

Murillo B, Luis M. *La circulación de las mareas en el Golfo de Nicoya. Tecnología en marcha*. Vol 10, no. 4. p. 51-76.

LA CIRCULACION DE LAS MAREAS EN EL GOLFO DE NICOYA

Luis M. Murillo B.*

RESUMEN

Se presentan los principales resultados de la aplicación de un Modelo Hidrodinámico Bidimensional al Golfo de Nicoya, Costa Rica. El modelo calcula los campos de corrientes y alturas de marea cada media hora en 816 nodos. Se supone una Función de Excitación en la entrada del Golfo compuesta por seis Componentes Armónicas principales que excita las aguas a lo largo de la línea que une a Punta Herradura con Bahía Ballena. Se usa reflexión perfecta en la frontera interior del Golfo (Río Tempisque). El modo fundamental de oscilación del Golfo está constituido por una onda estacionaria con un período de 12,4 horas. La onda Kelvin muestra una leve gradiente transversal. Las elipses de marea degeneran completamente en la parte superior del Golfo, mientras que en la región inferior ambos ejes de las elipses son de magnitud comparable. Las Islas Negritos producen un efecto de refracción de la onda y su campo de velocidades, que desvía las aguas hacia el canal principal. El desfase de marea entre Herradura y Bahía Ballena influye determinantemente en la dirección de los ejes de las elipses de marea en la parte inferior del Golfo. Su valor se estima entre 0,0 y 0,133 radianes. La influencia inercial de las masas de agua que se mueven con la marea domina sobre la fricción del fondo marino, lo cual produce un Coeficiente de Amplificación cuya magnitud se calcula en un 30%. Se presentan mapas de corrientes predominantes para 63 puntos interiores, cada hora, durante 12 horas.

INTRODUCCION

El conocimiento de las alturas y corrientes de marea es de fundamental importancia en la predic-

ción del movimiento de los sedimentos, larvas de los peces y contaminantes (Abbott, 1979). Los navegantes de barcos con tonelajes grandes y tiempos de frenado largos requieren del conocimiento de las corrientes para planear su acercamiento a puerto y su atraque con eficacia y seguridad (Bruun, 1976). Desde el punto de vista legal, el conocimiento de las condiciones hidrodinámicas del Golfo de Nicoya, constituye la base técnica sobre la cual se pueden elaborar los reglamentos de navegación y uso racional de los recursos marítimos y costeros (Tracor Inc., 1971). El diseño y localización de facilidades costeras requieren a su vez del conocimiento de la hidrodinámica de las mareas (Horikawa, 1978). En esta publicación se dan a la luz pública y científica, por primera vez, algunos de los resultados más importantes de las investigaciones sobre la hidrodinámica del Golfo de Nicoya, realizadas por el autor en el Centro de Informática Milne de la Universidad Estatal de Oregón, Estados Unidos (O.S.U.) y que contaron con el apoyo de la Escuela de Oceanografía y del Departamento de Ingeniería Oceanográfica de O.S.U.¹ El propósito de esta investigación fue estudiar y predecir la dinámica global de la circulación de las aguas en el Golfo de Nicoya causada por las mareas y los vientos. La circulación gravitacional no se toma en cuenta pues las ecuaciones digitalizadas no incluyen la estratificación vertical originada en diferencias de densidad. Los resultados son comparados con las mediciones de campo realizadas bajo el programa International Sea Grant de la Universidad de Delaware (Maurer *et al.*, 1980). Varias incógnitas quedan aún sin resolver; sin embargo esperamos que futuros estudios las investiguen, en especial debido a la importancia económica y social que el Golfo de Nicoya tiene para Costa Rica. Estudios particulares podrán encargarse también, basados en los resultados logrados en esta investigación, para resolver

* Ph. D. Profesor en la Universidad de Costa Rica.

problemas de administración portuaria, desarrollo industrial, ingeniería costera, pesquerías y ecología costera y fortalecer así el progreso del país.

EL MODELO MATEMATICO

Daremos un breve resumen del modelo matemático usado en los cálculos hidrodinámicos. Para un tratamiento más detallado se podrán consultar otras publicaciones del autor (Murillo, L.M., 1981) y la documentación propia del modelo original de Mungall (Mungall, J.C.H.; Abel, C.E. and Olling, C.R., 1978, o, Mattews, B., and Mungall, J.C.H., 1972).

Las ecuaciones de conservación de momento y masa en dos dimensiones se digitalizan usando diferencias finitas y métodos de solución alternativos e implícitos (Mungall, J.C.H., and Mattews, J.B., 1970). Las ecuaciones resueltas son:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = f * v - g * \frac{\partial h}{\partial x} - g * \frac{[u^2 + v^2]^{1/2}}{C^2 * d} * u + W_x, \quad (1a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = f * u - g * \frac{\partial h}{\partial y} - g * \frac{[u^2 + v^2]^{1/2}}{C^2 * d} * v + W_y, \quad (1b)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = - \frac{\partial [u * d]}{\partial x} - \frac{\partial [v * d]}{\partial y}, \quad \text{con} \quad (1c)$$

$$W_x = 3,2 \times 10^{-6} * (u^2/d) * \cos \Psi \quad \text{y}$$

$$W_y = 3,2 \times 10^{-6} * (v^2/d) * \sin \Psi \quad , \text{ en donde :}$$

- u : velocidad horizontal en sentido del eje x,
- v : velocidad horizontal en sentido del eje y,
- h : altura del agua sobre el nivel medio (MSL) de las aguas,
- C : coeficiente de fricción de Chèzy en m^{1/2}/s
- d : profundidad
- g : 9,8 metros por segundo al cuadrado (m/ s²),
- f : el parámetro de Coriolis (f = 2 Ω sin ø, con Ω : velocidad angular de rotación de la tierra y ø: latitud),
- x, y : coordenadas del sistema de referencia horizontal en el plano β,
- W_x, W_y : fuerza del viento por unidad de volumen,
- Ψ : ángulo entre la dirección del viento y el eje y del sistema de coordenadas medido anticíclicamente,
- t : tiempo lunar (un día lunar es igual a 12,42 horas solares).

Como se nota, las ecuaciones son lineales y están escritas según el método de Euler, para describir en cada punto del espacio horizontal considerado P(x,y) la velocidad V[u(x,y,t), w(x,y,t)] y la altura h(x,y,t). Las ecuaciones se usan para calcular las velocidades y alturas de marea en los rectángulos en que se divide el Golfo (red de calculo o grid) tal y como se muestra en la Figura 1. La red de cálculo tiene un espaciamiento variable que varía entre 1,2 km y 2,4 km. Los valores calculados son pues valores promedio para los rectángulos. Las velocidades además son integradas verticalmente, tal y como se supone 1a, 1b, y 1c para obtener el modo barotrópico. Las oscilaciones propias (Seiches) y variaciones locales no originadas en las mareas no se toman en cuenta. Los cálculos incluyen pues solamente los efectos de la marea y del viento.

LA FRONTERA DE EXCITACION

Para modelar el efecto del Océano sobre el Golfo de Nicoya en cuanto a la marea se refiere, se presume que éste es excitado por aquel a lo largo de la línea que va desde Bahía Ballena a Punta Herradura. Esta Frontera de Excitación es perturbada por la función F.E. :

$$h_j = h_0 + \sum_{i=1}^6 F_i * Z_i * \cos (a_i * t + A_i + AL_j)$$

- con:
- h_j : altura del agua del punto j de la Frontera de Excitación ,
- h₀ : altura del nivel medio (MSL) de las aguas sobre el nivel de referencia o datum (1,39 metros, Bajamar de Sicigias),
- F_i : factor de corrección anual del componente armónico i,
- Z_i : amplitud del componente armónico i,
- a_i : velocidad del componente i en s⁻¹,
- A_i : fase del componente i y
- AL_j : desfase parcial entre el segmento j de la Frontera de Excitación y Punta Herradura.

La Función de Excitación está constituida por las componentes armónicas principales, a saber: M₂, S₂, N₂, K₂, K₁ y O₁. Esta F.E. o Función de Excitación reproduce satisfactoriamente la altura de las mareas

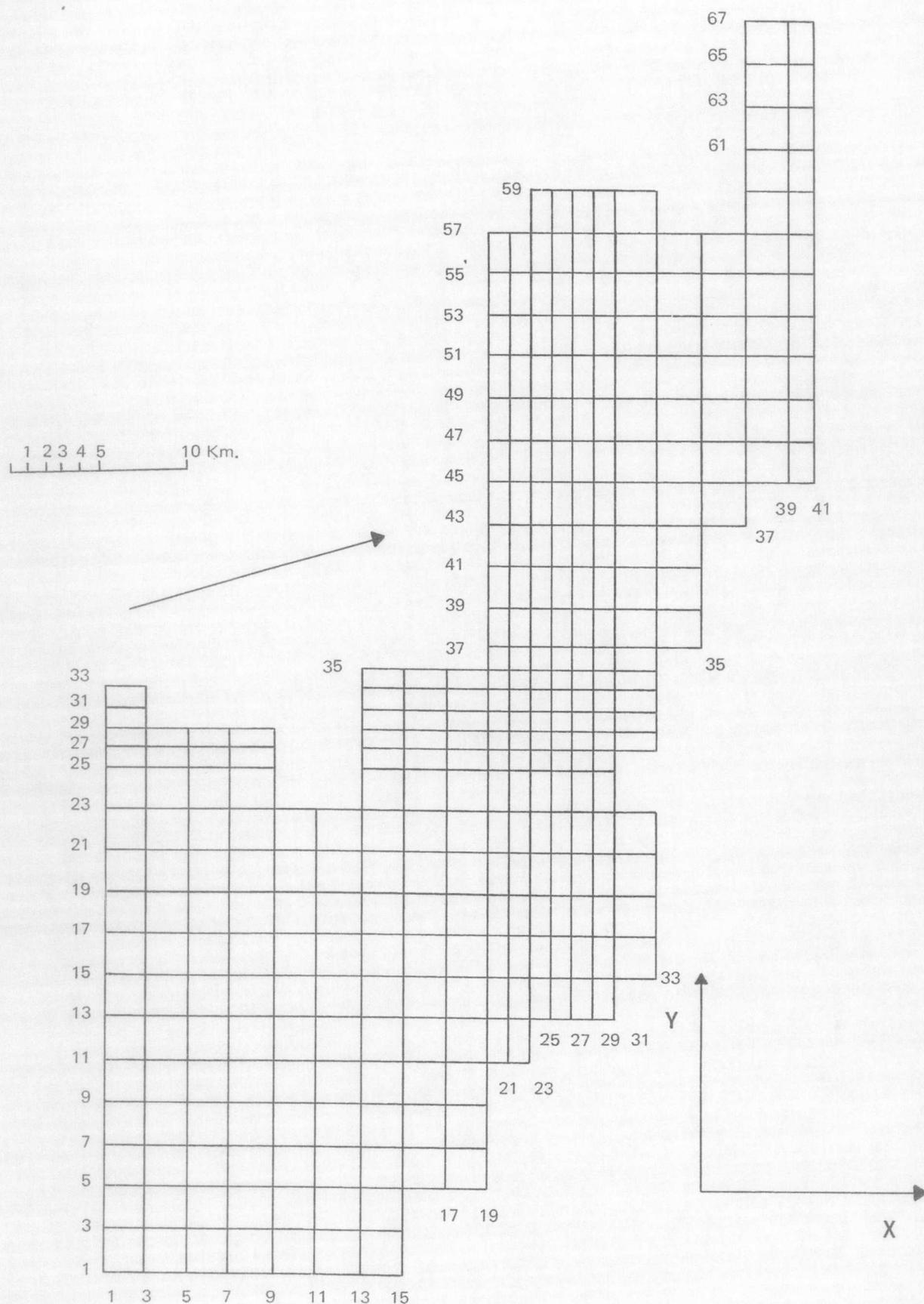


FIGURA 1. Red de cálculo para el Golfo de Nicoya.

en Puntarenas con un error absoluto máximo de 0,26 m (Murillo, L.M. 1983 – 1984).

Para modelar el efecto de la orientación de la Frontera de Excitación (F.E.), se presumieron dos modos fundamentales de excitación. El primero excita al Golfo (Figura 2) a lo largo de la isóbata de 73 metros entre Bahía Ballena y Punta Herradura ($\Delta\theta = 0$). El segundo considera un frente de excitación ligeramente rotado anticíclicamente a partir del primer modo de tal forma que la marea en Bahía Ballena se adelanta 0,133 radianes o 7,6 grados con respecto a la marea en Punta Herradura ($\Delta\theta = 0,133$). En los puntos intermedios (2, 3, 4,... j... 33) de la F.E. el desfase se calcula de acuerdo con la relación:

$$AL_j = \frac{j}{N}, \quad j = 2, 3, 4, 5 \dots N;$$

en donde N es el número total de nodos de cálculo en la F.E. (N=33). En vista de la poca profundidad en la región del límite superior del Golfo y la gran longitud de la onda de marea, es válido suponer una frontera superior rígida, totalmente reflectiva en la boca del Río Tempisque. Esta condición no es restrictiva, sin embargo, el algoritmo numérico puede variarse con gran facilidad para incluir cualquier corriente que en un futuro pudiera medirse en esa zona. De hecho el modelo fue ajustado inicialmente (Murillo, 1981) usando condiciones de frontera con velocidades diferentes de cero, variables en el tiempo. Concretamente el ajuste usó corrientes que variaban en el tiempo de acuerdo con una función armónica sencilla en la frontera interna de la Bahía Yaquina en Oregón, EUA.

RESULTADOS MAS IMPORTANTES

A continuación se discutirán algunos de los resultados más sobresalientes de los cálculos hidrodinámicos hechos para la marea típica (media) del mes de mayo de 1979. El gran volumen de los datos logrados hace necesario el resumen y reducción de los temas por tratar. Para un tratamiento más exhaustivo, consúltense otras publicaciones pertinentes del autor.

El efecto del viento

Suponiendo un viento constante del norte de 6 m/s con un ángulo de 242 grados con el eje "y" de la red de cálculo, se nota un efecto mínimo en las corrientes principales del Golfo. Estas condiciones meteorológicas son excepcionales durante el invierno y muy comunes durante el verano. El modelo hidrodinámico puede alterarse para incluir vientos de cualquier dirección e intensidad, variables en el tiempo sin mayor dificultad. El único requisito para lo anterior son los estudios de campo meteorológicos para determinar la distribución precisa en todo el Golfo.

Duración de los modos evanescentes

Al excitar el Golfo a partir de una condición inicial con velocidades y alturas iguales a cero, se nota que las oscilaciones pasajeras desaparecen luego del segundo período de oscilación de 12,4 horas. Esto facilita y abarata los cálculos numéricos, pues reduce el tiempo de cómputo. Muy posiblemente esta duración de los modos evanescentes se origina en la geomorfología del Golfo y en las propiedades no resonantes de la F.E.

Modo de oscilación de las alturas del agua

Luego de la desaparición de los modos evanescentes, se nota la presencia de una oscilación estacionaria en todo el Golfo con un período de 12,4 horas. Este período refleja una clara predominancia de la componente armónica M_2 . Las aguas oscilan verticalmente de forma simultánea con diferencias mínimas en los tiempos de marea alta y baja. Las corrientes son más fuertes un cuarto de período luego de la marea alta y baja. Todo esto refleja la existencia de una onda de marea estacionaria en el interior del Golfo. Lo anterior coincide con los cálculos hechos por Fleming (1937) para la región costera del Pacífico Tropical Este. En las Figuras 3 y 4 se pueden observar las curvas de nivel del agua típicas para la marea entrante. En ambas figuras se nota una intensificación de los gradientes de altura del agua en la parte superior del Golfo. Se nota también una intensificación de los gradientes con el desfase de la marea a la entrada del Golfo. La onda de marea

penetra el Golfo siguiendo su eje horizontal con poco gradiente transversal para un desfase nulo en la F.E. Para un desfase de 0,133 radianes, los gradientes son significativos (5 cm/10 km) en la parte inferior del Golfo, pero vuelven a ser mínimos en la parte superior. En todos los casos se observa el efecto refractario de la región de las Islas Negritas. La onda de marea es reflejada por esta

región hacia el canal principal a lo largo del eje del Golfo. El modelo predice un tiempo de penetración de 1,45 horas para una onda progresiva. Lo anterior está de acuerdo con los cálculos que se pueden hacer usando la expresión:

$$t = \int 1 / g * h \quad d(s),$$

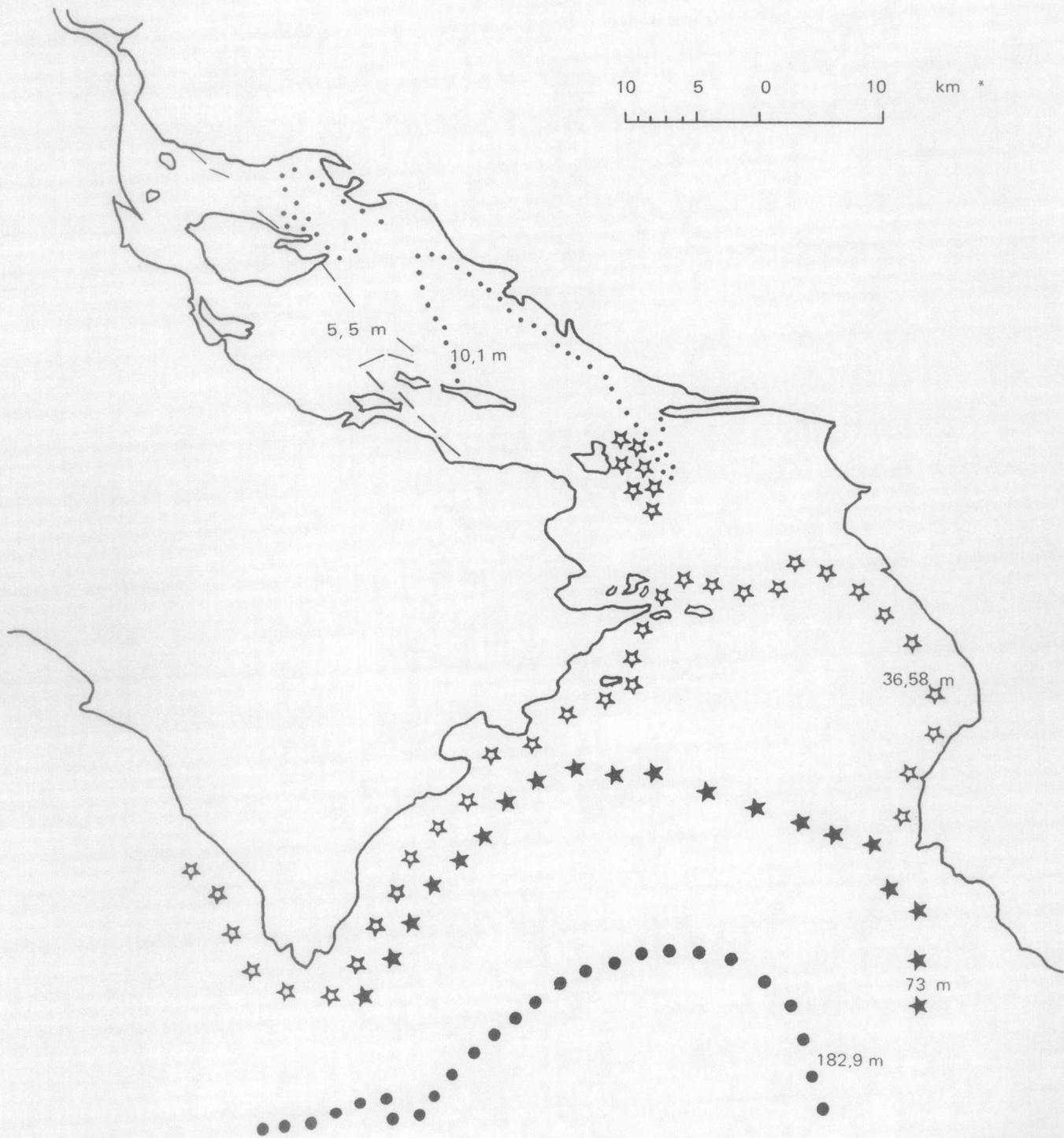


FIGURA 2. Curvas de igual profundidad del Golfo de Nicoya.

en donde s es la distancia horizontal a lo largo del eje del Golfo. Con la anterior ecuación, suponiendo un perfil lineal de profundidades, se obtiene un tiempo de penetración de 1,44 horas para una onda de marea solitaria.

Los efectos de la fricción del fondo

En esta investigación se usan dos valores para el coeficiente de fricción de Chèzy C . Para el desfase de 0,0 se usa $50 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ y para el desfase de 0,133 radianes en la F.E. se usa $30 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$. En ambos casos la propagación de la onda está dominada por los efectos inerciales de las ecuaciones de movimiento del modelo más que por los efectos de la fricción del fondo. La marea se amplifica en ambos casos en la región interior del Golfo. Para un desfase de 0,0 la amplificación (en centímetros) crece linealmente de acuerdo con la expresión ($r^2 = 0,98$):

$$A = A_0 + 1,34 * s$$

en donde A es la amplitud de la distancia s (en kilómetros) de la F.E. y A_0 es la amplitud de la marea en la F.E. El valor usado para A_0 es de 236 cm de acuerdo con los cálculos del autor para la marea típica (Murillo, 1984). Este comportamiento variará poco para otras épocas debido a la predominancia de la componente armónica M_2 sobre las otras componentes armónicas de la marea astronómica en el Golfo (Murillo, 1984).

Las corrientes de marea

El cálculo de las corrientes y alturas de marea se hizo para 316 puntos interiores del Golfo de Nicoya, para las condiciones de marea típica del mes de mayo de 1979. El comportamiento de las corrientes en las estaciones indicadas en la Figura 5 se muestran en las Figuras 6 y 7. La Figura 6 corresponde a un desfase en la F.E. de 0,0 y la Figura 7 a un desfase de 0,133 radianes. En ambas figuras se nota cómo, en la parte superior del Golfo, las corrientes de marea se comportan de forma unidimensional, con su dirección predominante paralela al eje del Golfo. En la parte inferior del Golfo el comportamiento de las

corrientes de marea es más complejo. Las elipses de marea no degeneran y muestran un eje mayor alineado al eje del Golfo y un eje menor bien definido y de magnitud comparable a la del eje mayor. En la región cercana a las Islas Negritos y Cedro se nota el efecto refractario de la poca profundidad sobre la onda de marea y su campo de velocidades. En la región cercana a la estación S4, con un desfase cero en la F.E., se nota la predominancia de las corrientes en dirección este (Figura 5), desviándose las aguas hacia el canal principal del Golfo a lo largo de su eje horizontal. Se deduce de la observación de los campos de velocidades calculados por el modelo hidrodinámico para la región media del Golfo que los valores máximos, que se encuentran en la zona cercana a la depresión de la Isla San Lucas, dependen del desfase de marea supuesto en la F.E.; de tal modo que las corrientes de marea saliente máximas se retrasan unas tres horas para un desfase de 0,133 radianes en la F.E. No así con las corrientes de la marea entrante, las cuales son independientes del desfase de la F.E. en esta región media del Golfo. Estos resultados coinciden con lo encontrado por P.E. Speer (1983) en Nauset Inlet, en Cape Cod, Massachusetts, E.U.A. Según este estudio el efecto de retraso de las corrientes se debe a un crecimiento no lineal de los armónicos del componente principal M_2 .

Los mapas de corrientes de marea típica

Los mapas de corrientes de marea para 63 puntos interiores del Golfo de Nicoya² se presentan en las Figuras 8 a 20. Estos campos de corrientes corresponden a la marea típica del 1° de mayo de 1979. En su cálculo se presumen un desfase de 0,133 radianes en la F.E. y un coeficiente de fricción de Chèzy con el valor de $30 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$. Debido a la predominancia de la componente armónica M_2 (Murillo 1984) en el espectro de la marea y la pequeñez de las amplitudes de los otros componentes armónicos, estos cálculos para los campos de corrientes deberán predominar durante la mayoría de los días del año. En las Figuras 8 a 20 se nota cómo las velocidades se invierten primero en la parte inferior del Golfo, en la cercanía de la Punta Herradura, para luego paulatinamente conti-



FIGURA 3. Curvas de nivel del agua. Los números indican la altura del agua con respecto al nivel medio (MSL) en centímetros.

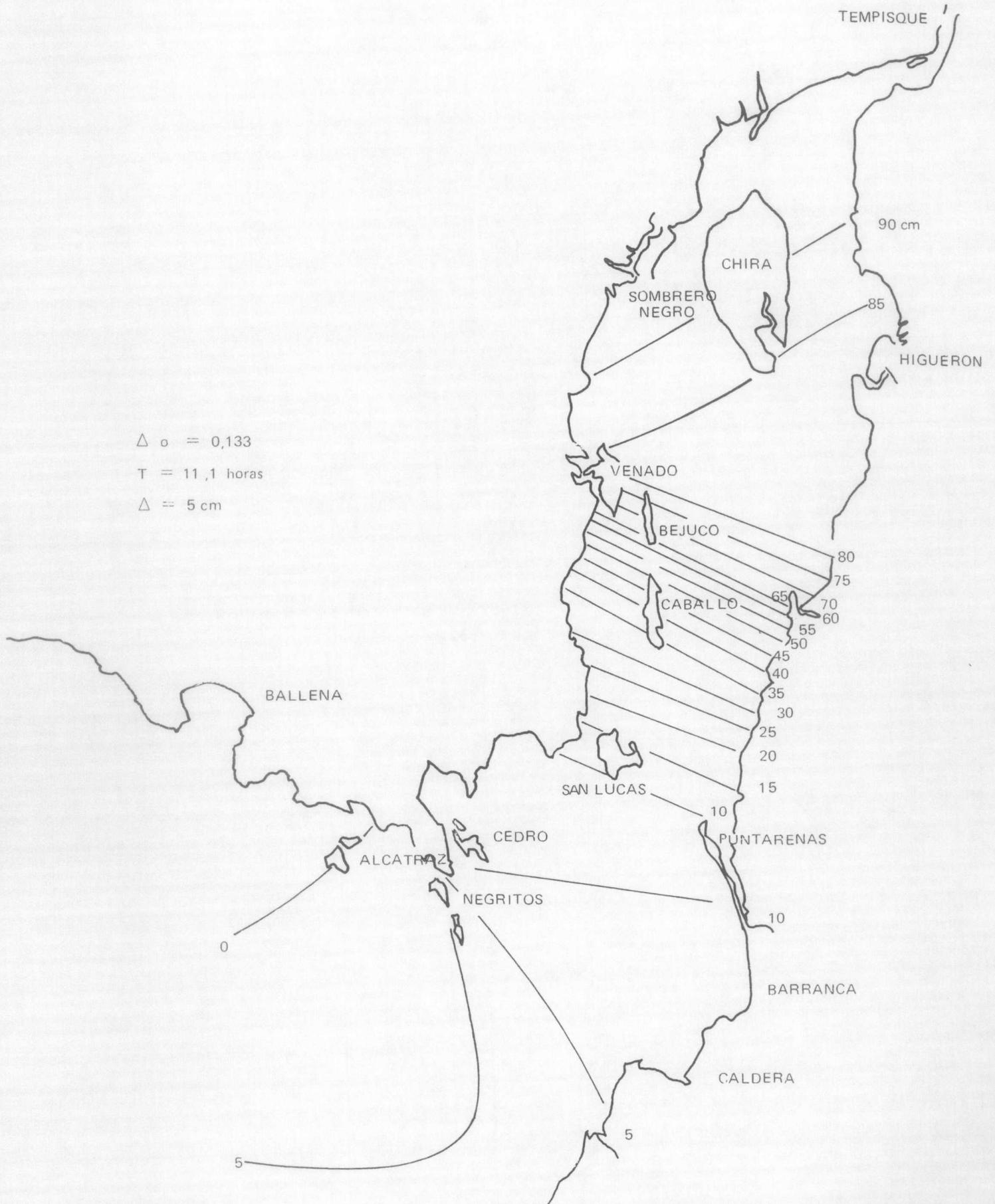


FIGURA 4. Curvas de nivel del agua. Los números indican profundidad del agua con respecto al nivel medio (MSL) en centímetros.

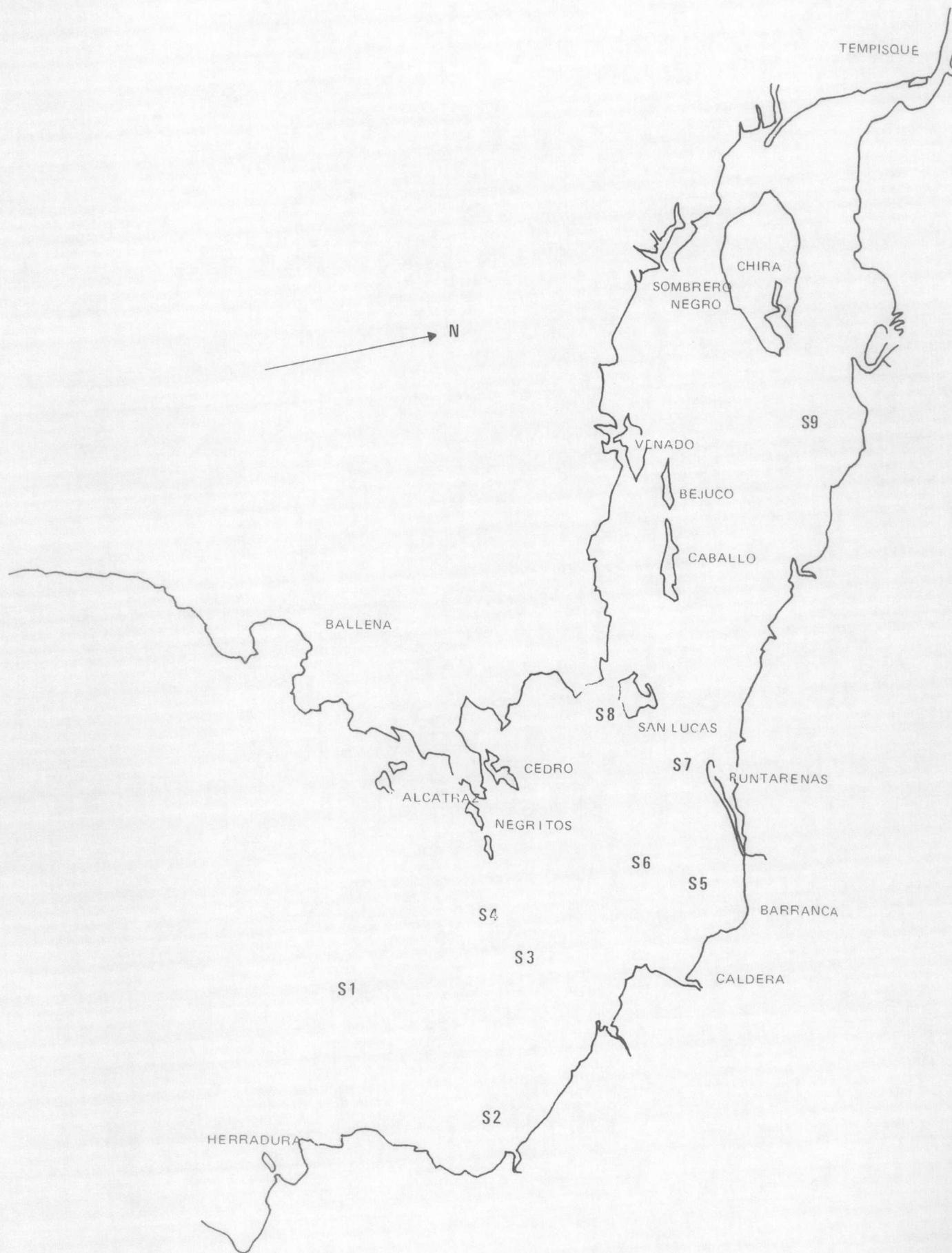


FIGURA 5. Estaciones oceanográficas.

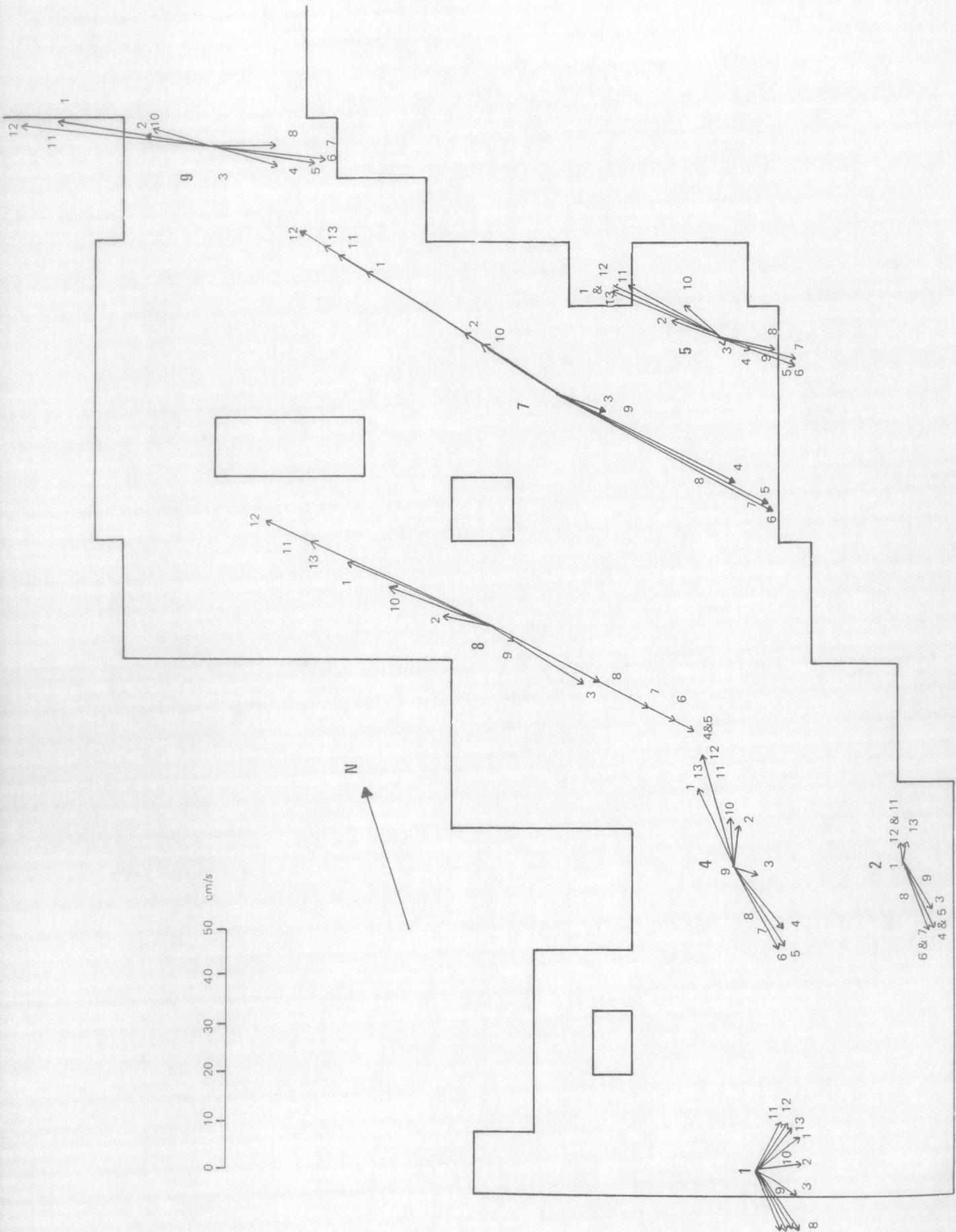


FIGURA 6. Elipses de Marea para cero desfase.

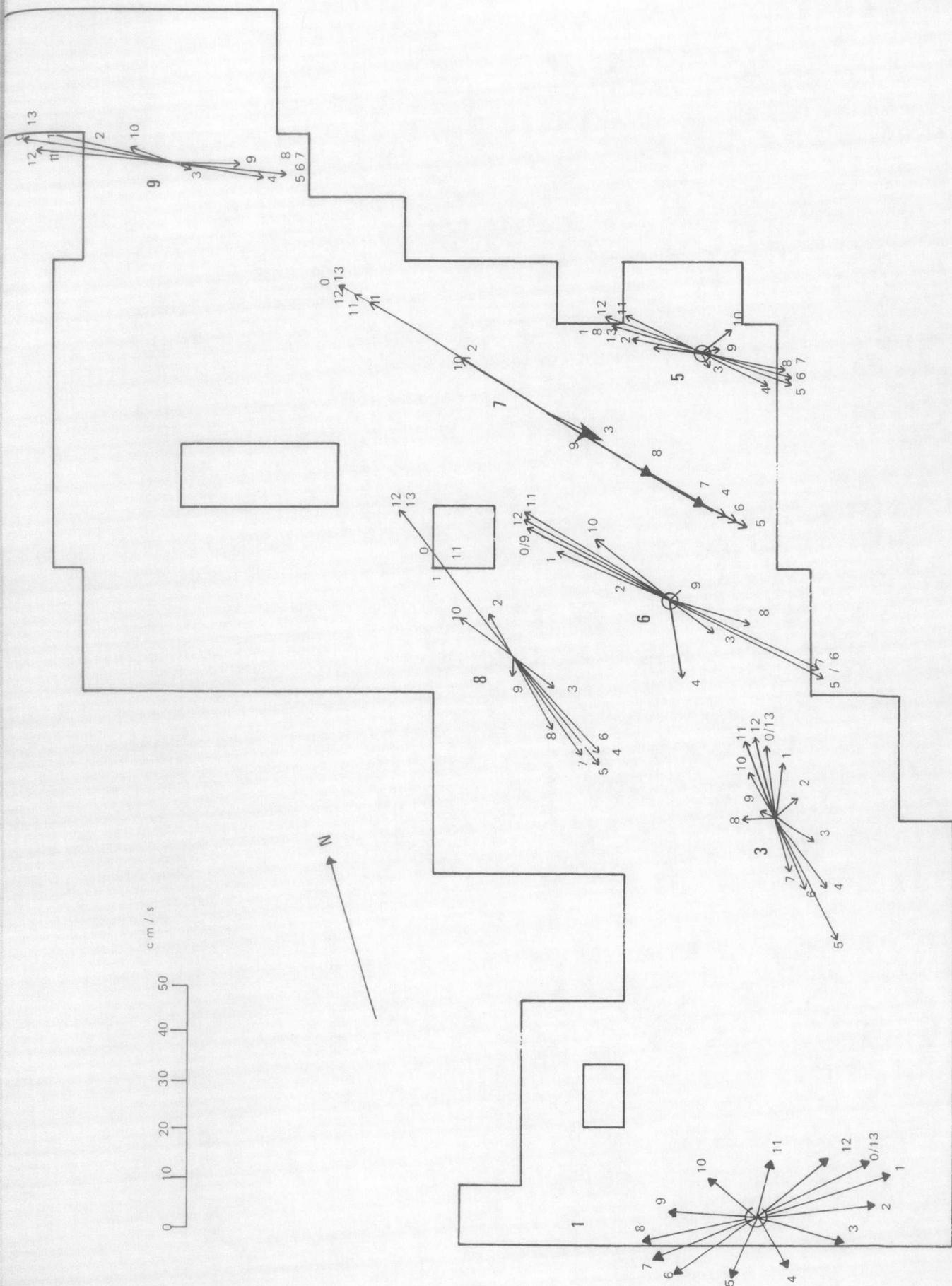


FIGURA 7. Elipses de marea para un desfase de 0,133 radianes.

nuar invirtiéndose en el resto del campo de velocidades.

HIPOTESIS DE LA FORMACION DE LA PENINSULA DE PUNTARENAS

De la formación de los campos de velocidades calculados por el modelo hidrodinámico para todo el período de 12,4 horas se puede concluir la siguiente hipótesis sobre el origen de la Península de Puntarenas: al ingresar la marea al Golfo, las velocidades van generalmente orientadas hacia el noreste, hacia la región de Barranca y Caldera. Al acercarse las aguas a esta región, las velocidades disminuyen su magnitud y se reorientan hacia el noroeste. La consecuente reducción de la capacidad de arrastre del sedimento suspendido origina un régimen de sedimentación en la región que poco a poco, con el paso de los años, ha alcanzado un equilibrio que finalmente dio origen a la península. Es de esperar también que cualquier cambio en la hidrodinámica costera de la región, mediante estructuras de origen humano o cambios drásticos en los vientos o el oleaje, tenga efectos inesperados en este régimen de sedimentación que pueden ser potencialmente trágicos. Además, el modelo hidrodinámico usado en esta investigación permite estimar, mediante la inclusión de un campo de vientos o de una onda maremoto o tsunami apropiados, qué condiciones deberán darse para convertir completamente el régimen de sedimentación en un régimen de erosión con la subsecuente desaparición de la península y las facilidades portuarias cercanas.

ALGUNOS USOS POSIBLES DEL MODELO HIDRODINAMICO BIDIMENSIONAL

Los campos de velocidades calculados por el modelo en tantos puntos como se quiera y tan a menudo como se amerite, también pueden ser usados para estudiar el movimiento de los sedimentos en la región litoral del Golfo de Nicoya o de cualquier otro golfo parecido. Tanto los movimientos de sedimentos debidos a la marea entrante como a la marea saliente se pueden resolver con gran abundancia de detalles. Es de esperar que debido a la magnitud de las corrientes y a la gran

amplitud de la marea, los cambios producidos por ellas sean determinantes y muy superiores a los efectos originados solamente en las olas o los vientos. De especial interés es la combinación de los efectos originados en la interacción del oleaje y la marea con la geomorfología costera del Golfo y su efecto conjunto en las estructuras costeras localizadas en su interior. El efecto de las corrientes de marea es también determinante en el mezclado y agitación de las productivas aguas del Golfo. Contrario a lo concluido en el estudio escalar y cualitativo de Peterson (1960), el presente trabajo hidrodinámico reivindica la predominancia de las corrientes de marea que constituyen más del 80% de la variación experimentada en varias estaciones de medición establecidas en la región inferior del Golfo (Murillo, 1981) por el International Sea Grant Program de la Universidad de Delaware (D. Maurer, C. Epifanio, K.S. Price; 1980). En vista de la importancia de las mareas en el mezclado de las aguas, la parte superior del Golfo puede considerarse como una laguna interior sometida a la agitación de las mareas, limitada en su extremo superior por el Río Tempisque y en su extremo inferior por la Península de Puntarenas, que a su vez reduce la energía del oleaje que penetra al interior. Este régimen hidrodinámico favorece la productividad en estas aguas interiores poco profundas, dándole a la parte interior del Golfo un gran potencial para desarrollos portuarios, industriales y pesqueros. Claro está que el modelo hidrodinámico puede ser usado para estudiar los campos de velocidades existentes durante las condiciones de marea extremas e incluir vientos fuertes durante cualquier época del año. Las capacidades de modelaje hidrodinámico son enormes y de gran importancia para los futuros desarrollos costeros del país.

NOTAS

- 1 Esta investigación se hizo en 1980-1981 con la colaboración del entonces director del Departamento de Ingeniería Oceánica, el Dr. L. Slotta y el profesor de la Escuela de Oceanografía, el Dr. S. Neshyba de O.S.U.
- 2 Los mapas de los campos de corrientes de marea fueron elaborados con la valiosa ayuda del Departamento de Cálculo del Instituto Geográfico Nacional a cargo de Don José Venegas.

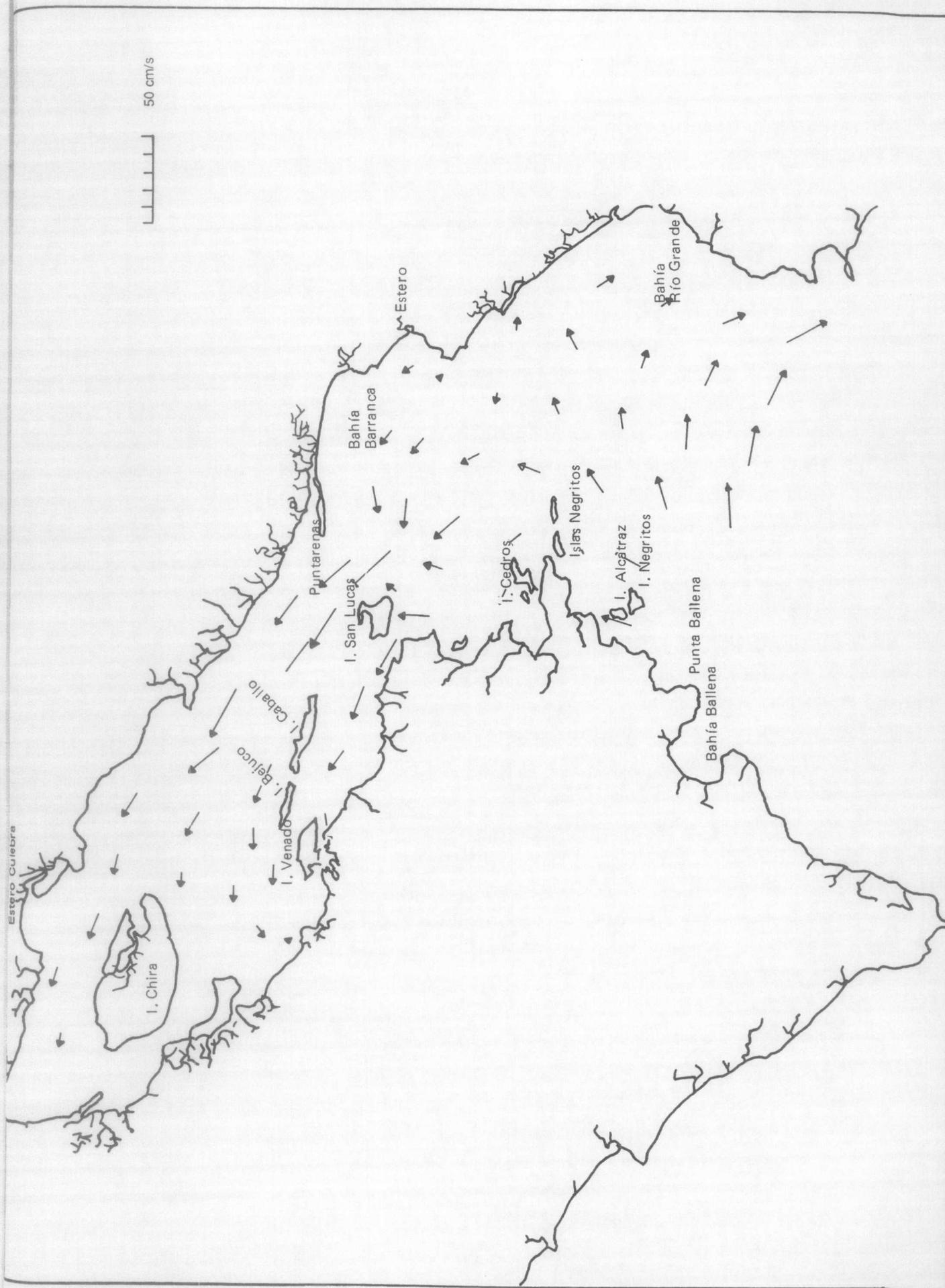


FIGURA 8. Cero horas después de la marea alta en Puntarenas.

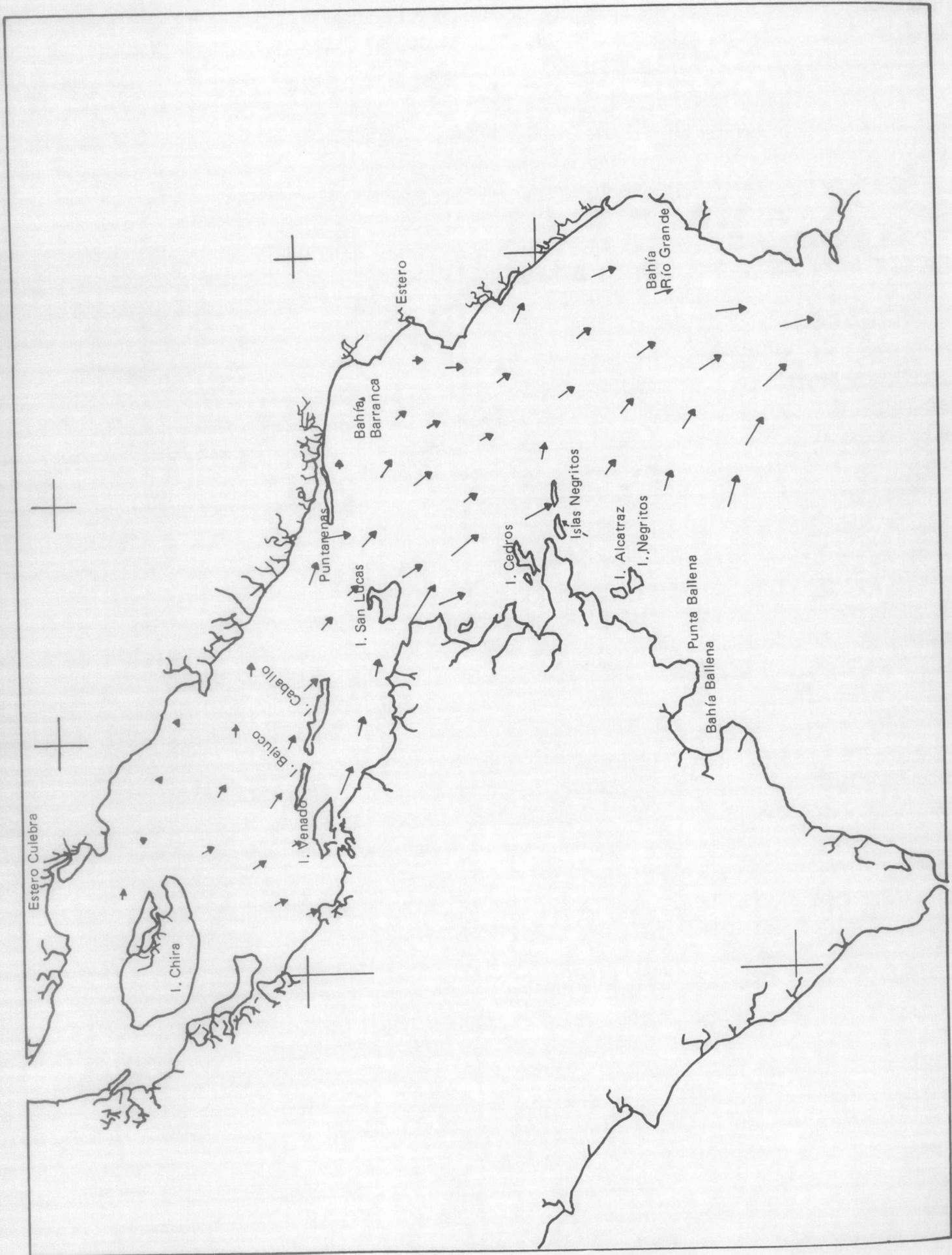


FIGURA 9. Una hora después de la marea alta en Punta Arenas.

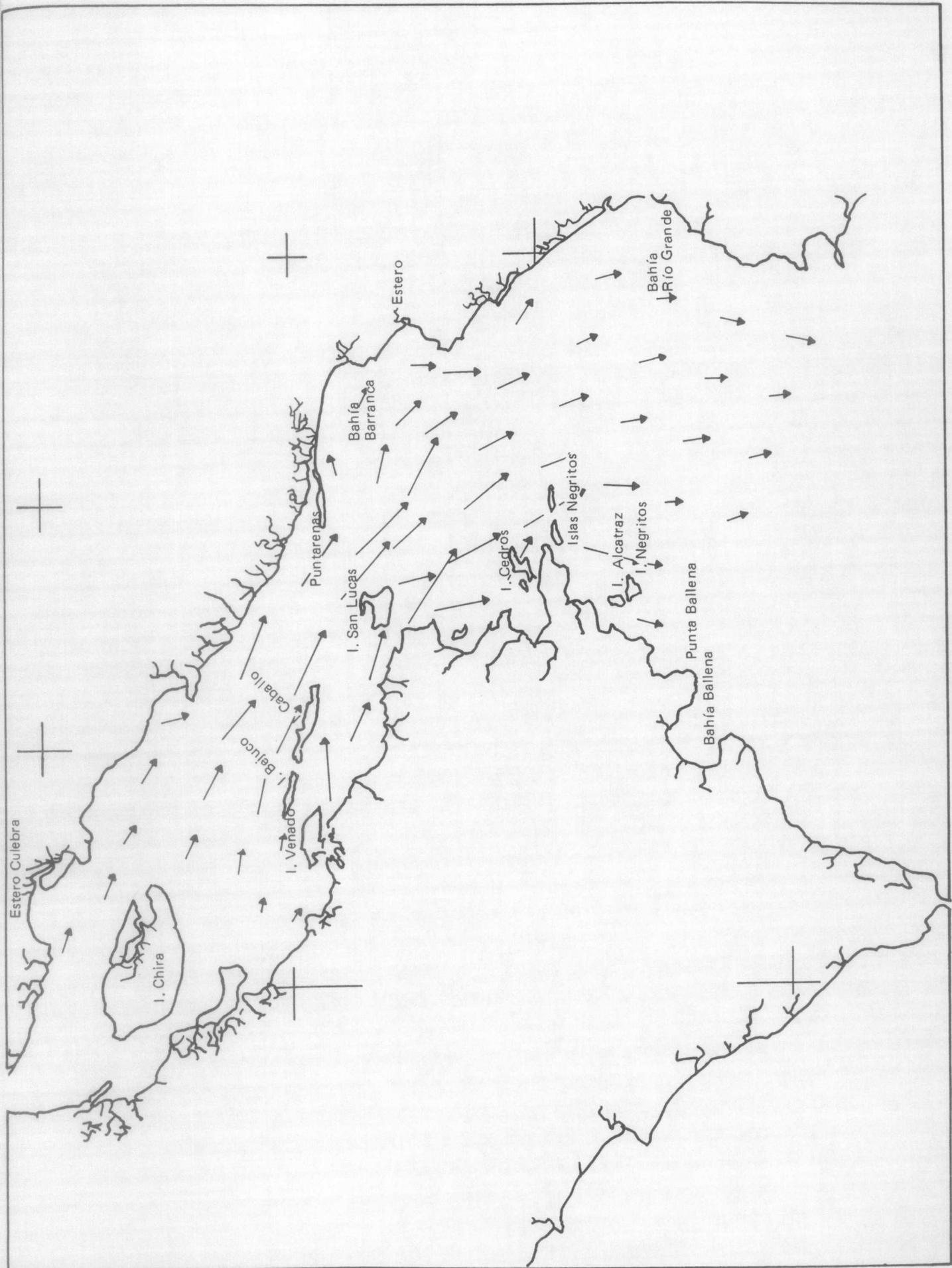


FIGURA 10. Dos horas después de la marea alta en Puntarenas.

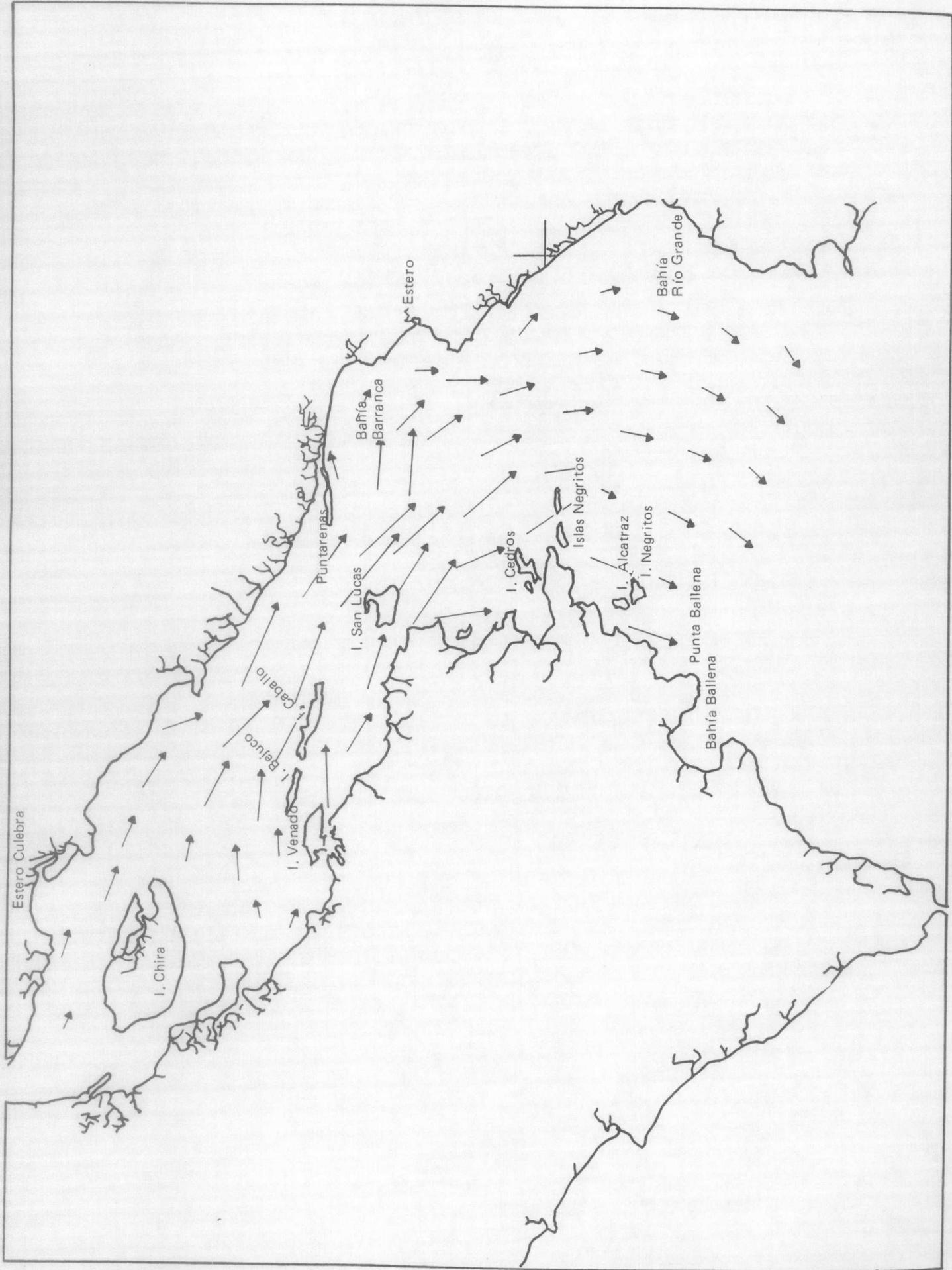


FIGURA 11. Tres horas después de la marea alta en Puntarenas.

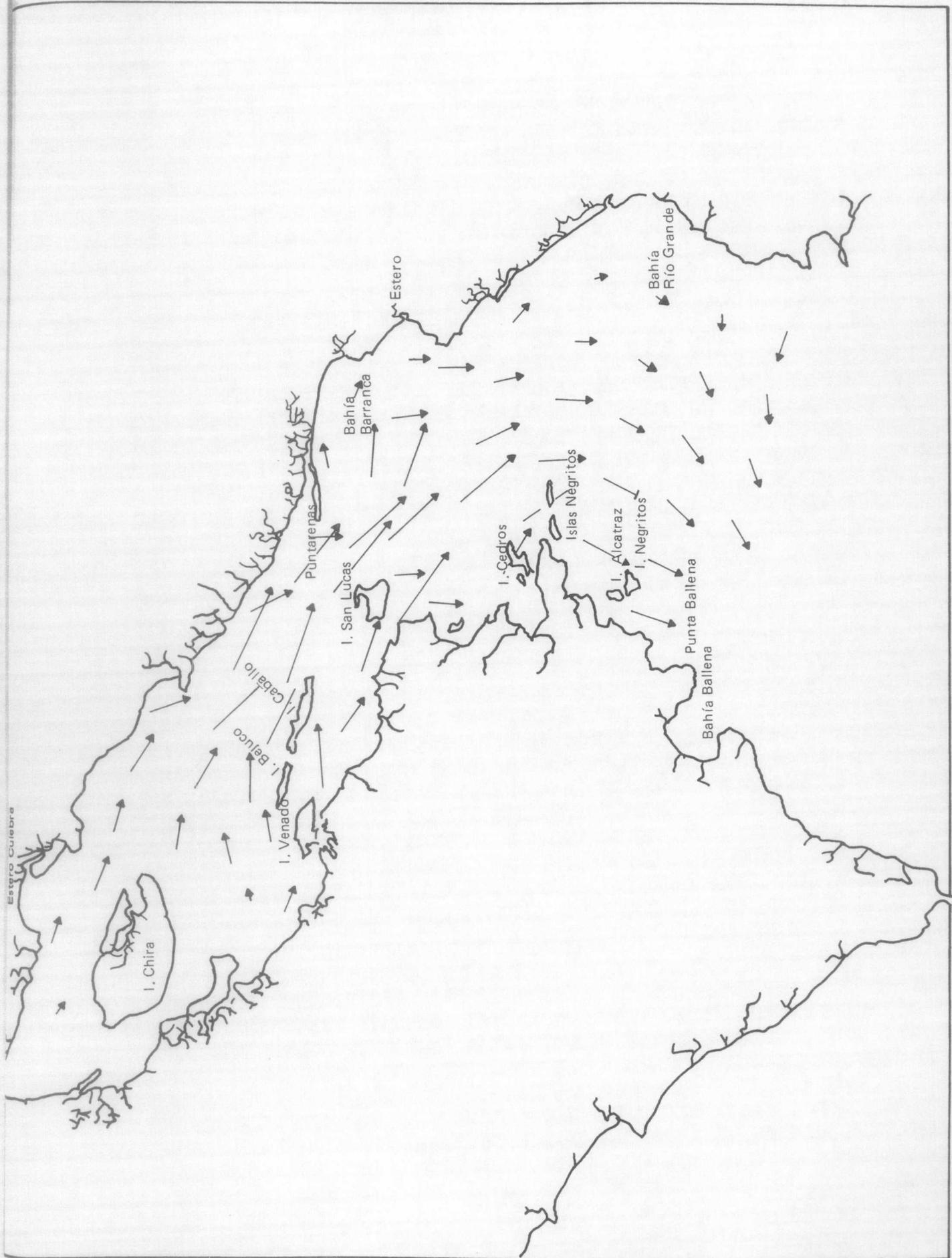


FIGURA 12. Cuatro horas después de la marea alta en Puntarenas.

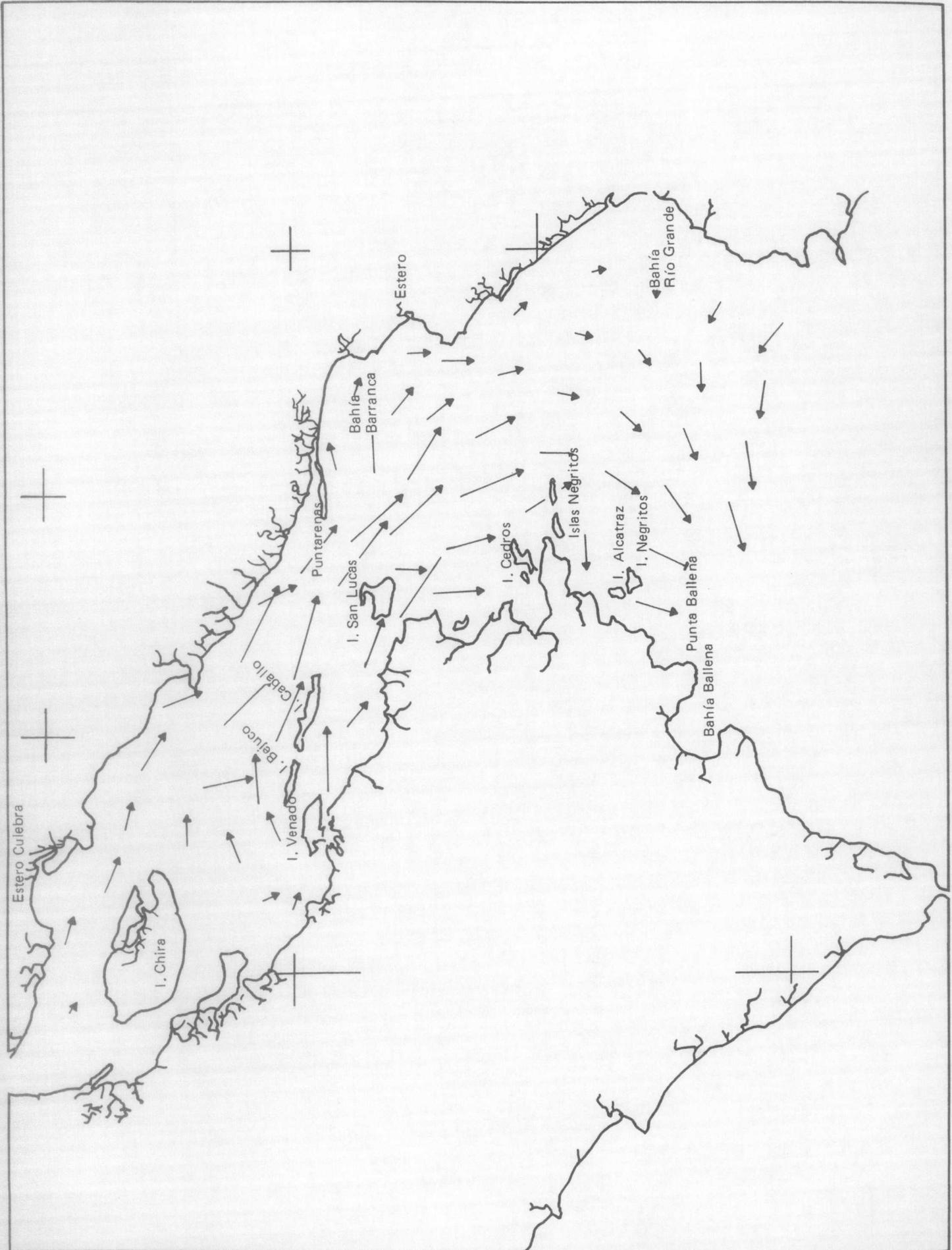


FIGURA 13. Cinco horas después de la marea alta en Puntarenas.

Estero Culebra

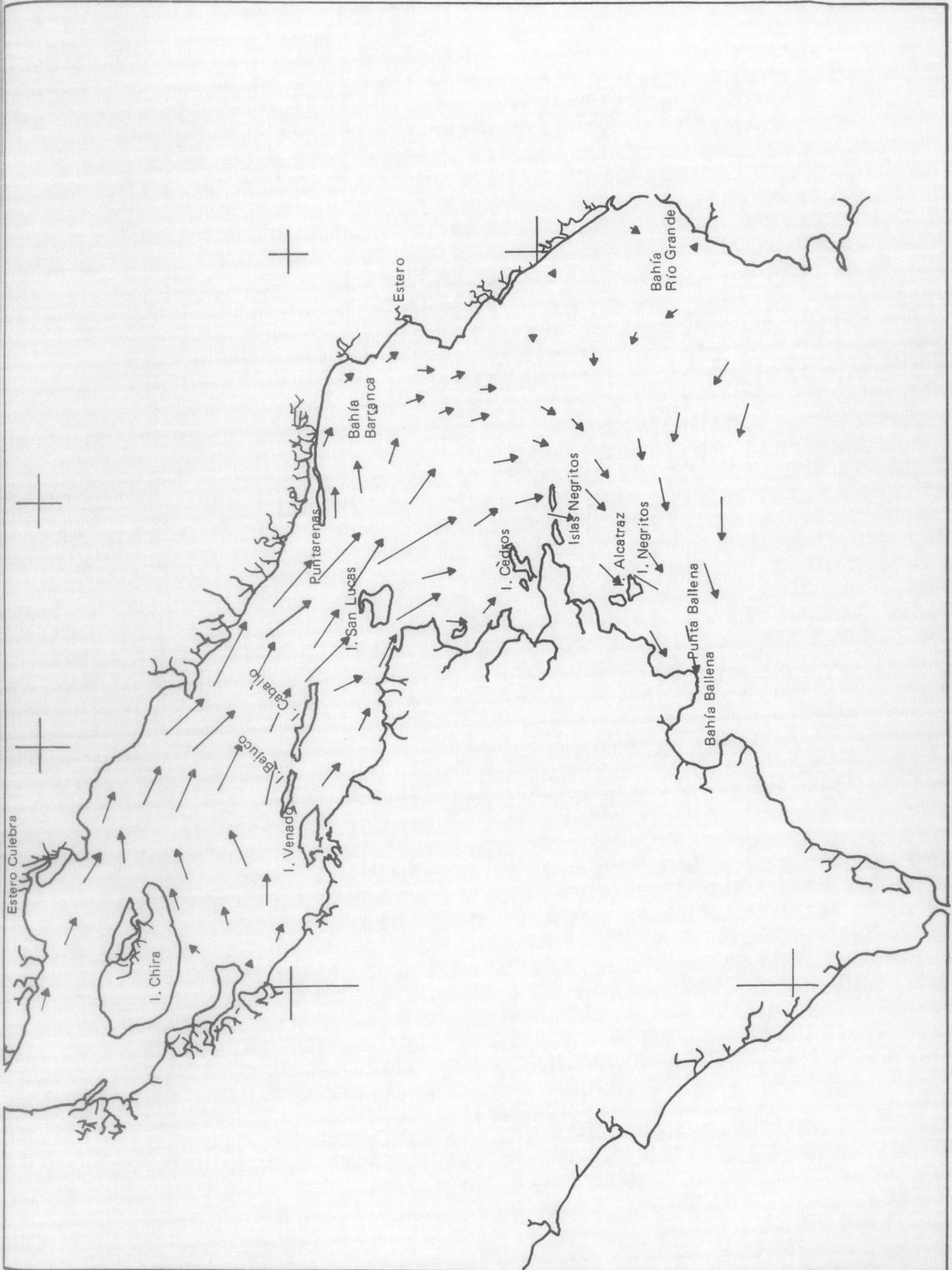


FIGURA 14. Seis horas después de la marea alta en Puntarenas.

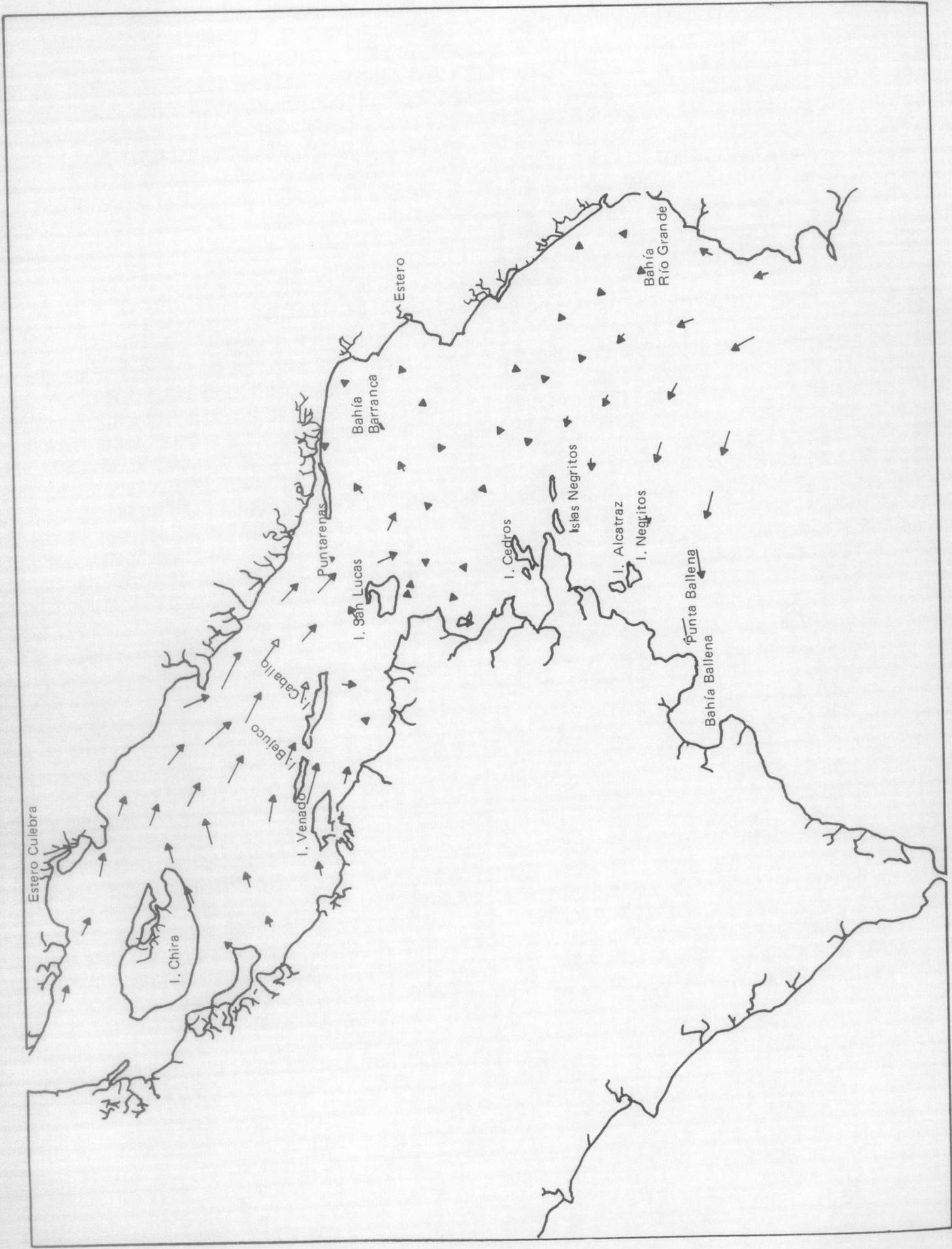


FIGURA 15. Siete horas después de la marea alta en Puntarenas.

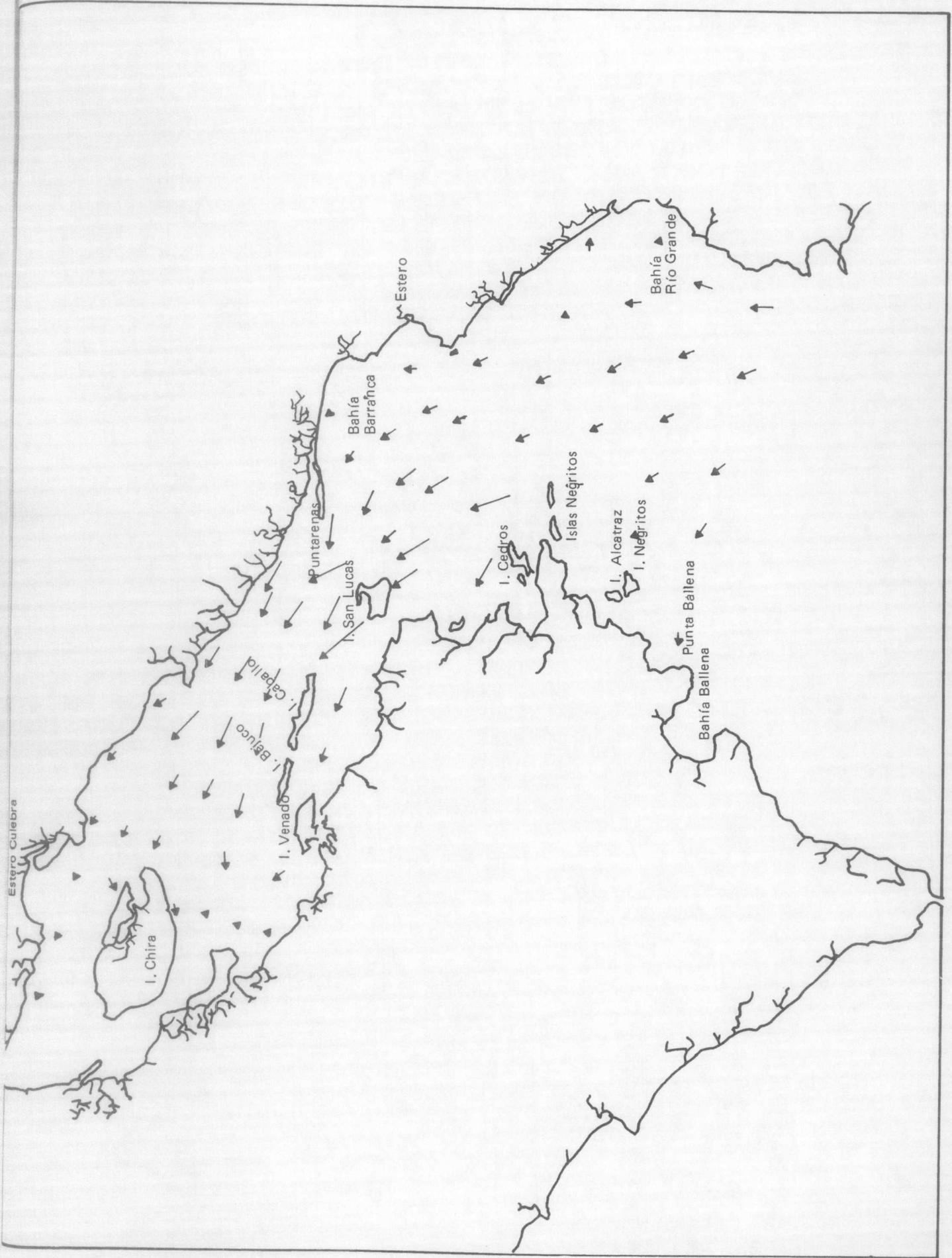


FIGURA 16. Ocho horas después de la marea alta en Puntarenas.

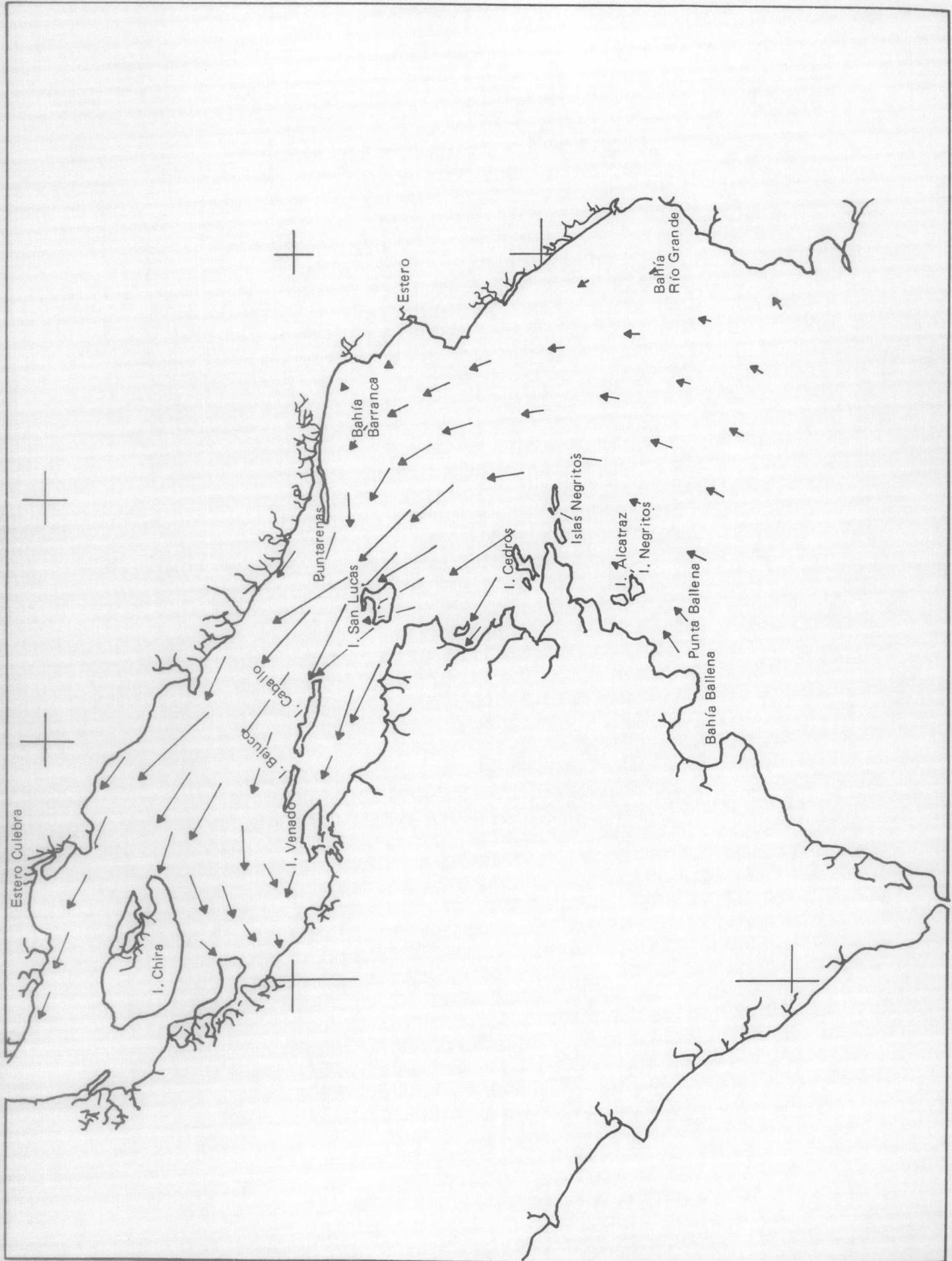


FIGURA 17. Nueve horas después de la marea alta en Puntarenas.

Estero Culebra

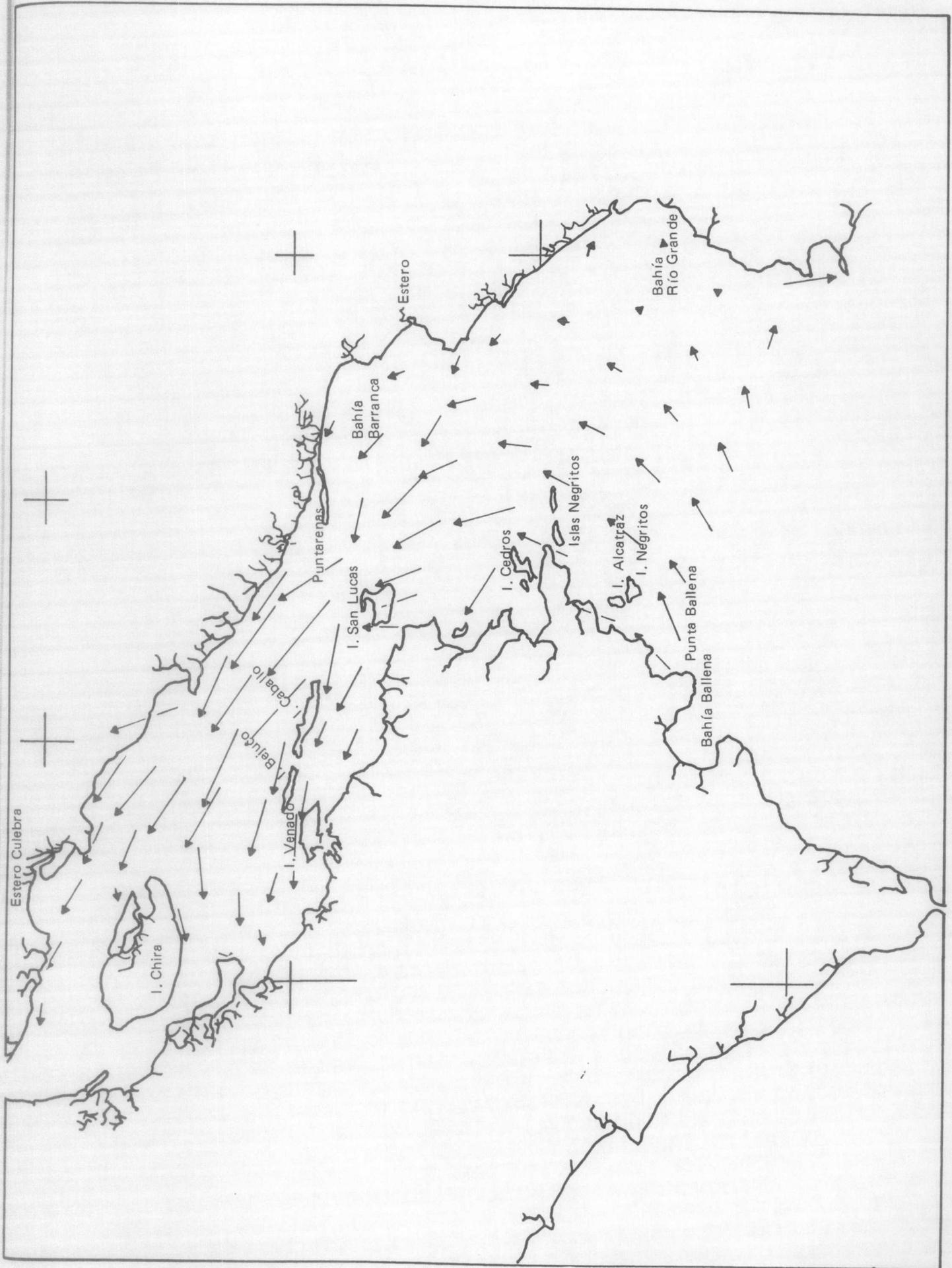


FIGURA 18. Diez horas después de la marea alta en Puntarenas.

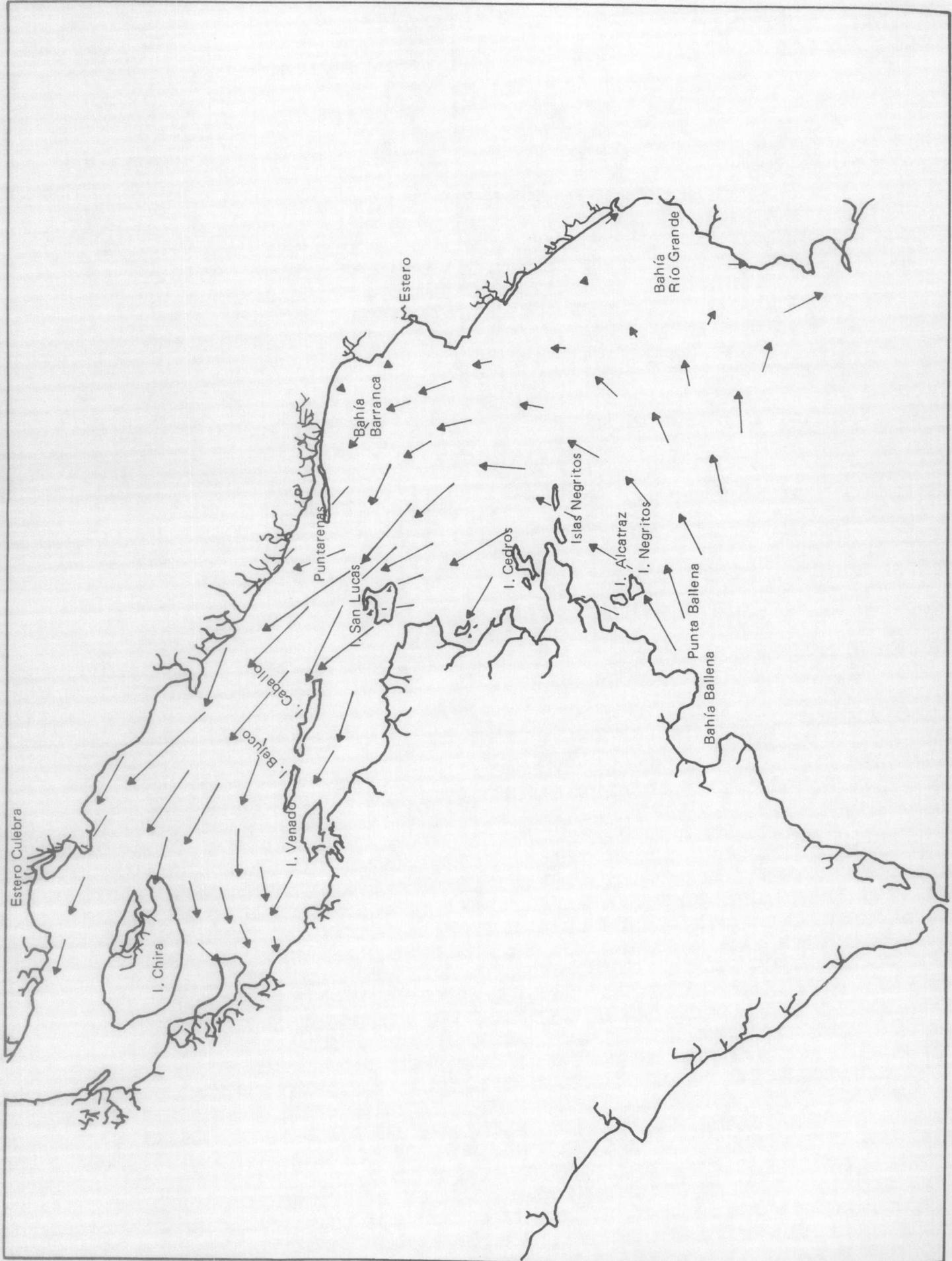


FIGURA 19. Once horas después de la marea alta en Punta Arenas.

Estero Culebra

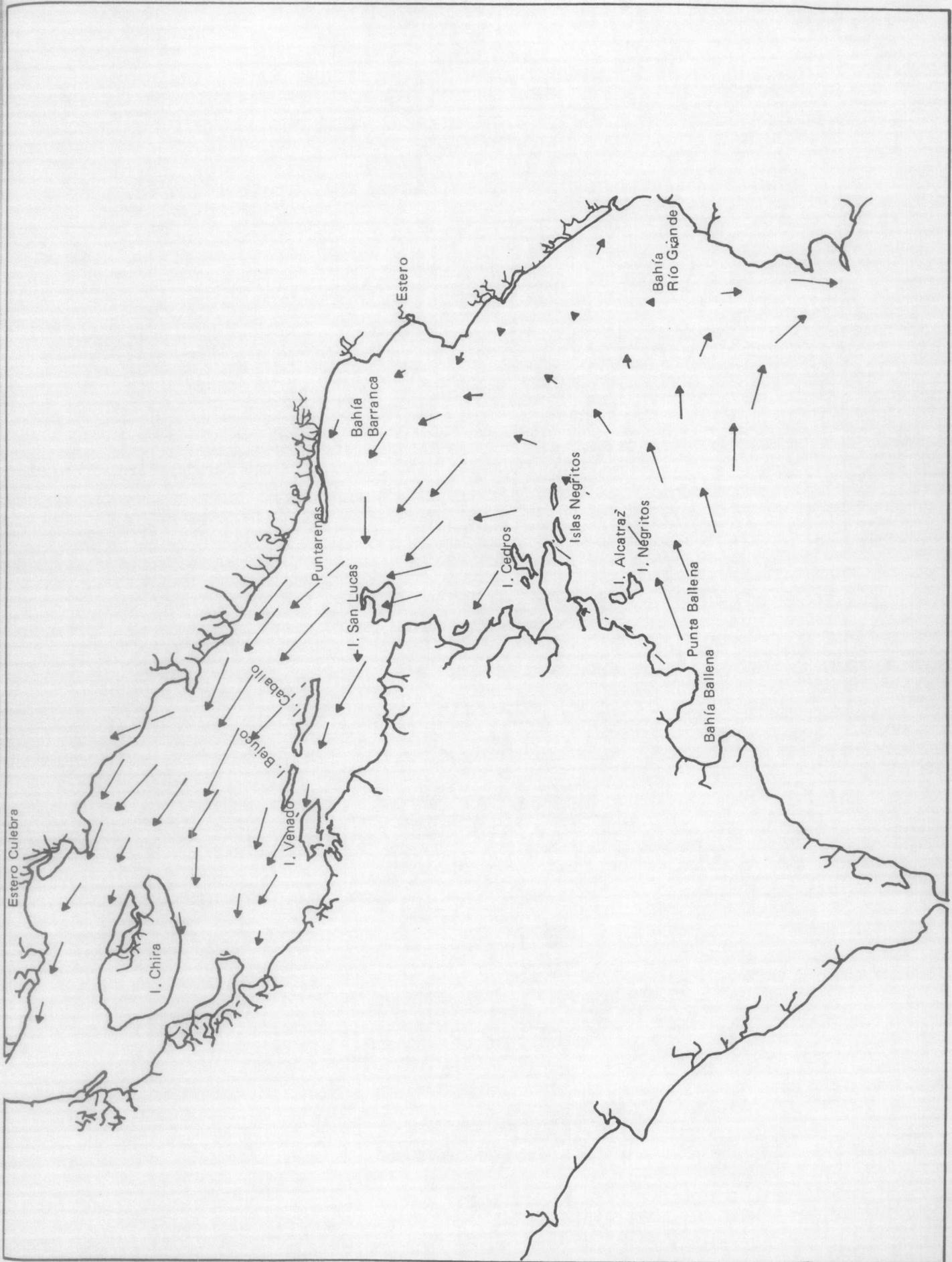


FIGURA 20. Doce horas después de la marea alta en Puntarenas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abbott, M.B. (1979) **Computational hydraulics; elements of the theory of free surface flows**. Pittman, London. 324 p.
- Brunn, P. (1976) **Port Engineering**. Gulf Publishing Company, Houston Texas. 586 p.
- Fleming, R.H. *Tides and tidal currents in the Gulf of Panama*. **Journal of Marine Research** Vol 1 (3). 1937.
- Peterson, C.L. *The Physical Oceanography of the Gulf of Nicoya, Costa Rica, a tropical Estuary*. **Interamerican Tropical Tuna Comission Bulletin**. Vol 4 (4), 1960.
- Mattews, B.; Mungall, J.C.H. *A Numerical Tidal Model and its application to Cook Inlet, Alaska*. **Journal of Marine Research**. Vol 31 (1), 1972.
- Maurer, D.; Epifanio, C.; Price, K.S. (1980) *Progress report of 1979*. **International Sea Grant Program**. College of Marine Studies. University of Delaware. 290 p.
- Mungall, J.C.H.; Matthews, J.B. (1970) *A variable Boundary Numerical Tidal Model*. **Institute of Marine Science**, University of Alaska. Report N. R70-4.
- Mungal, J.C.H.; Abel, C.E.; Olling, C.R. (1978) *Hidrodynamic Model Estimates of the M2 and K1 Currents of the Gulf of Mexico*. **Texas A&M University**, Department of Oceanography. Reference 78-9-T, April.
- Murillo B., L.M. (1981) **Modelling Tidal Hydrodynamics and Dispersion in the Gulf of Nicoya, Costa Rica**. Oregon State University 198 numb. 1.
- Murillo B., L.M. *Un modelo para el régimen de intercambio dispersivo del Estero de Puntarenas*. **Tecnología en Marcha**. Vol 6 (2). 1983.
- Murillo B., L.M. *La predicción continua de las mareas en Puntarenas para los años 1983-1990*. **Tecnología en Marcha**. Vol. 6 (4), 1984.
- Speer, P.E., D.G. Aubrey. *Tidal Distortions in Shallow Estuaries*. **E.O.S. Transactions American Geophysical Union**, Vol. 64 (18), 1983.

sol
que
a la
de
cor
"en
pa
cor
la c
Est
am
ins
tec

cóc
en
tra
las
pié
la c
exp
dej
sol
bú:
la c
dis
av:
vid