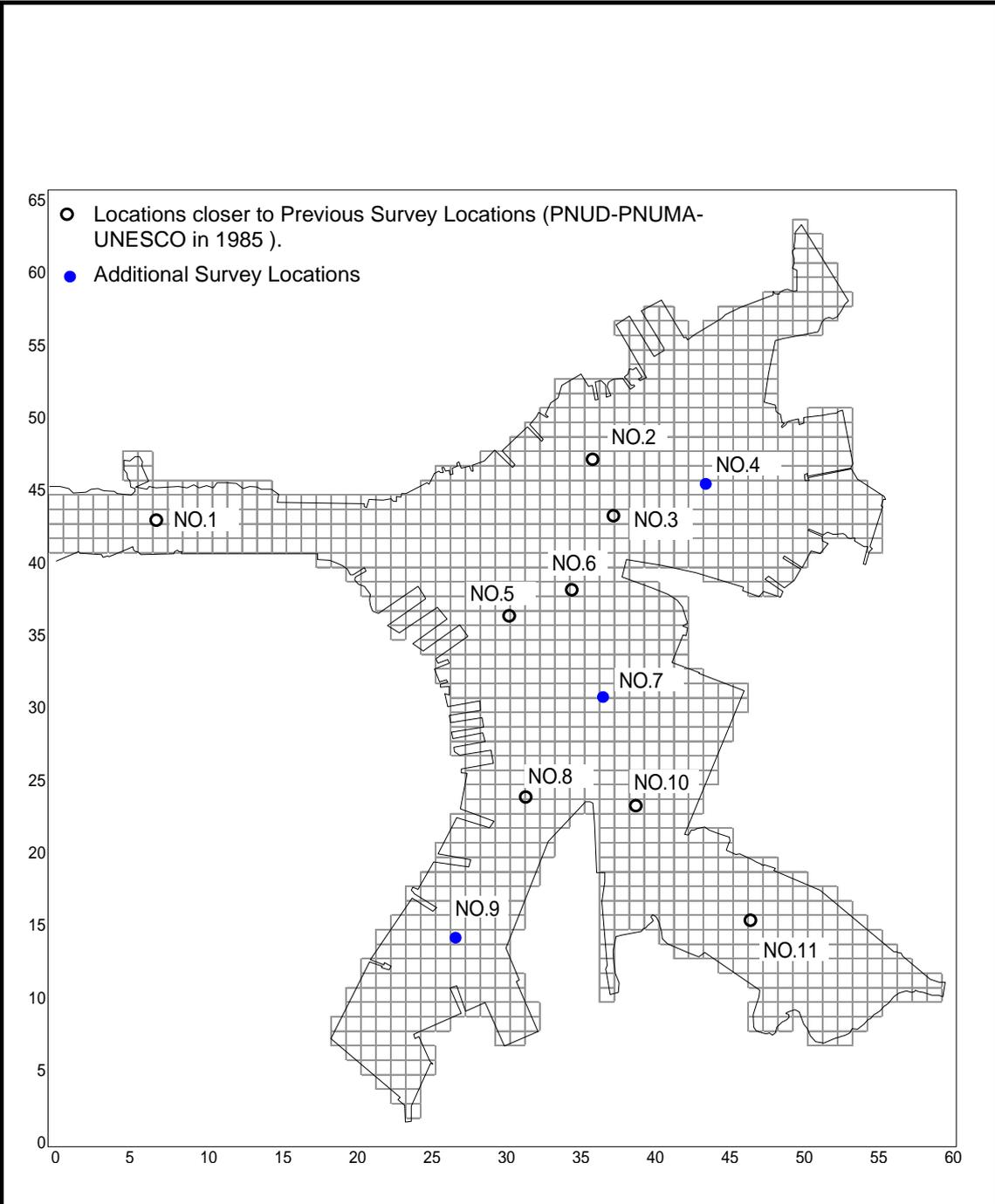


4.4 ESTUDIO DE LAS CORRIENTES DE CRECIDA

Para confirmar las características de las corrientes de crecida en la Bahía de La Habana, se llevó a cabo un estudio, en dos ocasiones, Octubre 2002 y Diciembre 2002, durante las mareas de crecida y la marea baja, como se especifica en la Tabla 4.18. El trabajo fue subcontratado con el CIMAB.

Tabla 4.18 Especificación de la Investigación sobre las Corrientes de Marea

No.	Objetos	Especificación	Nota
1	Lugares del Estudio	Doce lugares en dirección horizontal (referidas en la Figura 4.25)	
		En tres niveles en dirección vertical como sigue <ul style="list-style-type: none"> ○ Nivel Superficie (0.5m bajo la superficie) ○ Nivel Medio ○ Nivel Fondo (a 1.0 m del fondo) 	
2	Parámetros de Observación	<ul style="list-style-type: none"> ○ Velocidad y dirección de las corrientes (Lugar No.1 al No.11) ○ Temperatura del Agua (Lugar No.1 a No.12) ○ Salinidad (Lugar No.1 a No.12) ○ Densidad (Lugar No.1 a No.11) ○ Transparencia (Lugar No.1 a No.11) ○ Color (Lugar No.1 a No.11) ○ Parámetros meteorológicos incluyendo velocidad y dirección del viento, temperatura del aire, presión atmosférica y humedad relativa (Lugar No.1 a No.11) 	
3	Frecuencia de la observación (intervalo de información)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Observaciones llevadas a cabo cada 2 horas durante 25 horas en los lugares No. 1, No. 3 y No. 5. ○ Para los otros lugares, dos observaciones tomadas en marea baja y creciente (4 hrs. de intervalo en cada observación) ○ 12 horas para los demás lugares 	La frecuencia de las mediciones de transparencia y color es la misma con los otros lugares descritas en la segunda línea de los Nros. 1, 3 y 5.
4	Número de campañas	Dos en octubre 2002 y en diciembre 2002.	

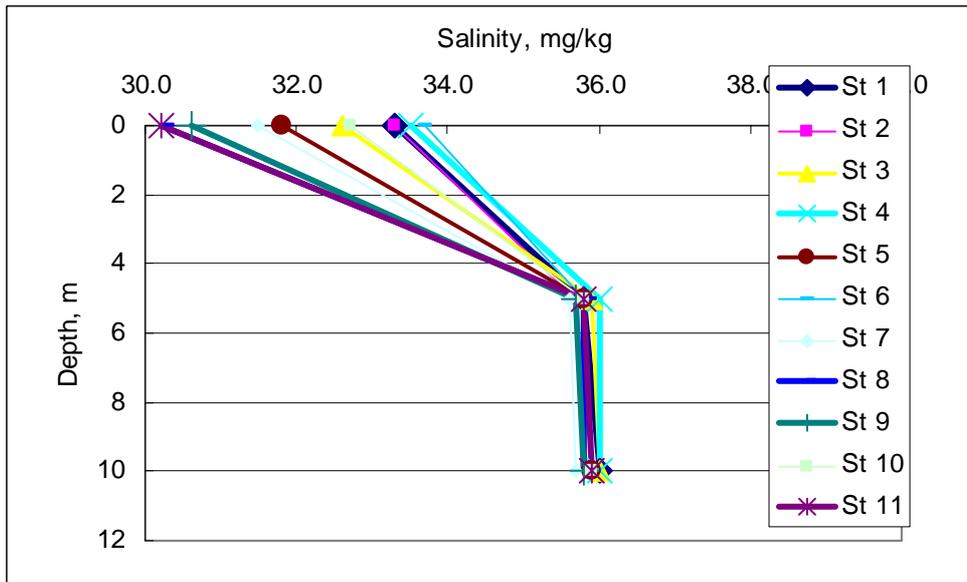
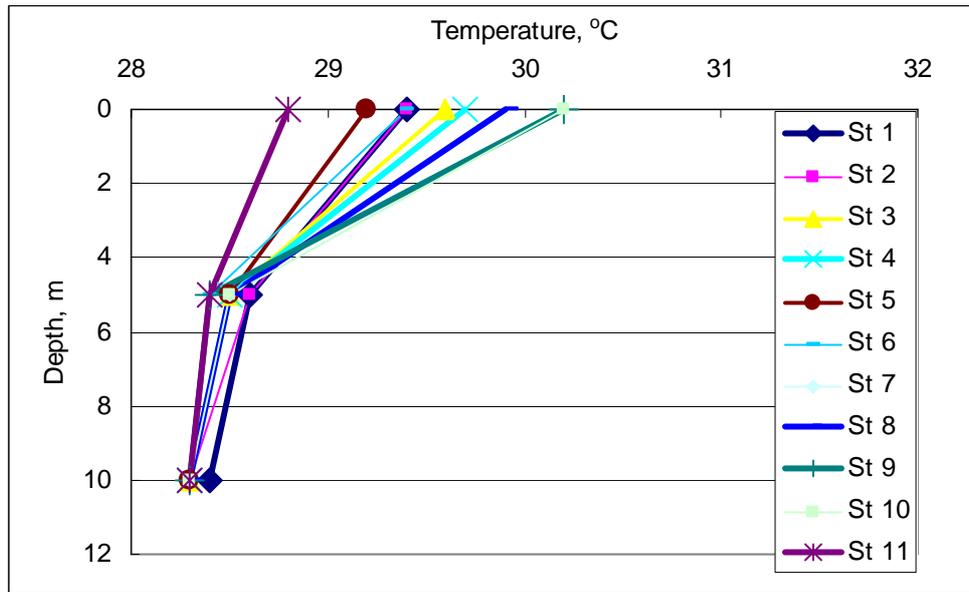


Lugar No. 12 esta aproximadamente a 500 m de la boca de la bahía y es utilizada como lugar de referencia.

ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

Figura 4.25
Mapa de Ubicación de los Estudios sobre las Mareas en este Estudio

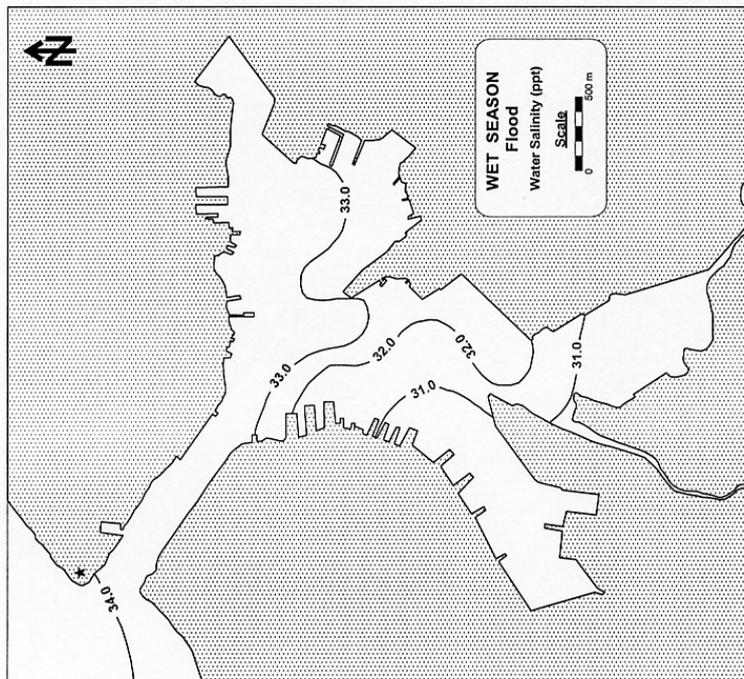
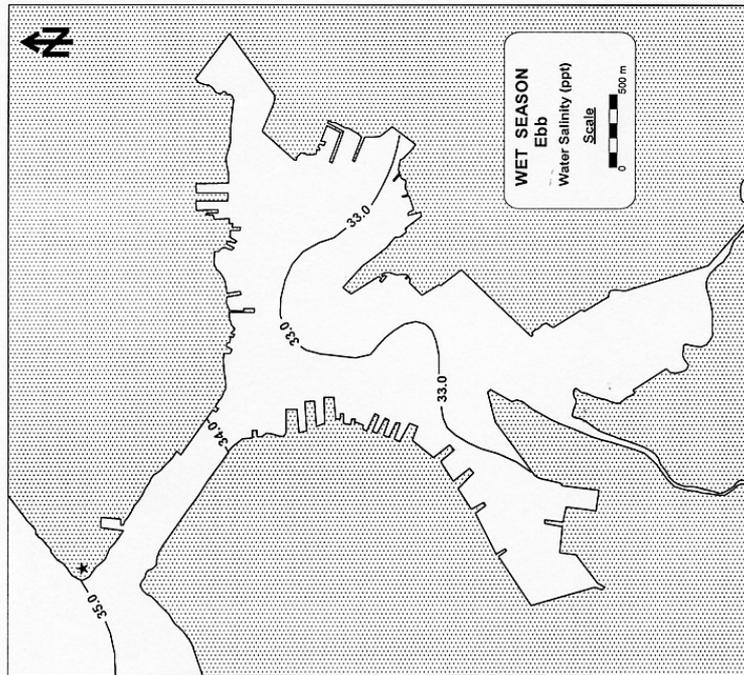


Fecha : 7 october 2002

ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

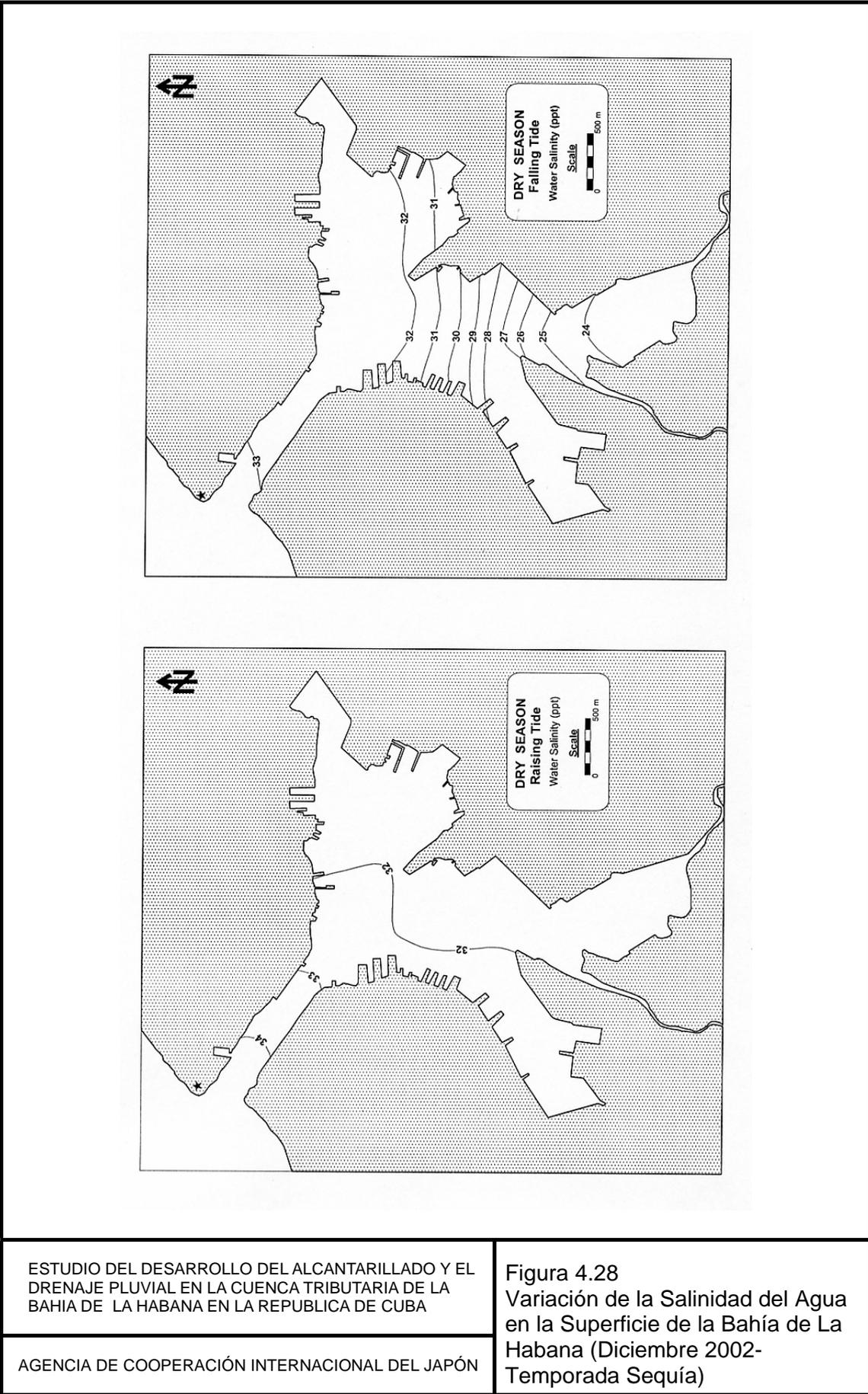
Figura 4.26 Variación Vertical de la Temperatura y Salinidad Durante la Marea de Crecida -Octubre 2002



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

Figura 4.27 Variación de la Salinidad del Agua en la Superficie de la Bahía de La Habana (Octubre 2002-temporada lluvias)



4.4.1 RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LAS MAREAS

(1) Temperatura

La Figura 4.26 muestra la variación de temperatura vertical (y salinidad) durante la marea de crecida en octubre del 2002. Muestra las características típicas de la Bahía de La Habana que no es más que la significativa variación de la temperatura (y salinidad) en la capa superficial en diferentes puntos de la bahía mientras que en las capas media y fondo la temperatura (y salinidad) son uniformes en toda la bahía. La temperatura decrece con la profundidad.

(2) Salinidad

La Tabla 4.19 muestra un resumen de la salinidad medida, calculada en valores medios. La variación vertical es como se resume arriba, en temperatura, como comprobado por el patrón de desviación que es mucho más baja (± 0.1 a ± 0.3) para la capa media y fondo comparado con la capa de superficie (± 0.9 a ± 3.5). Sin embargo, la salinidad aumenta con la profundidad, no siendo así con la temperatura.

Tabla 4.19 Salinidad en la Bahía de La Habana en Octubre y Diciembre del 2002

Objeto	Unidad	Octubre del 2002	Diciembre del 2002
Capa de superficie- crecida			
Salinidad máxima	mg/kg	30.2	31.4
Salinidad máxima	mg/kg	34.8	34.3
Promedio de Salinidad	mg/kg	32.4 \pm 1.5	32.2 \pm 1.0
Capa de Superficie- marea baja			
Salinidad máxima	mg/kg	32.0	23.1
Salinidad máxima	mg/kg	35.2	34.0
Promedio de salinidad - marea baja	mg/kg	33.3 \pm 0.9	30.3 \pm 3.5
Capa media (5 m) – crecida			
Promedio de Salinidad	mg/kg	35.8 \pm 0.1	35.7 \pm 0.2
Capa media (5 m) – marea baja			
Promedio de Salinidad	mg/kg	35.9 \pm 0.1	35.5 \pm 0.3
Capa fondo (10 m) – crecida			
Promedio de Salinidad	mg/kg	35.9 \pm 0.1	35.9 \pm 0.1
Capa media (10 m) – marea baja			
Promedio de Salinidad	mg/kg	36.0 \pm 0.1	35.8 \pm 0.1

Las Figuras 4.27 y 4.28 muestran las variaciones de salinidad de la capa superficial durante la crecida y la marea baja de octubre y diciembre 2002. En la observación de diciembre del 2002, el decrecimiento de la salinidad hacia Guasabacoa fue más marcado debido a las lluvias caídas durante las semanas previas motivadas por los frentes fríos.

(3) Corrientes

Las Figuras 4.29 a 4.32 muestran la dirección y magnitud de la corriente observada durante la crecida y la marea baja en octubre y diciembre del 2002

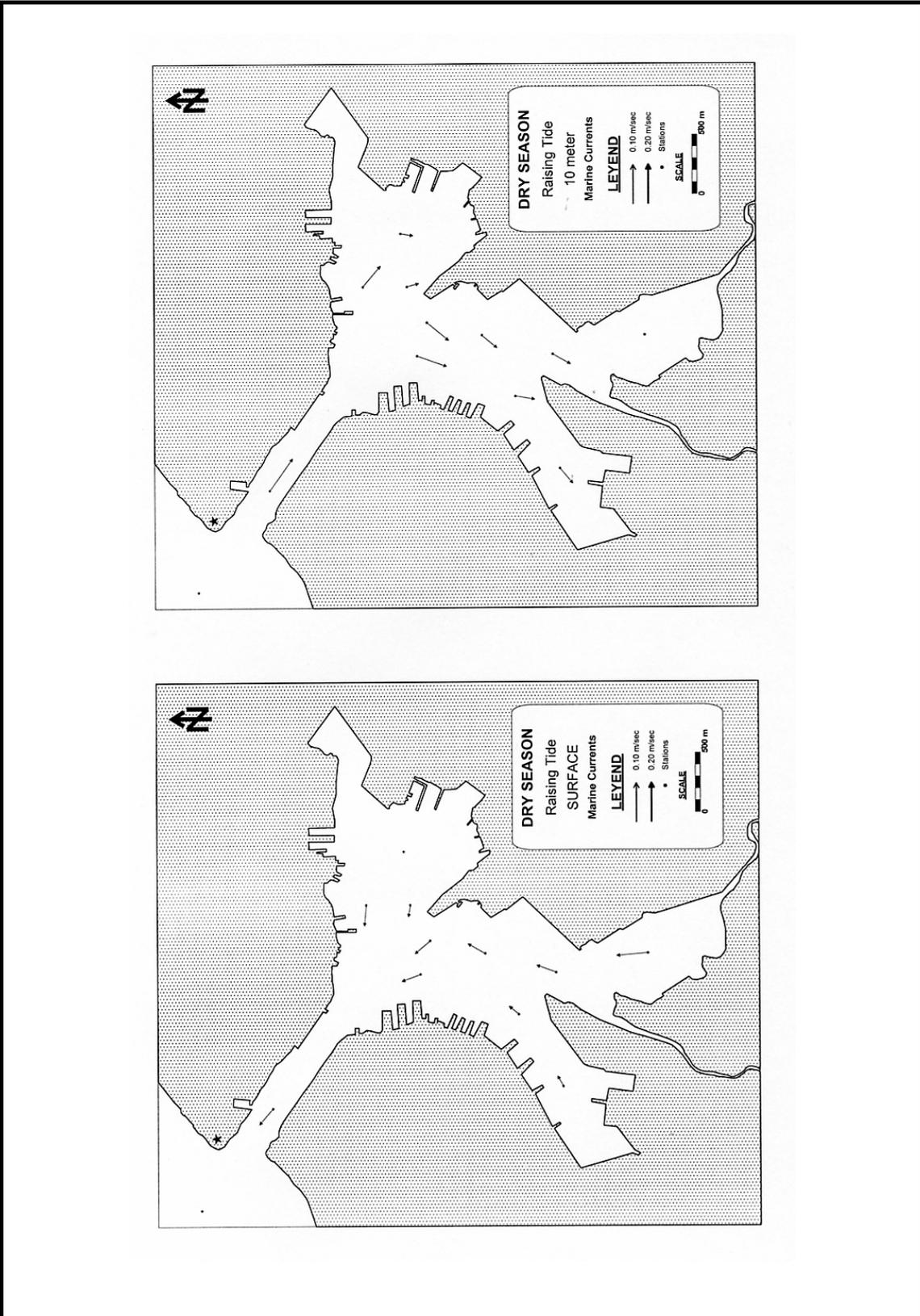
La Tabla 4.20 muestra un resumen de los resultados de la velocidad del viento.

Tabla 4.20 Velocidad de la Marea en Octubre y Diciembre del 2002

Objeto	Unidad	Octubre, 2002	Diciembre, 2002
Marea de Crecida			
Promedio Velocidad corrientes de superficie	cm/s	8.6±6.5	4.5±2.0
Promedio Velocidad a 5m de profundidad	cm/s	7.2±6.6	8.4±4.8
Promedio a 10 m de profundidad	cm/s	5.0±5.0	5.3±2.7
Marea baja			
Promedio Velocidad corrientes de superficie	cm/s	5.2±3.4	8.7±3.7
Promedio Velocidad a 5m de profundidad	cm/s	4.5±2.4	6.2±2.3
Promedio Velocidad a 10 m de profundidad	cm/s	2.5±1.8	4.8±3.3
Estudio de 24 horas			
Estación 1			
Promedio Velocidad corrientes de superficie	cm/s	11.5±5.2	15.9±7.8
Promedio Velocidad a 5m de profundidad	cm/s	11.0±7.3	16.3±5.6
Promedio Velocidad a 10 m de profundidad	cm/s	11.2±6.6	17.1±7.0
Estación 3			
Promedio Velocidad corrientes de superficie	cm/s	6.7±2.3	5.2±2.2
Promedio Velocidad a 5m de profundidad	cm/s	4.1±1.3	6.5±5.9
Promedio Velocidad a 10 m de profundidad	cm/s	4.5±1.7	3.6±4.3
Estación 5			
Promedio Velocidad corrientes de superficie	cm/s	8.2±4.9	5.6±2.0
Promedio Velocidad a 5m de profundidad	cm/s	7.9±5.1	5.8±5.2
Promedio Velocidad a 5m de profundidad	cm/s	7.7±5.0	3.9±4.3

En general, la circulación del agua de la bahía mostró una circulación neta hacía el mar abierto en la capa superficial y una circulación neta hacía la bahía, en la capa del fondo, establecido por vez primera durante el estudio realizado por el PNUD en 1982/83. Además en ese estudio la bahía fue caracterizada por tener un comportamiento de mezcla parcial y mezcla estuaria (clasificación de estuaria basado en Hansen and Rattray, 1966) debido a las lluvias extremadamente abundantes durante el año de observación. En ese estudio se determinó que el comportamiento de la bahía era como la de un pozo estuario mezclado (tipo 2^a) tanto en octubre como en diciembre del 2002.

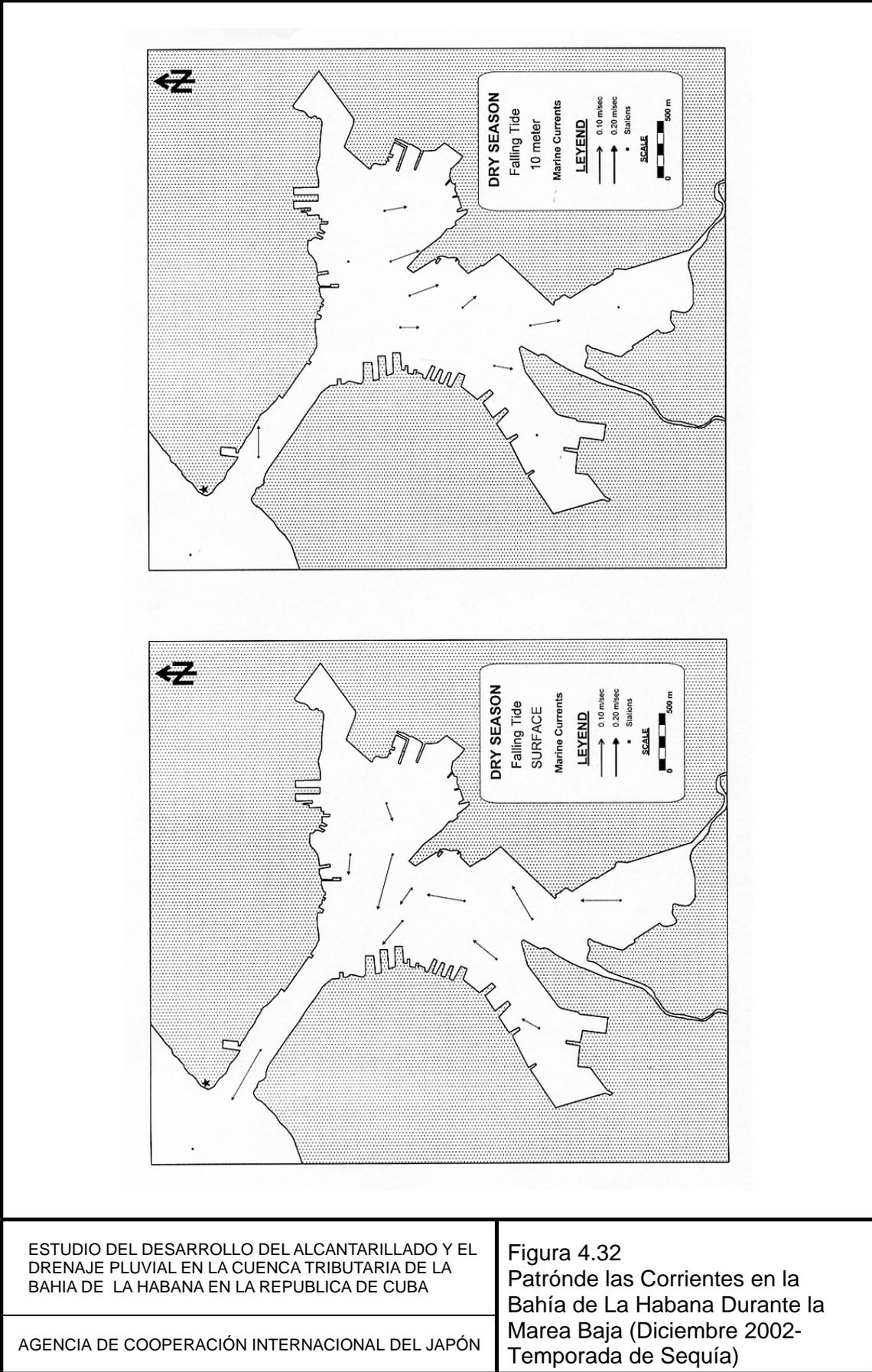
Los resultados de lo anterior son utilizados en la simulación hidrodinamica.



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

Figura 4.31 Patrón de las Corrientes en la Bahía de La Habana Durante la Marea de Crecida (Diciembre 2002-Temporada de Sequía)

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN



APÉNDICE

Las ecuaciones fundamentales aplicadas en el Modelo Hidrodinámico son las siguientes:

- Ecuación de la conservación de la masa

$$\frac{1}{\rho c_s^2} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = S_{ss}$$

- Ecuación de la Conservación del Momentum en tres dimensiones

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} + 2\Omega_{ij} u_j = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu_t \left\{ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right\} - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \right) + u_i S_{ss}$$

- Ecuación de conservación para la salinidad

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial (S u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D_s \frac{\partial S}{\partial x_j} \right) + S_{ss}$$

- Ecuación de conservación para la temperatura

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial (T u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + S_{ss}$$

Donde

u_i : Velocidad en direcciones X_i

ρ : Densidad local del fluido

Ω_{ij} : Tensor Coriolis

P : Presión del fluido

g_i : Vector Gravitacional

ν_t : Viscosidad turbulenta eddy

δ : Delta de Kronecker

k : Energía Turbulenta kinetica

t : Tiempo

T : Temperatura del agua

S : Salinidad

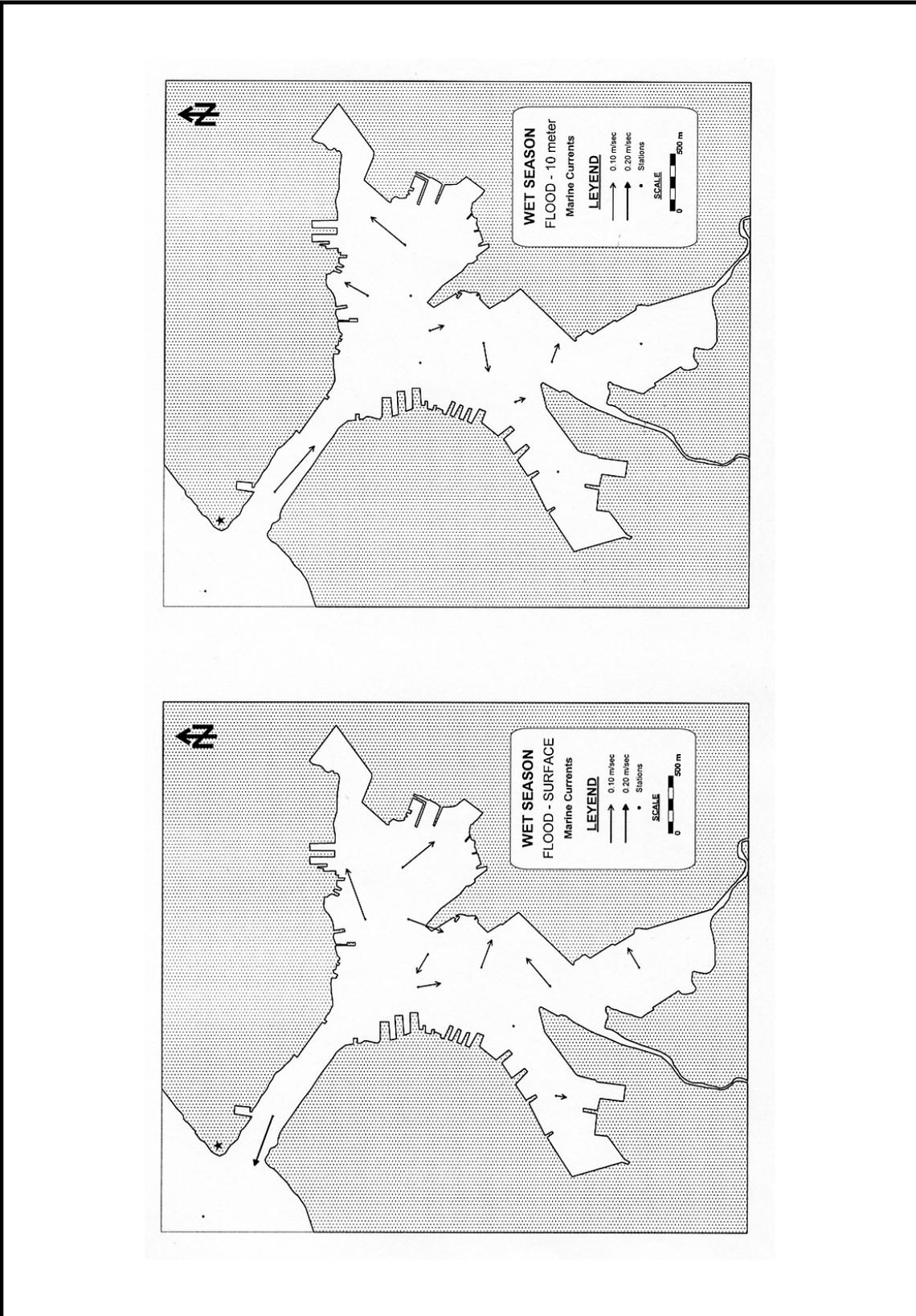
D_T : Coeficientes de dispersión de la temperatura del agua

D_s : Coeficientes de dispersión de la salinidad

S_{ss} : Fuente-término de hundimiento

REFERENCIAS

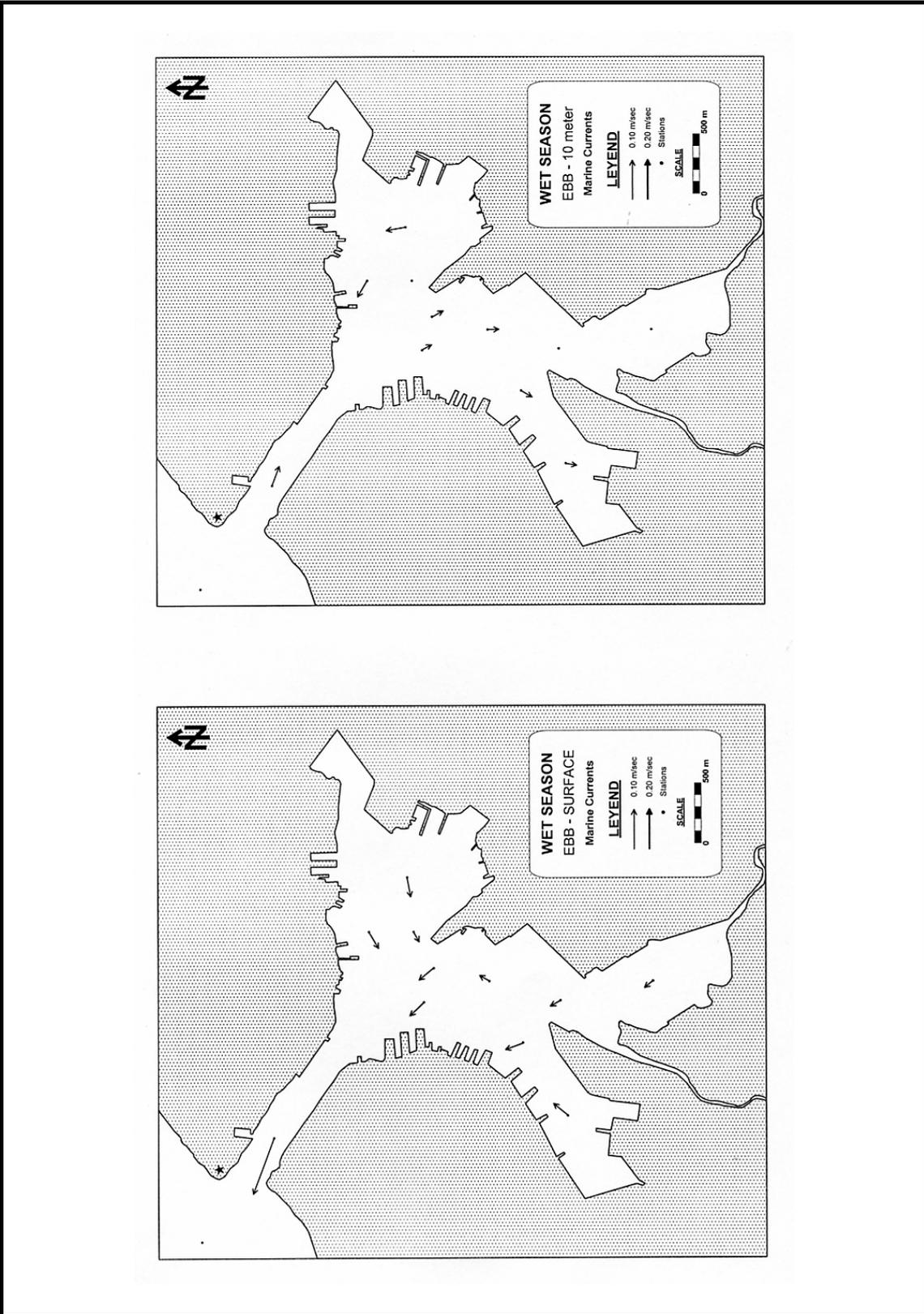
1. Estudio de la Laguna De oxidación de la Escuela Vocacional, V. I. Lenin, 1978, Voluntad Hidráulica
2. Pérez de Agreda, Celia, Tesis de Doctorado, 2000
3. Sea Chart of La Habana Port (Puerto de La Habana), Instituto Cubano de Hidrografía (1989)
4. Tablas de Marea, Servicio Hidrográfico Y Geodésico de la República de Cuba, p.53-56 (2002)
5. Control y evolución de la calidad ambiental de la Bahía de La Habana y el litoral adyacente, CIMAB (2002)
6. Investigación y Control de la Contaminación Marina en la Bahía de la Habana, Volumen II-Resultados, Tomo I, PNUD-PNUMA-UNESCO (1985).



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

Figura 4.29 Patrón de Corrientes en la Bahía de La Habana Durante la Marea de Crecida (Octubre 2002-Temporada Lluvias)



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

Figura 4.30 Patrón de las Corrientes en la Bahía de la Habana Durante la Marea Baja (Octubre 2002- Temporada de Lluvias)