- 4	31	1.82	- 1

FIGURAS

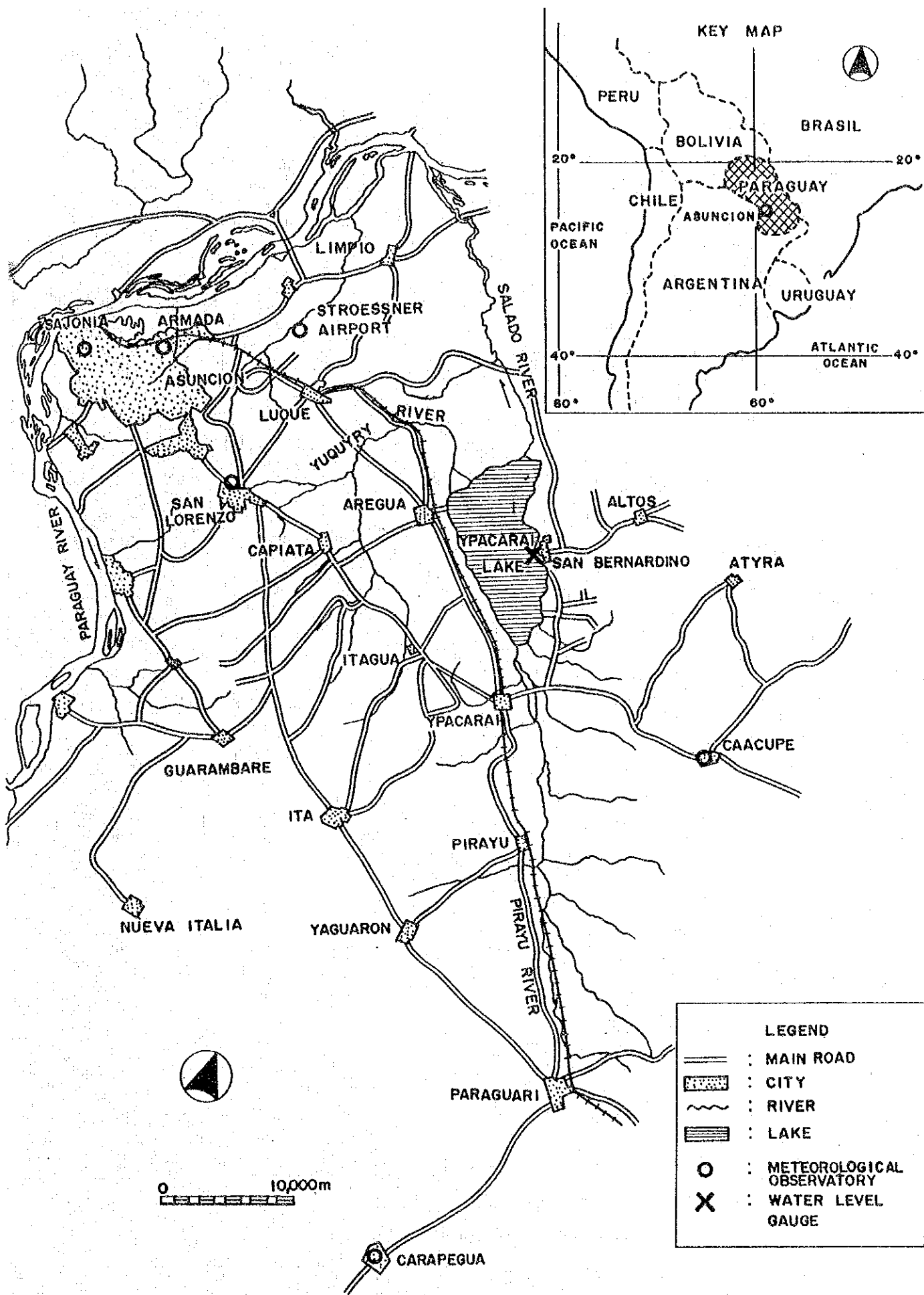
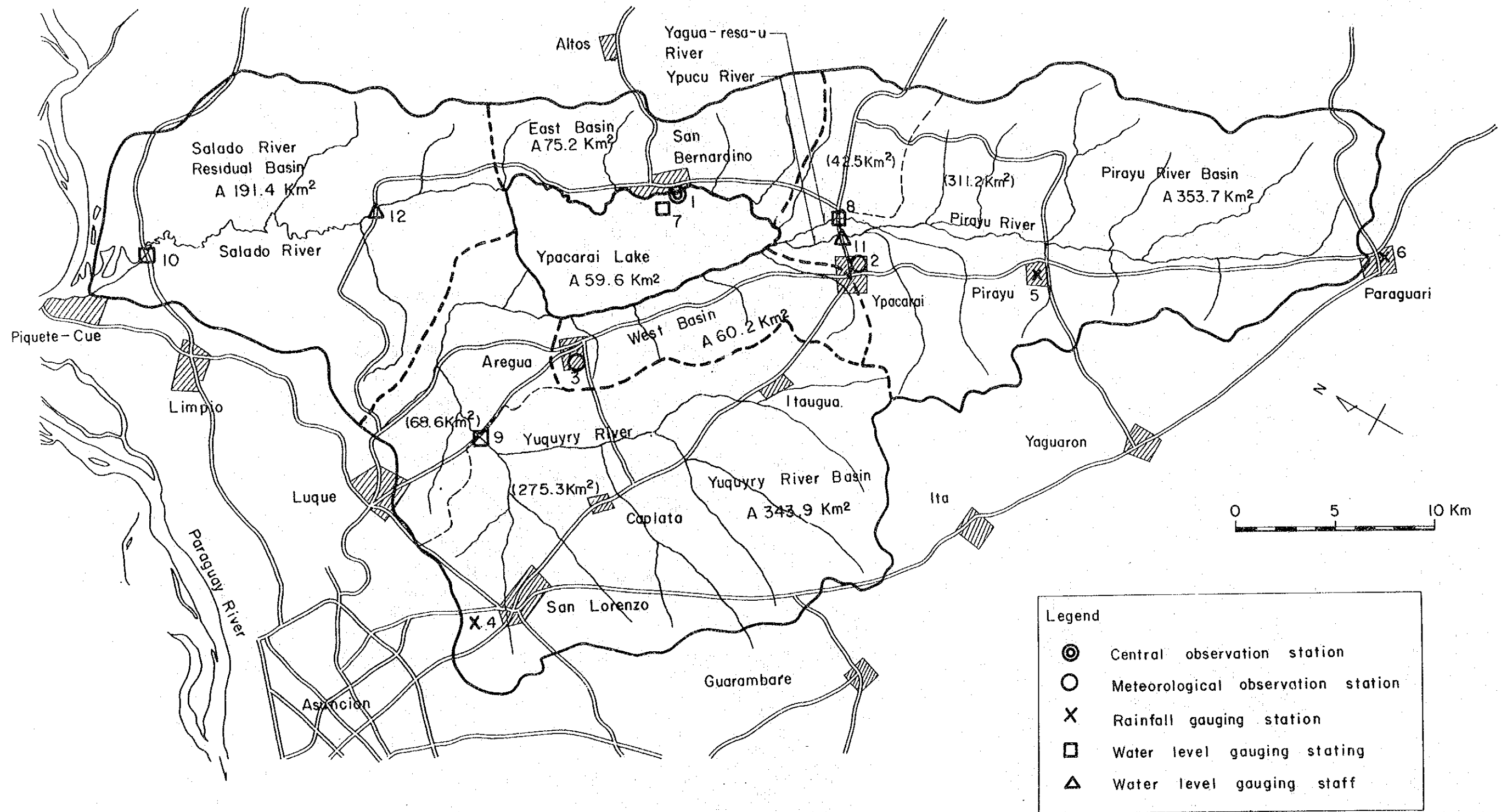


FIG. S2.1 LOCATION OF EXISTING OBSERVATORIES



Note: The figures in () show the catchment areas upstream and downstream of the water level gauging stations and staff.

FIG. S2.2 LOCATION OF METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL OBSERVATION STATIONS INSTALLED

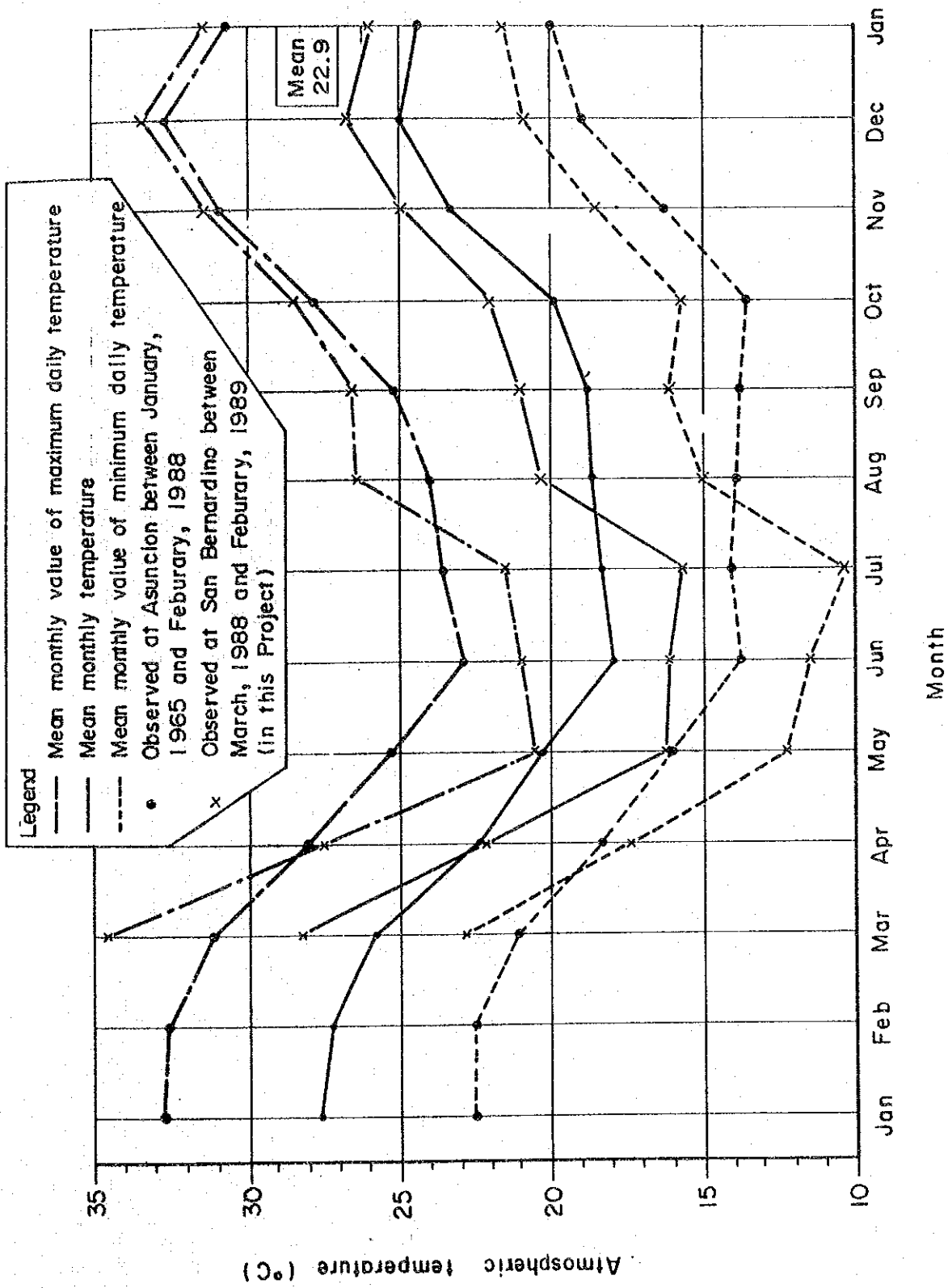


FIG. S2.3 ATMOSPHERIC TEMPERATURE

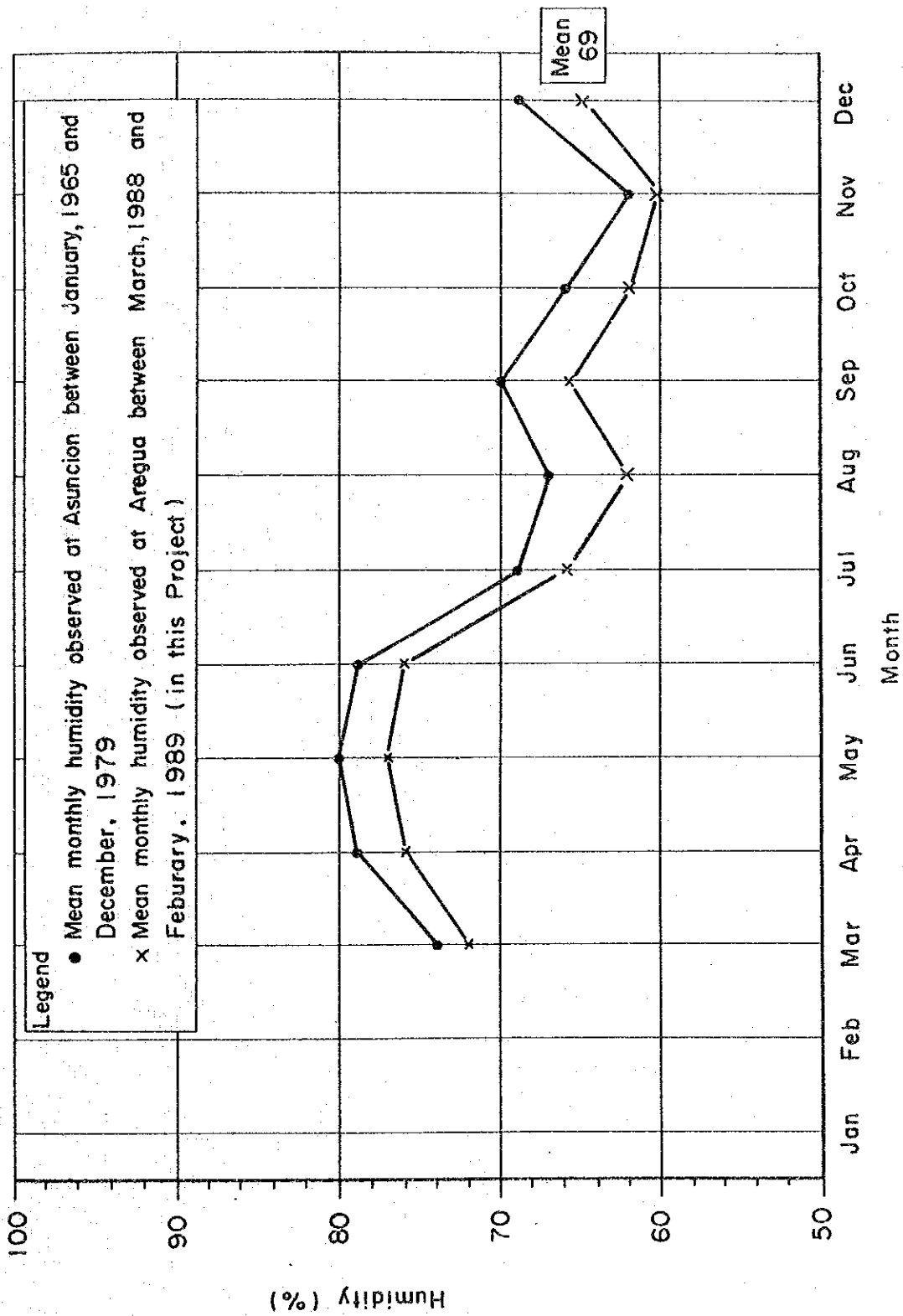


FIG. S2.4 HUMIDITY

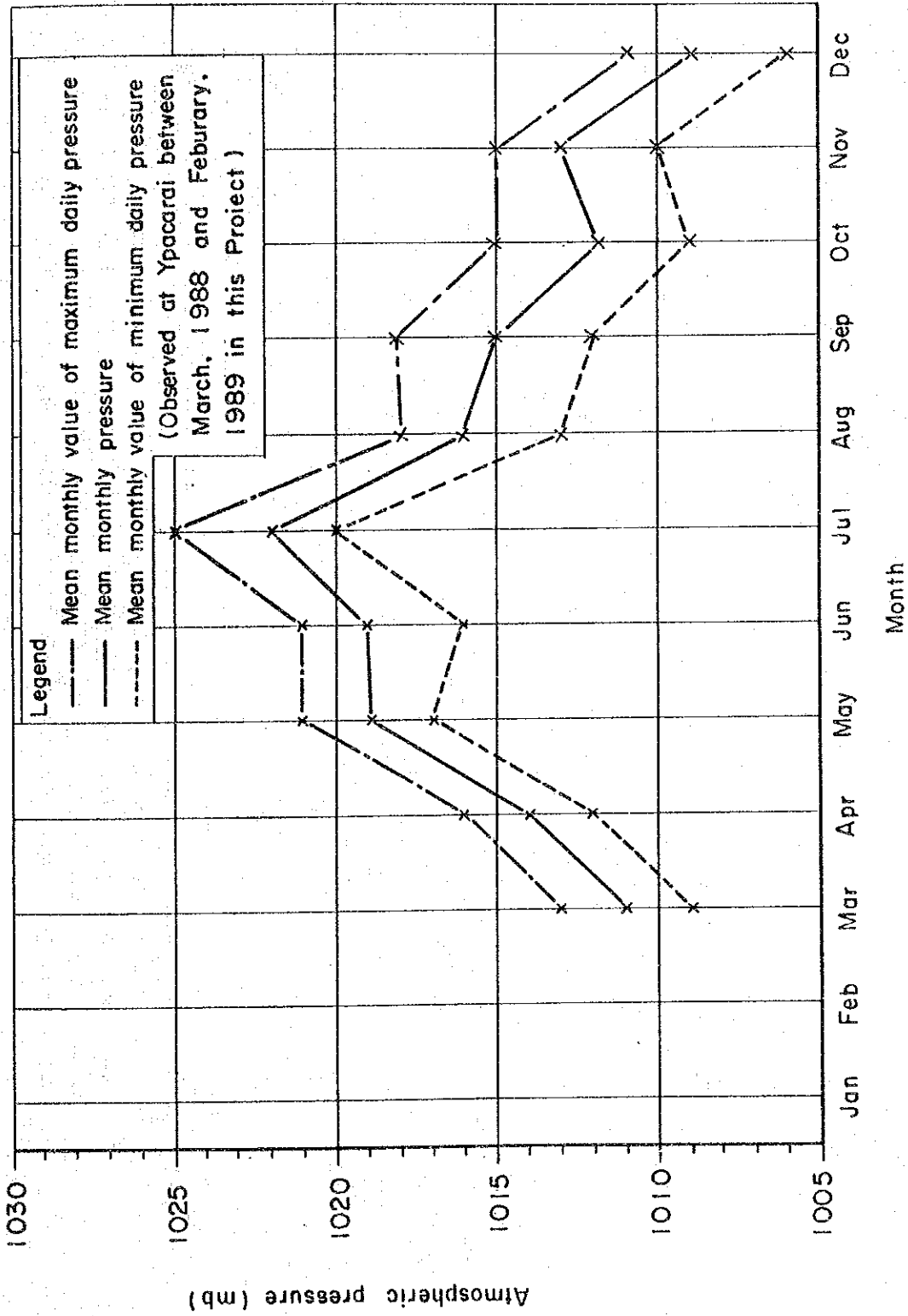


FIG. S2.5 ATMOSPHERIC PRESSURE

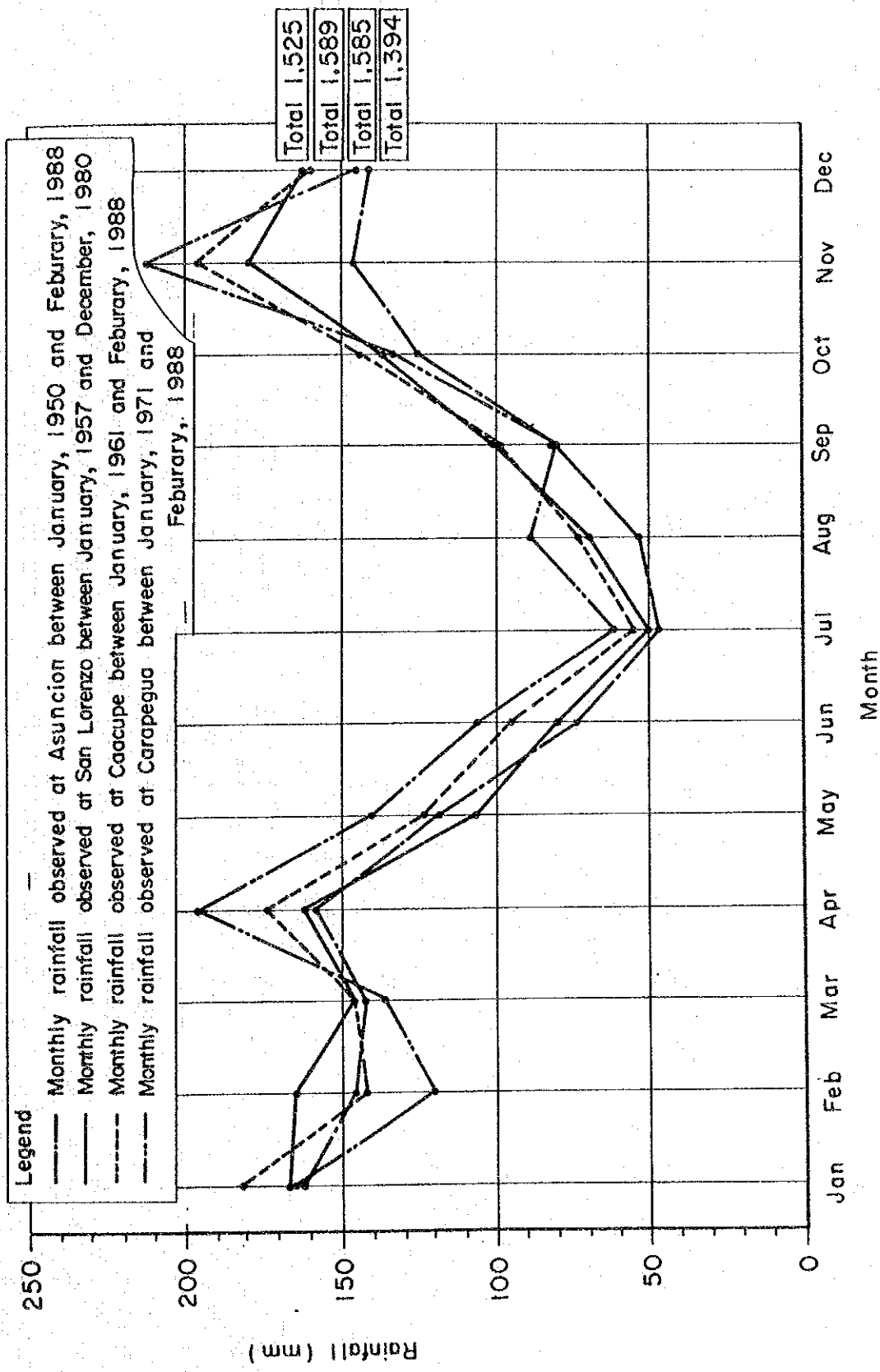


FIG. S2.6 RAINFALL / ASUNCION, SAN LORENZO, CAACUPE AND CARAPEGUA

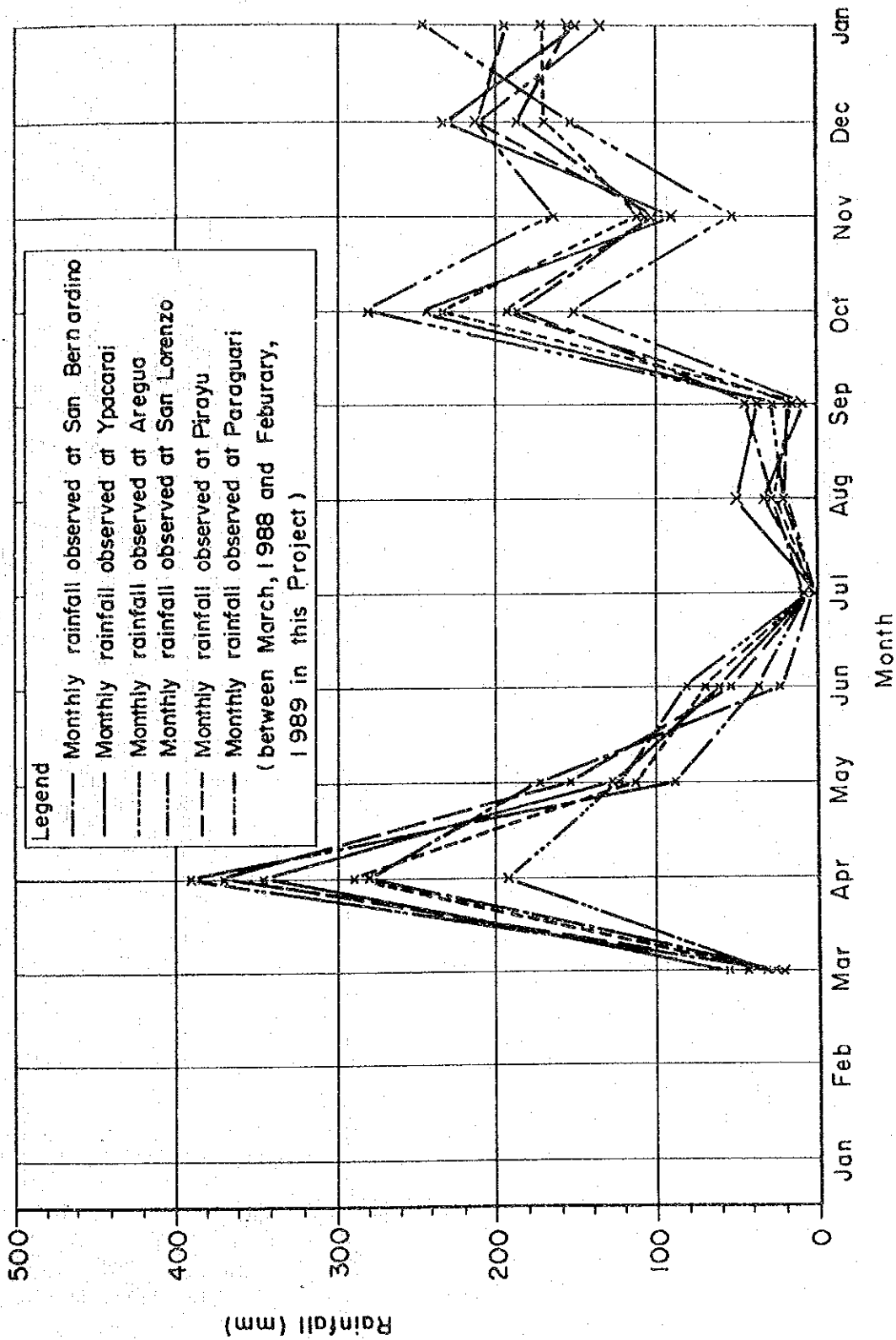


FIG. S2.7 RAINFALL (OBSERVED IN THIS PROJECT)

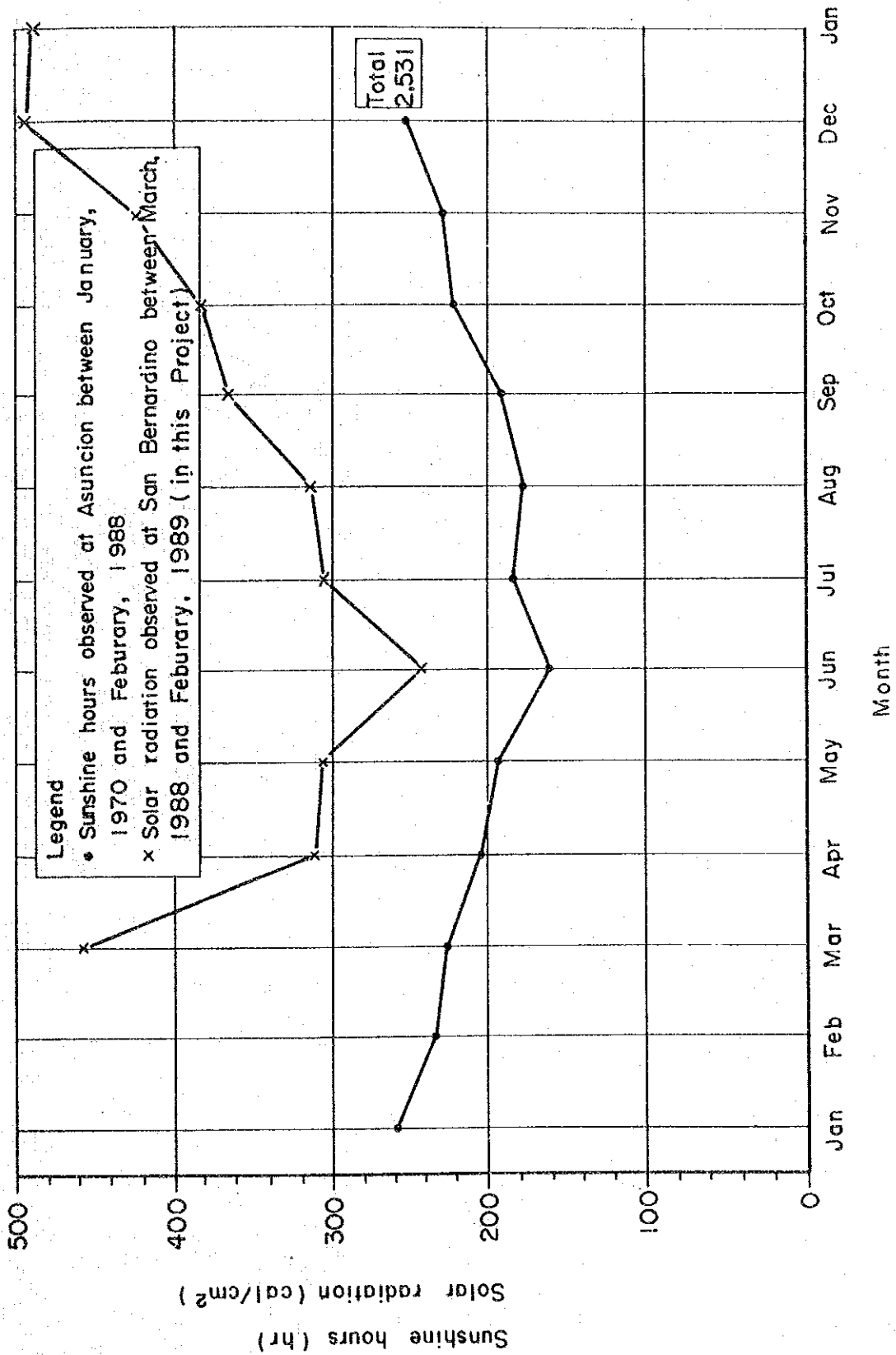


FIG. S2.8 SUNSHINE HOURS AND SOLAR RADIATION

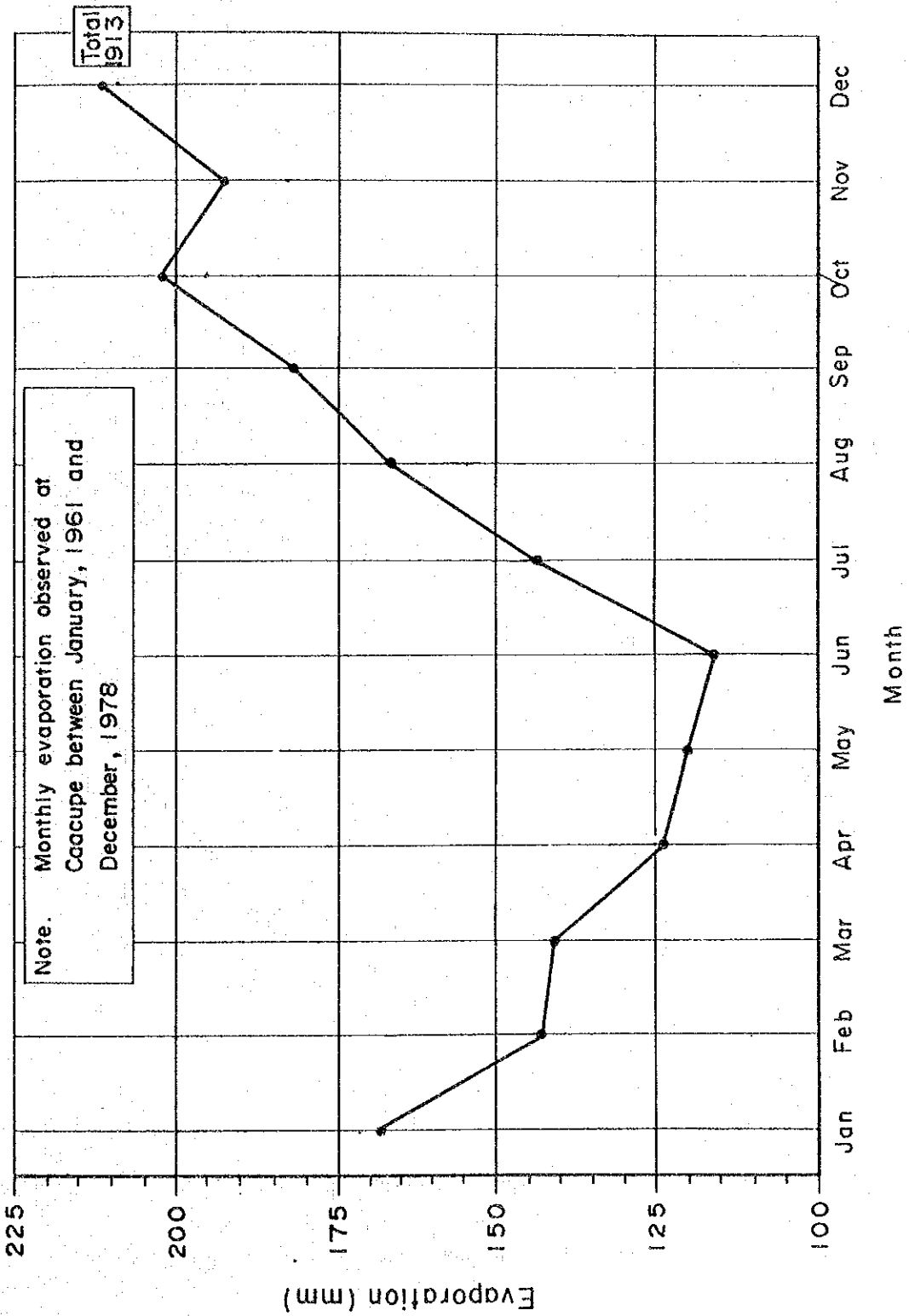
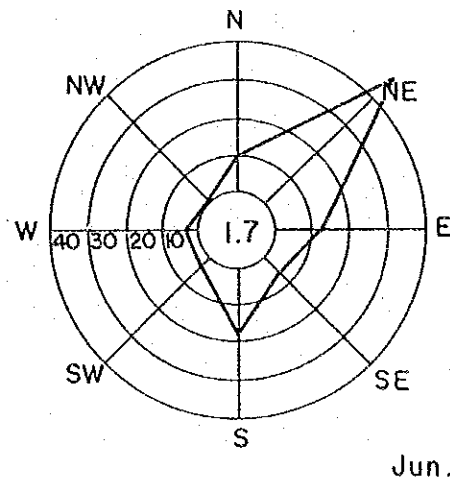
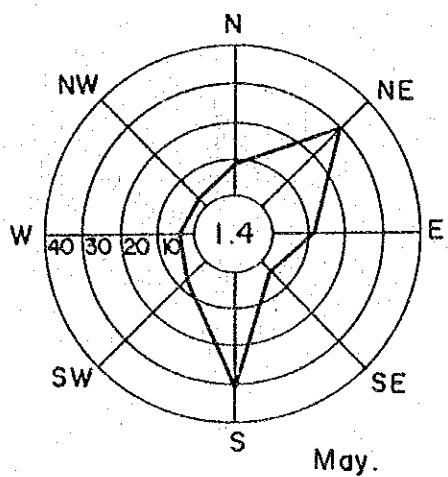
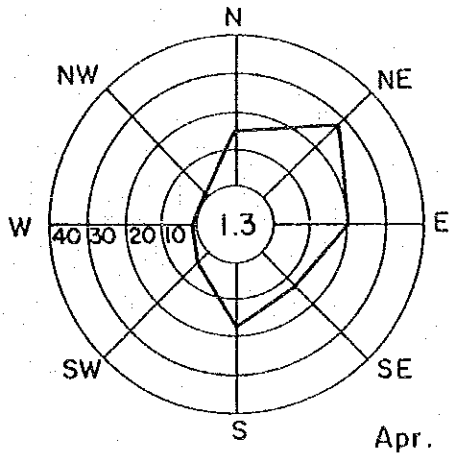
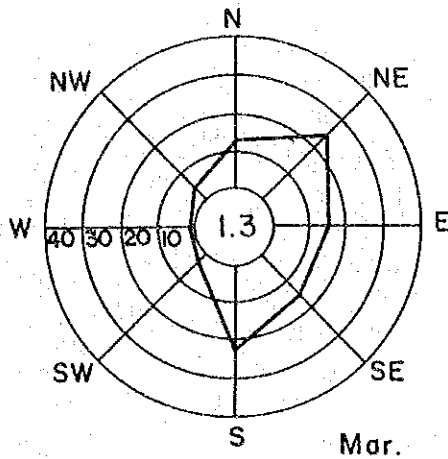
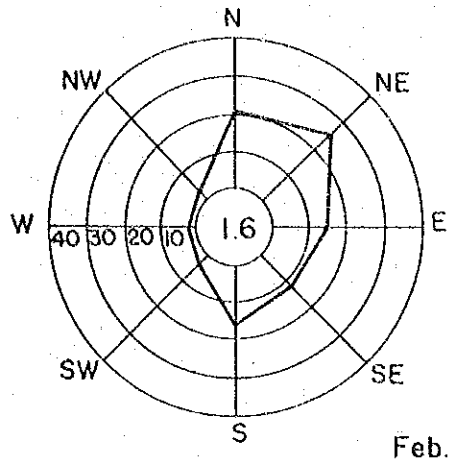
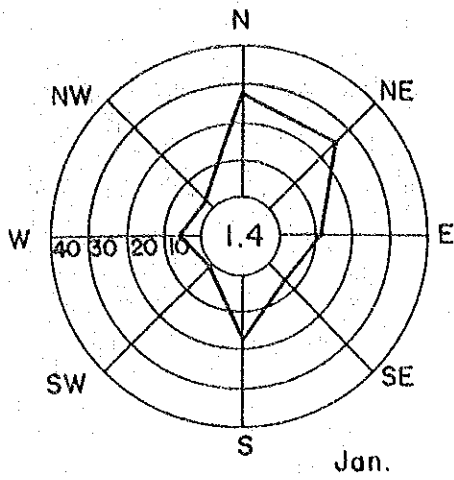
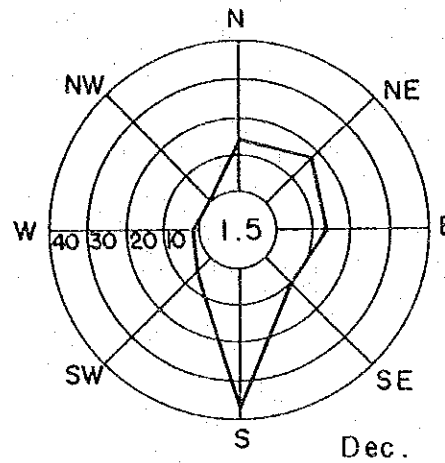
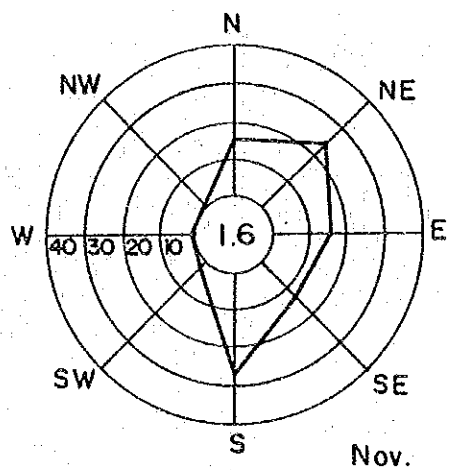
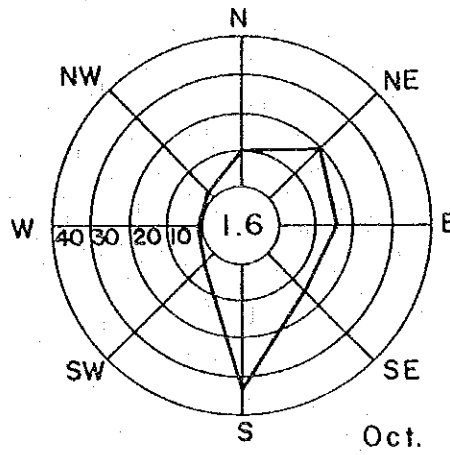
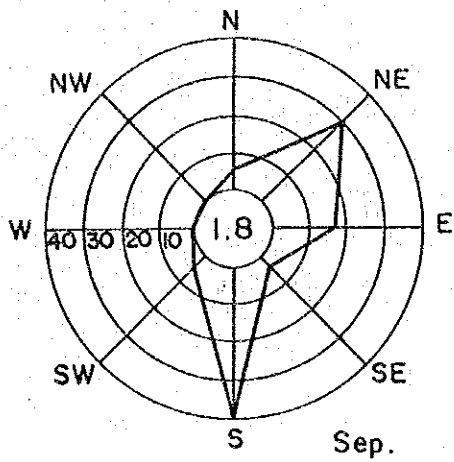
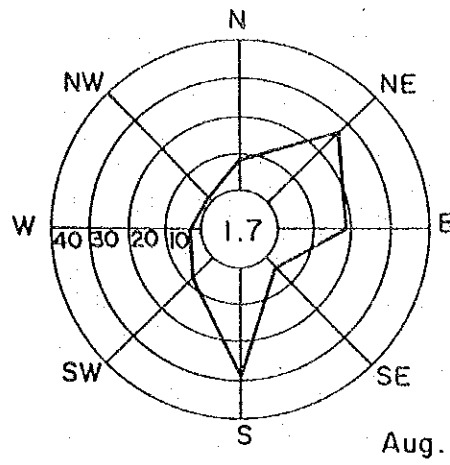
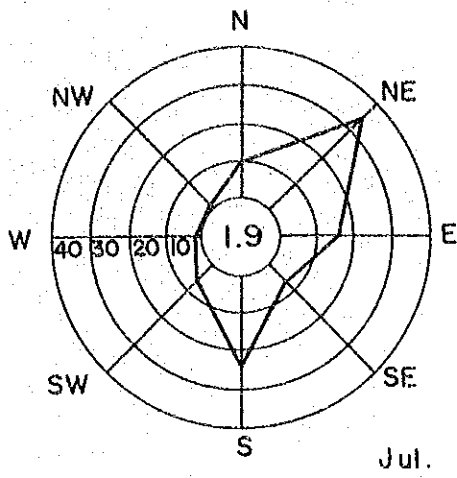


FIG. S2.9 EVAPORATION



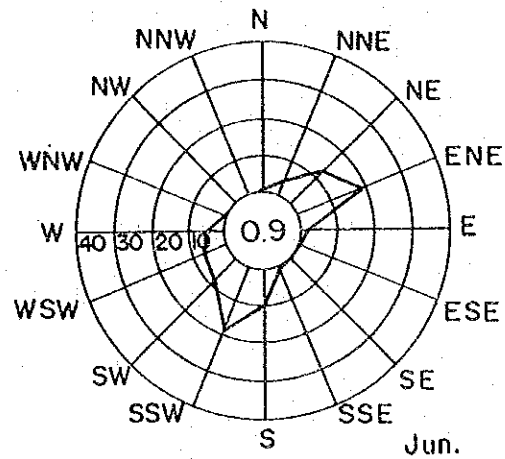
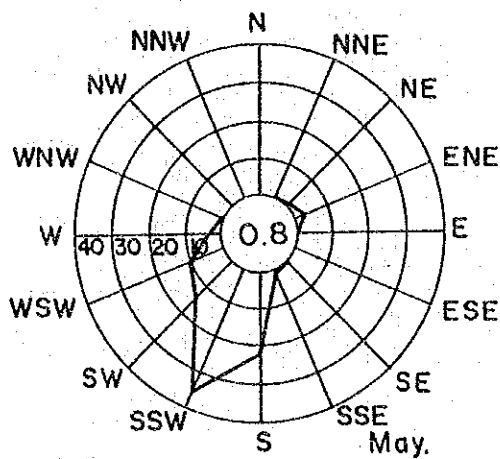
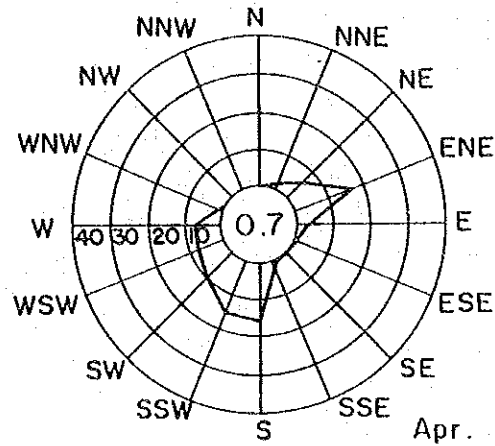
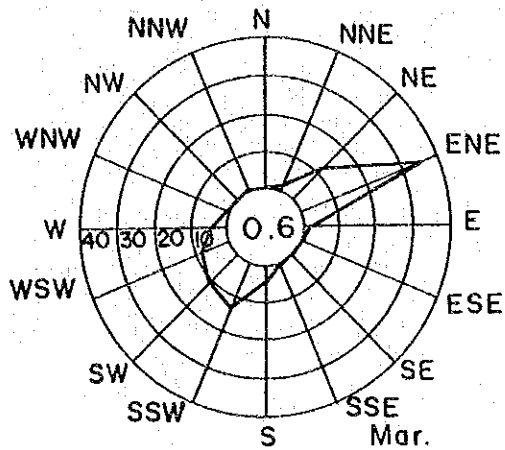
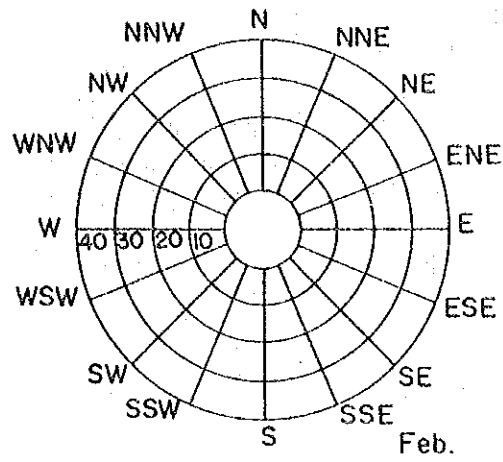
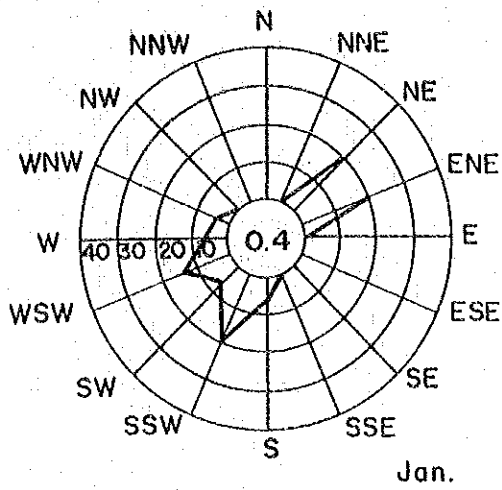
- Note
1. The value in the smallest circle on each figure shows the mean monthly wind velocity (m/s).
 2. The values by an axis on each figure show the frequency of each direction (%).
 3. The observation period is between 1986 and 1987.

FIG. S2.10(I) WIND DIRECTION AND VELOCITY / ASUNCION



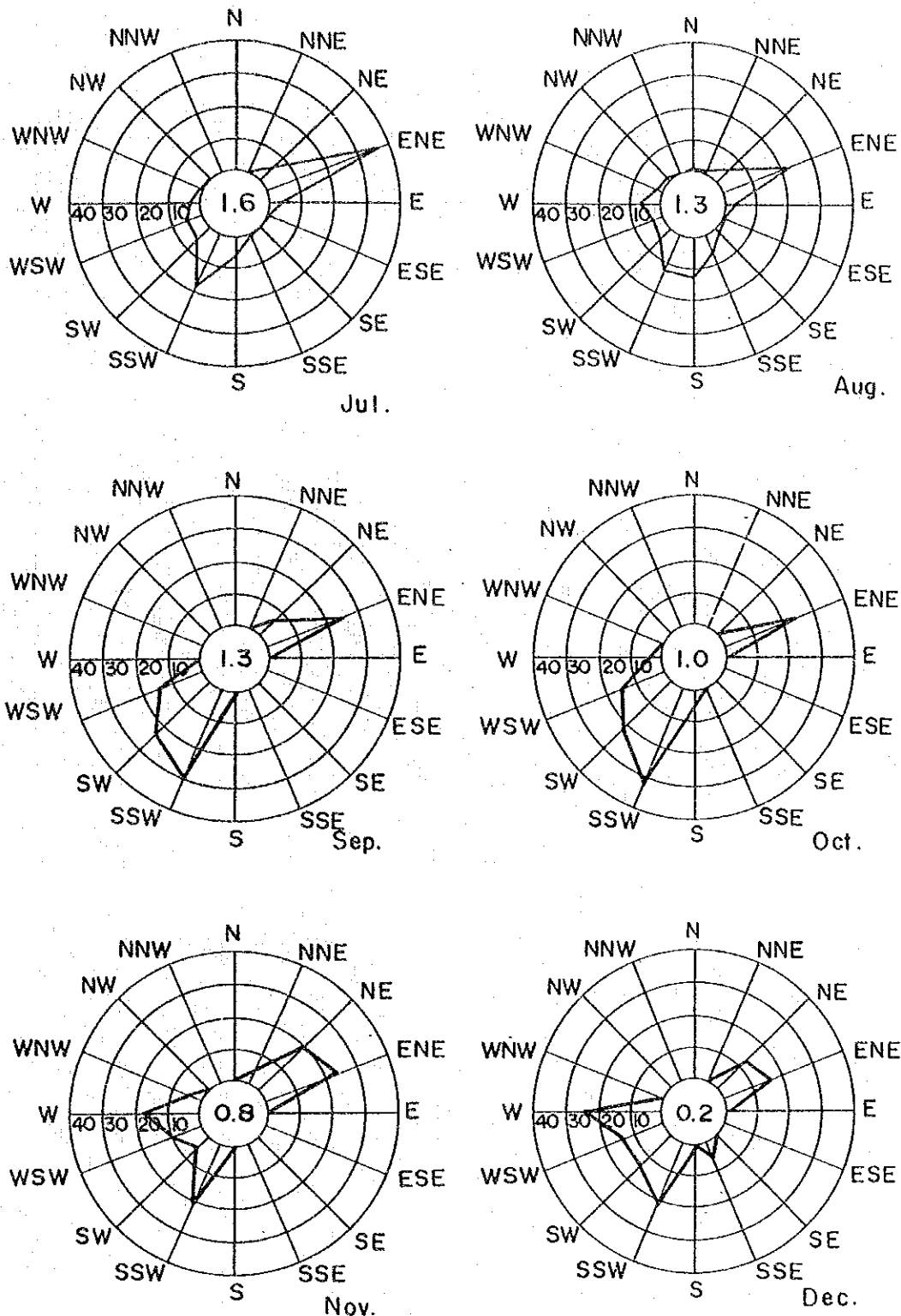
- Note
1. The value in the smallest circle on each figure shows the mean monthly wind velocity (m/s).
 2. The values by an axis on each figure show the frequency of each direction (%).
 3. The observation period is between 1986 and 1987.

FIG. S2.10 (2) WIND DIRECTION AND VELOCITY / ASUNCION



- Note
1. The value in the smallest circle on each figure shows the mean monthly wind velocity (m/s).
 2. The values by an axis on each figure show the frequency of each direction (%).
 3. The above was observed at San Bernardino between March, 1988 and February, 1989.

FIG. S2.II (I) WIND DIRECTION AND VELOCITY
(OBSERVED IN THIS PROJECT)



- Note
1. The value in the smallest circle on each figure shows the mean monthly wind velocity (m/s).
 2. The values by an axis on each figure show the frequency of each direction (%).
 3. The above was observed at San Bernardino between March, 1988 and February, 1989.

FIG. S2.11 (2) WIND DIRECTION AND VELOCITY
(OBSERVED IN THIS PROJECT)

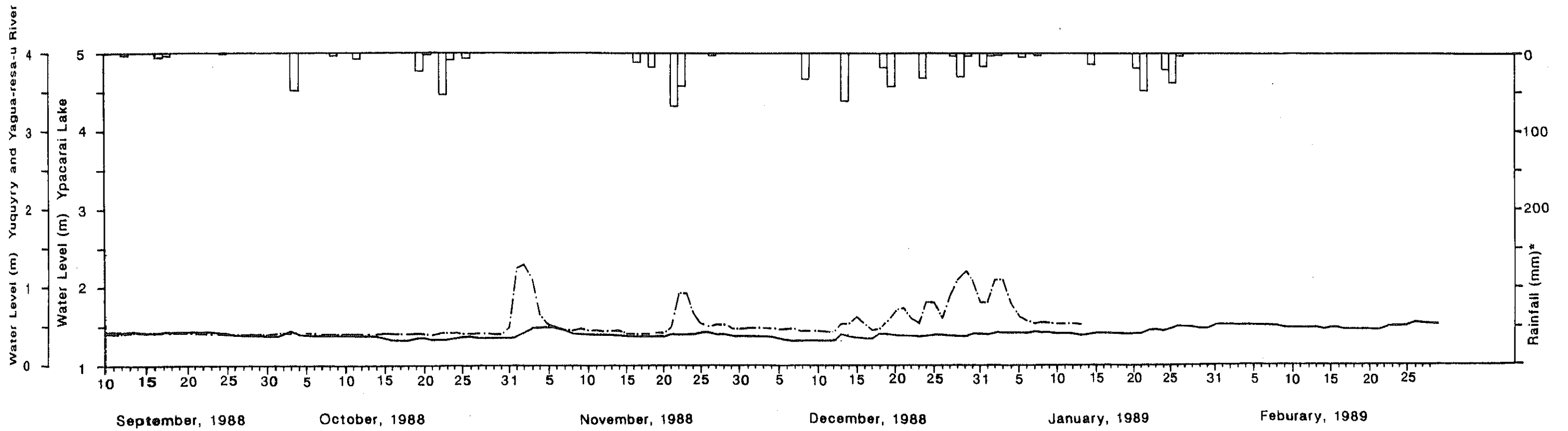
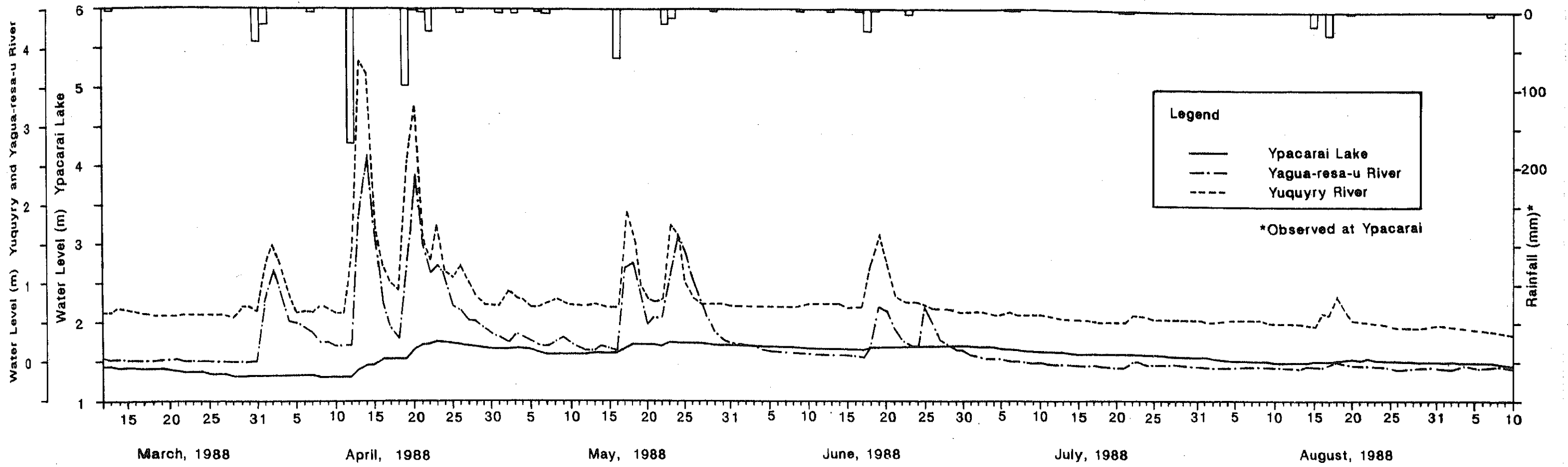


FIG. S2-12-1 WATER LEVEL OF YPACARAI LAKE, YAGUA-RESA-U RIVER AND YUQUYRY RIVER (OBSERVED IN THIS PROJECT)

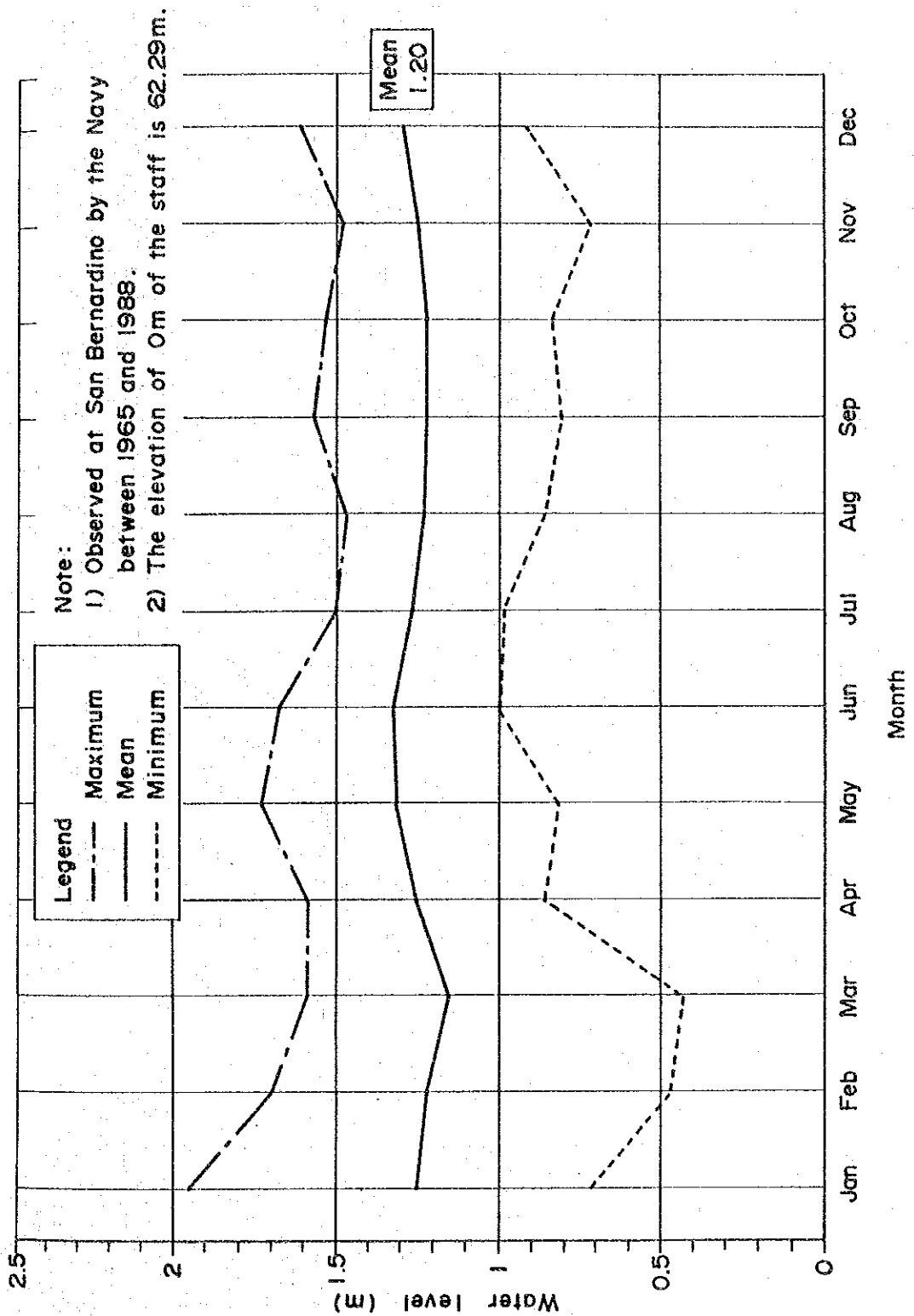
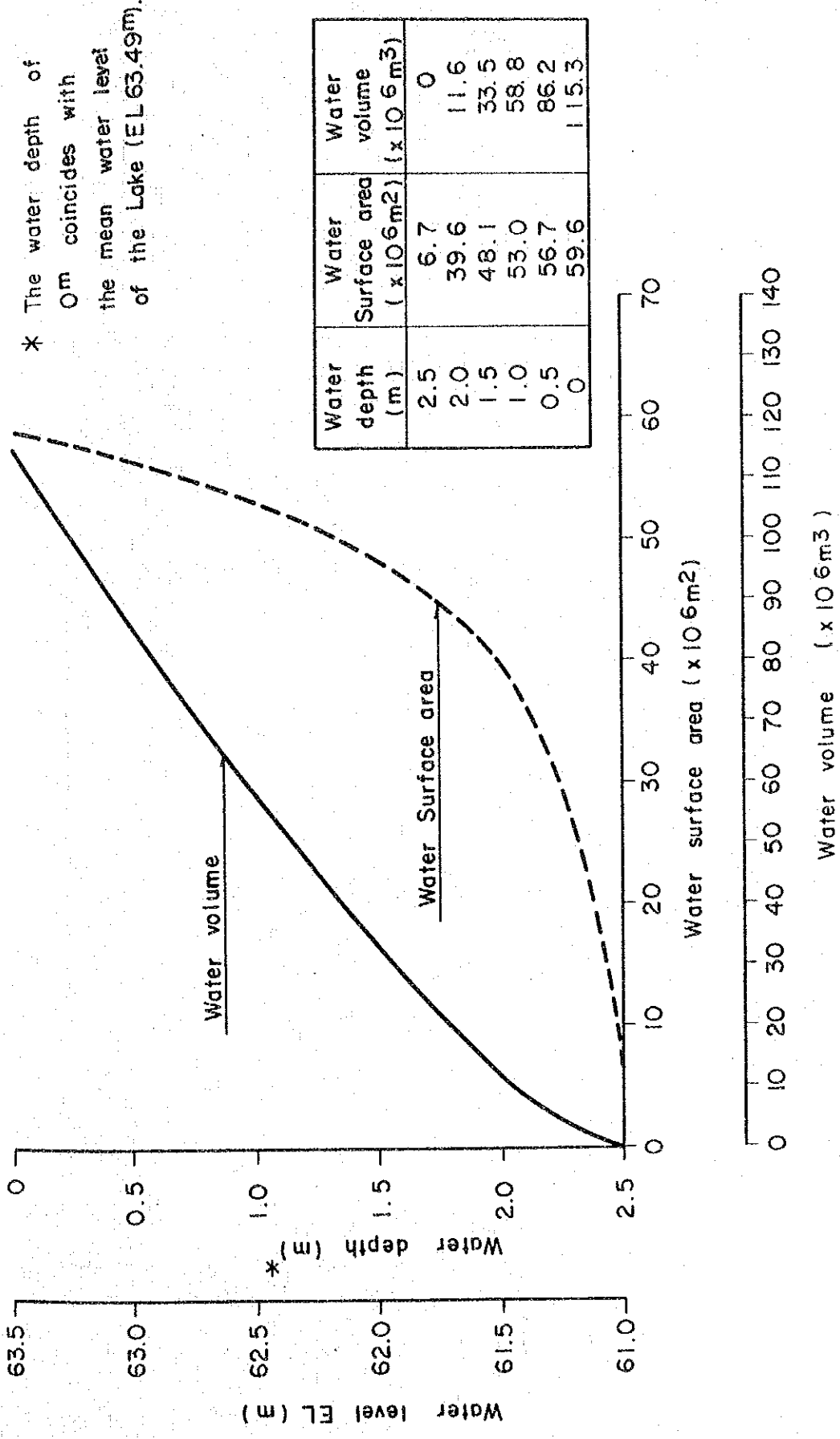


FIG. S2.12.2 WATER LEVEL OF YPACARAI LAKE



* The water depth of 0m coincides with the mean water level of the Lake (EL 63.49m).

FIG. S2.13 RELATION BETWEEN WATER LEVEL AND WATER VOLUME

Results of Discharge Measurement

Date *	Pirayu River				Yuquyry River	
	Water level (m) **	Discharge (m ³ /S)			Water level (m)	Discharge (m ³ /S)
		Yagua-resa-u	Ypucu	Total		
Apr. 13	1.95	12.8	7.2	20.0	4.24	54.8
Apr. 19	1.25	6.6	9.9	16.5	2.86	28.2
May 4	0.81	3.7	0.4	4.1	1.30	3.6
May 19	1.30	11.3	7.3	18.6	1.41	4.4
Jun. 1	0.70	1.7	0.5	2.2	1.20	2.3
Jun. 13	0.58	1.4	0.6	2.0	1.23	3.3
Jun. 23	—	—	—	—	1.26	3.3

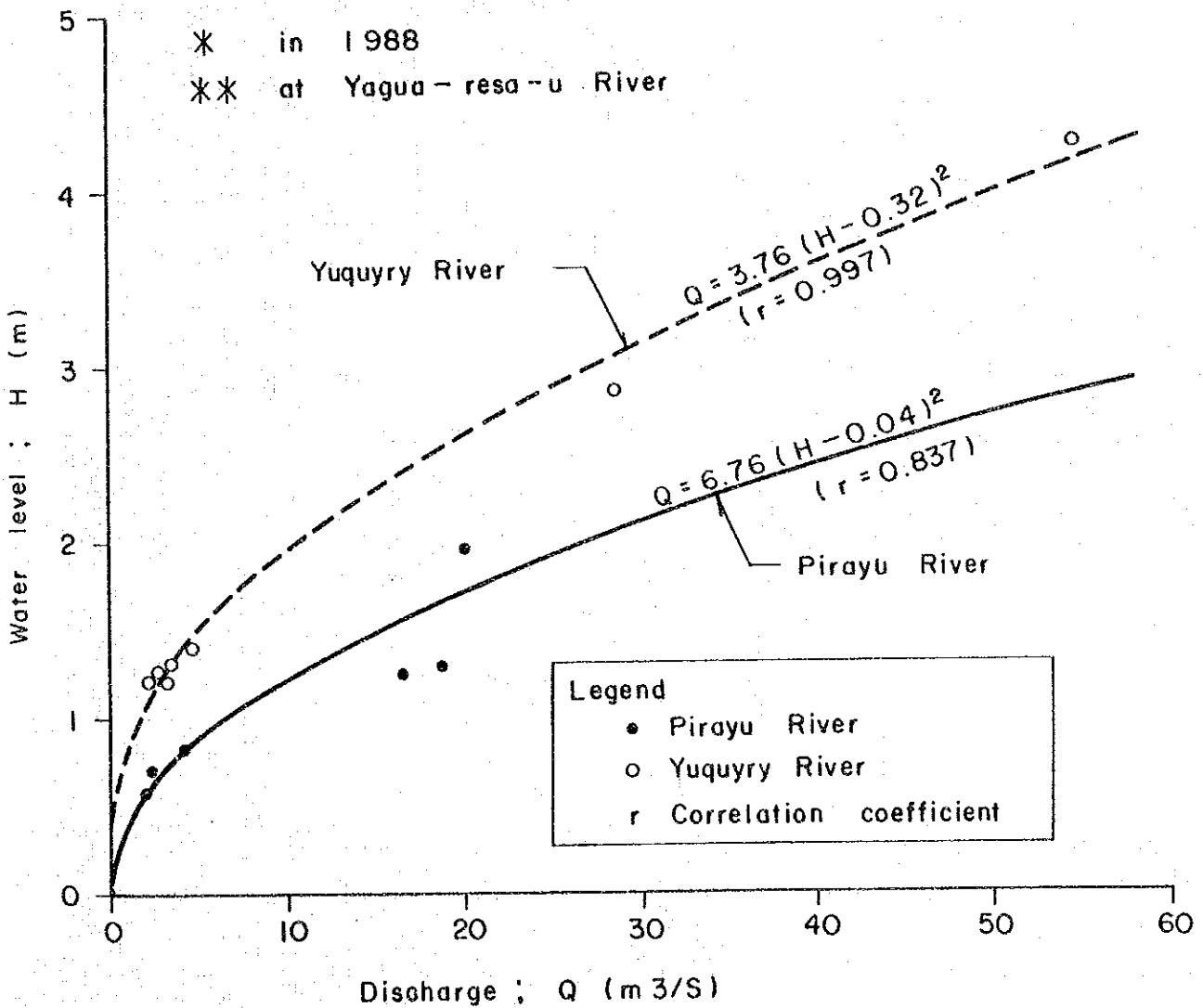


FIG. S2.14 RATING CURVES OF PIRAYU RIVER AND YUQUYRY RIVER

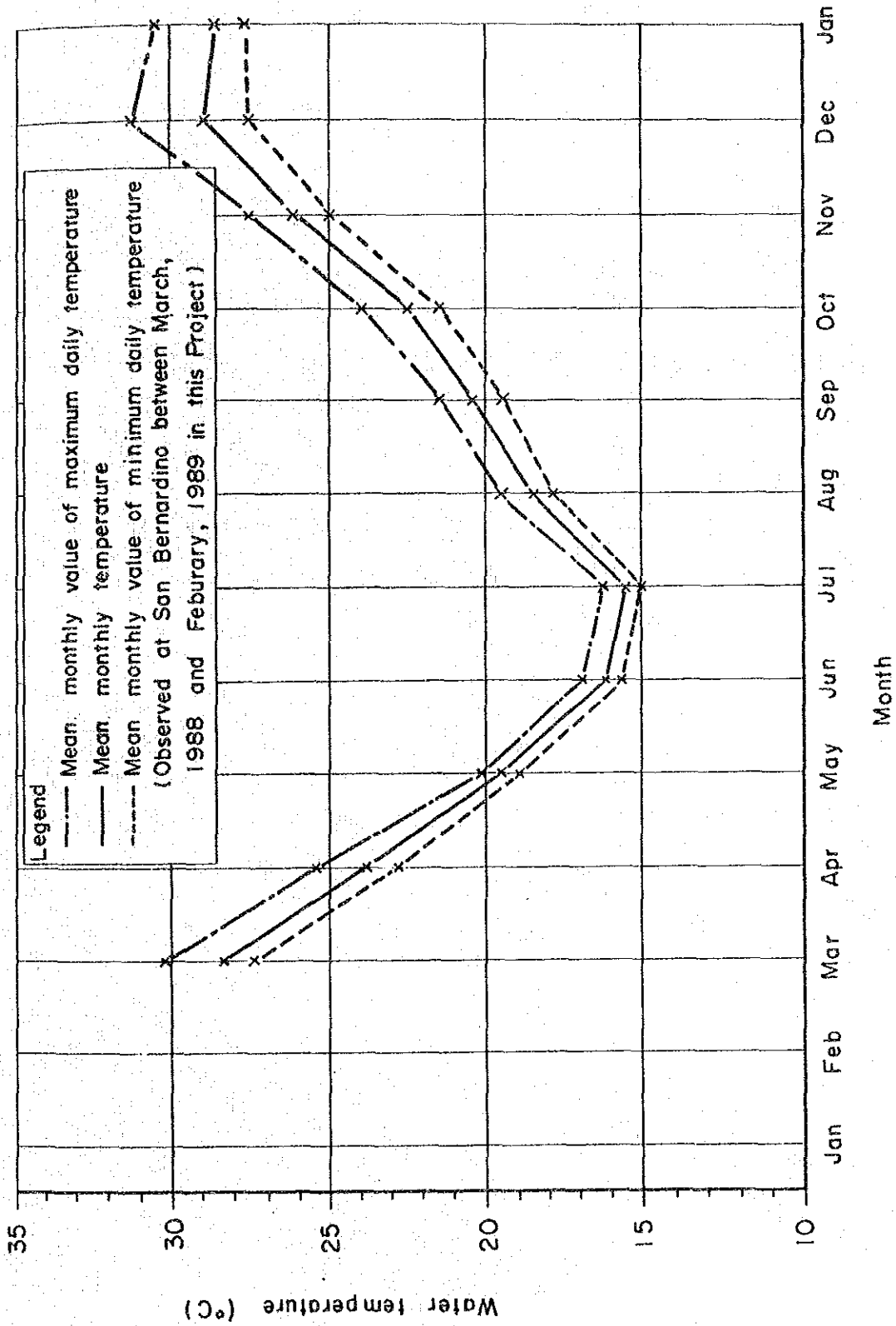


FIG. S2.15 WATER TEMPERATURE

