

Capítulo 2

Estudio del peligro, la vulnerabilidad y el
riesgo de penetraciones del mar en las
zonas costeras de Cuba

CAPITULO 2

ESTUDIO DEL PELIGRO, LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO DE PENETRACIONES DEL MAR EN LAS ZONAS COSTERAS DE CUBA

2.1 Elaboración del Mapa de Peligro por surgencias de ciclones tropicales

2.1.1 Introducción

Cuba por su posición geográfica se haya en ocasiones sometida a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos severos, tales como: los ciclones tropicales (CT), frentes fríos fuertes e intensas bajas extratropicales. Estos sistemas meteorológicos producen en nuestro país con cierta frecuencia inundaciones costeras, las cuales han sido reportadas por diferentes autores, entre ellos se tiene que Moreno y Salas, (1976) han señalado la ocurrencia de algunas inundaciones costeras devastadoras debido al fenómeno conocido como *surgencia*, el cual va asociado a los CT, pudiendo amplificarse su efecto por causas específicas de la plataforma insular o región costera por donde el CT penetra en tierra (Pérez Parrado et al, 1995).

Cabe recordar que se define la *surgencia* como la elevación anormal y temporal del nivel del mar, sobre la marea astronómica pronosticada, causada por la tensión provocada por los fuertes vientos y (en menor grado) por la caída de la presión atmosférica, debido al paso de un CT.

En la altura que alcanza la *surgencia* y en la extensión de las inundaciones tierra adentro, desempeñan un papel fundamental: el tamaño, velocidad de traslación, tiempo sobre la plataforma, ángulo de incidencia entre el CT y la costa, viento máximo, radio y presión mínima central del CT, además la batimetría, la topografía, el tipo de suelo, la elevación y configuración de la costa, construcciones y edificaciones en el litoral, estado del drenaje, vegetación existente, etc.

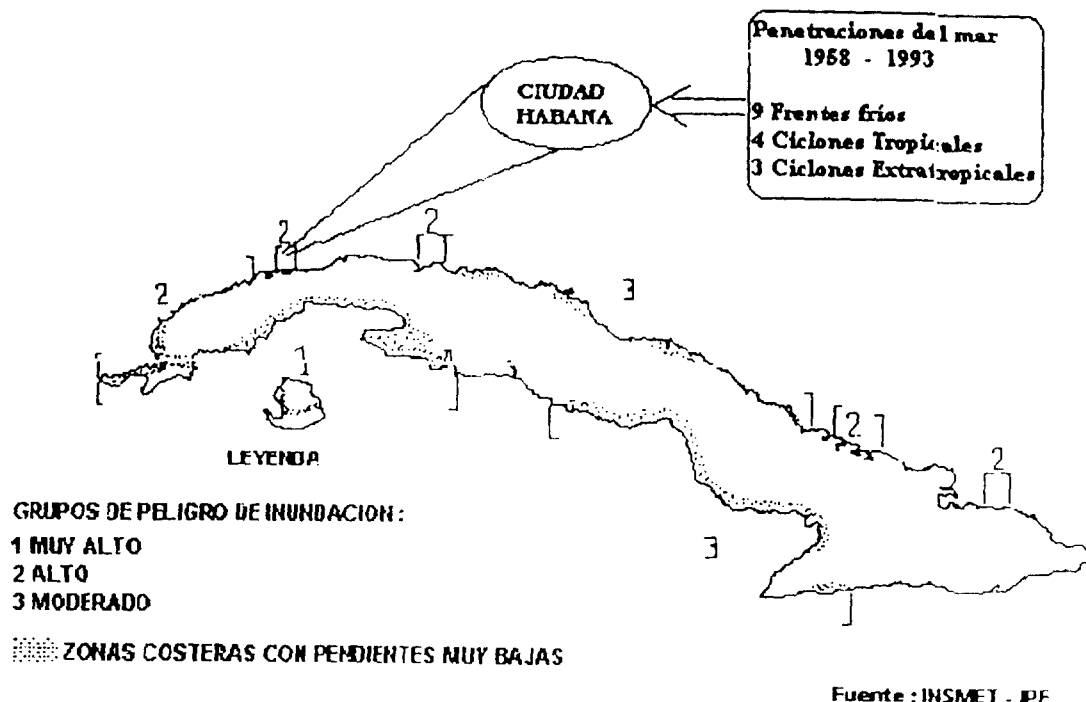
El término *surgencia* está íntimamente relacionado con el término *Marea de Tormenta*, y como se estableció anteriormente la relación puede representarse de la siguiente forma:

$$\text{Marea de Tormenta} = \text{Surgencia} + \text{Marea Astronómica}$$

Surgencias devastadoras han ocurrido en Cuba en varias oportunidades, sobresaliendo las asociadas con el huracán de Santa Cruz del Sur (noviembre de 1932) y la ocurrida en el Golfo de Batabanó en octubre de 1944, donde el agua penetró 12 km tierra adentro por el asentamiento costero de Guanimar (Moreno y Salas, 1976).

2.1.2 Método de cálculo y bases de datos

Para realizar este estudio se tomó como base el Mapa de Peligro de Inundaciones Costeras a partir de eventos meteorológicos severos y la pendiente costera (Lezcano y Pérez Hernández, 1992) (Figura 2.1.1), dicho mapa fue confeccionado en forma preliminar a este estudio debido a la necesidad de ejecutar un proceso metodológico, del cual emanarían las instrucciones necesarias para ejecutar el Mapa de Riesgo por Inundaciones Costeras en el Sistema de la Planificación Física a los niveles municipales y provinciales.



$$\text{Peligro} = \text{Factores Físicos - Geográficos} + \text{Factores Meteorológicos}$$

Figura 2.1.1 Mapa de peligro de inundaciones costeras a partir de la incidencia de eventos meteorológicos y de la pendiente costera

El Sistema de Información Estadístico (García y Beauballet, 1992) del Instituto de Meteorología, fue utilizado para extraer la base de datos sobre los CT necesaria para efectuar los cálculos de la sobreelevación del nivel del mar debido a la Surgencia provocada por estos organismos.

La Surgencia en aguas profundas responde principalmente al efecto de barómetro invertido (ascenso del nivel del mar por la caída de la presión; aproximadamente un centímetro por cada hPa de descenso de la presión atmosférica) y es de relativa poca importancia en estas aguas profundas, pero al avanzar el CT sobre regiones donde la profundidad de las aguas es menor a 200 m los efectos dinámicos amplifican la misma pudiendo ocasionar grandes daños cuando llega al litoral y penetra tierra adentro.

Los modelos matemáticos confeccionados por Pérez Parrado y García (1994) y García y Pérez Parrado (1996) fueron utilizados para calcular la altura de la Surgencia y su perfil sobre la línea de la costa, los resultados de estos cálculos y las cotas de inundación aparecen recogidos en (Pérez Parrado et. al., 1995).

2.1.3 Análisis físico - geográfico

La evaluación del peligro o amenaza comprende el análisis de los registros históricos formales e informales y la interpretación calificada de los mapas existentes tales como: topográficos, hidrológicos, geomorfológicos, etc.

Se efectuó un estudio físico - geográfico de la zona costera de Cuba y la Isla de la Juventud, a partir del cual se tomaron 26 sectores costeros (Figura 1.1.16) cada uno de los cuales contiene características similares y a la vez responden a las necesidades del trabajo que posteriormente se realizaría, el *Mapa de Riesgo por Inundaciones Costeras*.

Después de efectuar un riguroso análisis de la pendiente costera y de los intereses económicos involucrados a lo largo del litoral se determinaron las siguientes cotas de trabajo :

Cotas de trabajo (m)

0,5
1,0
2,0
2,5
3,0
4,0
5,0

Se define como *peligro* la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dañino en un determinado tiempo y espacio (UNDRO, 1991). En el caso que se estudia el *peligro* viene dado por una combinación de los *factores físico - geográficos y meteorológicos* (UNDRO, 1991); específicamente los factores físicos - geográficos son la morfología de la costa (tipo de costa y pendiente costera) y la batimetría de la plataforma insular, por lo que el *peligro* se podría representar por la siguiente expresión :

$$PELIGRO = SURGENCIA + [MORFOLOGIA DE LA COSTA + BATIMETRIA]$$

En este estudio el factor meteorológico es la surgencia mientras que los factores físicos-geográficos son la morfología de la costa y la batimetría

Para evaluar la componente del *peligro* dada por la *surgencia* se utilizaron los resultados obtenidos por Pérez Parrado et. al. (1995). estableciéndose el siguiente criterio:

1- Muy significativa : Donde la altura puede ser ≥ 5 m, mientras que la cota inferior de 0,5 m mantiene períodos de retorno bajos, entre 5-8 años.

2- Significativa : La altura puede ser ≥ 4 m < 5 m, mientras que en la cota de 0,5 m los períodos de retorno están entre 8-10 años.

3- Medianamente significativa: La altura puede ser ≥ 3 m < 4 m, manteniendo períodos de retorno no mayores de 19 años en la cota de 0,5 m.

4- Poco significativa: La altura puede ser $\geq 0,5 \text{ m} < 3 \text{ m}$, con períodos de retorno iguales o menores a los 25 años en la cota de 0,5 m.

Al analizar la morfología de las costas de Cuba mediante el Nuevo Atlas Nacional de Cuba, (1989), se asumieron las cinco categorías según los grados de pendiente que se presentan a continuación:

<i>Categorías</i>	<i>Grados</i>
1- MUY BAJA	< 0,5
2- BAJA	0,5-1,0
3- MODERADA	1,0-3,0
4- ALTA	3,0-5,0
5- MUY ALTA	> 5,0

2.1.4 Resultados

Al combinar los factores meteorológicos con los físicos - geográficos para los 26 sectores costeros que se analizan en este estudio se obtuvo la valoración del *peligro*, quedando en la forma siguiente :

SECTOR 1

- La altura de la surgencia es poco significativa.
- Costa alta de terrazas aplanadas, abrasiva y aplanada abrasiva de fallas, la pendiente es baja.
- Plataforma insular estrecha desprovista de cayos, con escarpe en su borde.

VALORACION DEL PELIGRO : MODERADO

SECTOR 2

- La altura de la surgencia es significativa
- Costa baja abrasiva - acumulativa y acumulativa con pequeños tramos abrasivos y acumulativos, la pendiente es muy baja.
- Plataforma con poca profundidad conteniendo a la cayería de San Felipe que cubre parcialmente el sector.

VALORACION DEL PELIGRO: ALTO

SECTORES 3, 4, 5

- La altura de la surgencia es muy significativa, la más alta de los 26 sectores.
- Costa baja acumulativa con pequeños tramos abrasivos - acumulativos y acumulativos biogénicos, la pendiente es muy baja.
- Estos sectores contienen la parte más amplia de la plataforma insular cubana con poca profundidad, en ellos se encuentra el Golfo de Batabanó y la Ensenada de la Broa, la cayería está distante de la costa.

VALORACION DEL PELIGRO: MUY ALTO

SECTOR 6

- La altura de la surgencia es significativa.
- Costa baja acumulativa de manglar, con pendiente muy baja.
- Plataforma amplia que contiene un entrante denominado Golfo de Cazones, escarpe en el borde de la plataforma y contiene la cayería de Diego Pérez muy próxima a la costa, es poco profunda.

VALORACION DEL PELIGRO: ALTO

SECTOR 7

- La altura de la surgencia es medianamente significativa.
- Costa baja acumulativa biogénica de manglar, presencia de un carso desnudo cubierto de un monte seco, la pendiente predominante es muy baja.
- Plataforma estrecha bordeada por un escarpe, el sector se encuentra abierto al mar profundo.

VALORACION DEL PELIGRO: MODERADO

SECTOR 8

- La altura de la surgencia es poco significativa.
- Costa alta dentada, abrasiva y abrasiva - acumulativa en el tramo oeste al este del sector la costa es abrasiva acumulativa y dentada, abrasiva y erosiva tectónica, pendientes altas y muy altas con pequeños tramos con valores bajos.
- Plataforma estrecha, desprovista de cayos y barreras coralinas, escarpe en su borde.

VALORACION DEL PELIGRO: BAJO

SECTOR 9

- Altura de la surgencia medianamente significativa.
- Costa baja acumulativa biogénica de manglar, con tramos de costa deltaica y acumulativa y abrasivas - acumulativas, pendientes muy bajas.
- La Plataforma amplia que contiene parte del Golfo de Ana María, cayos y barreras coralinas lejos de la costa, en sentido general tiene poca profundidad.

VALORACION DEL PELIGRO: ALTO

SECTOR 10

- La altura de la surgencia es medianamente significativa.
- Costa baja acumulativa biogénica de manglar, contiene a parte del Golfo de Ana María siendo en general poco profundo, la pendiente es muy baja.
- Plataforma amplia que contiene la cayería de los Jardines de la Reina y barreras coralinas, tiene poca profundidad.

VALORACION DEL PELIGRO: ALTO

SECTOR 11

- La altura de la surgencia es medianamente significativa.
- La costa es baja acumulativa biogénica de manglar y acumulativa con un tramo acumulativo, la pendiente es muy baja.
- Plataforma amplia que contiene a parte del Golfo de Guacanayabo, con cayos y barreras coralinas, poca profundidad en sentido general.

VALORACION DEL PELIGRO: ALTO

SECTOR 12

- La altura de la surgencia es medianamente significativa.
- Costa predominante abrasiva - acumulativa con tramos deltaicos y acumulativos biogénicos de manglar, la pendiente costera es muy baja.
- Plataforma amplia con cayos y barreras coralinas, poca profundidad en sentido general.

VALORACION DEL PELIGRO: ALTO

SECTOR 13

- Altura de la surgencia poco significativa.
- Costa alta dentada, abrasiva y abrasiva-acumulativa en la zona de Pilón, terrazas aplanadas abrasivas en el extremo oeste, la pendiente costera varia entre las categorías de muy baja a moderada.
- Plataforma estrecha bordeada por un escarpe, carente de cayos y barreras coralinas.

VALORACION DEL PELIGRO: BAJO

SECTOR 14

- La altura de la surgencia es poco significativa.
- La costa es alta dentada, abrasiva y erosiva tectónica con tramos en el extremo oeste de costas abrasivas - acumulativas, la pendiente costera varia entre alta y muy alta.
- La plataforma es estrecha bordeada por un escarpe y no contiene cayos ni barreras coralinas.

VALORACION DEL PELIGRO: BAJO

SECTORES 15, 16, 17

- La altura de la surgencia es poco significativa.
- Costa alta con tipología muy variada, dentada abrasiva y erosiva tectónica con tramos abrasivos acumulativos y erosivos acumulativos, la pendiente costera es muy variada fluctuando entre muy baja y muy alta.
- Plataforma estrecha que contiene barreras de corales.

VALORACION DEL PELIGRO: BAJO

SECTORES 18, 19

- La altura de la surgencia es significativa.
- La costa es abrasiva - acumulativa y acumulativa biogénica, con tramos deltaicos y acumulativos, las pendientes costeras se caracterizan por ser muy bajas.
- Plataforma amplia y poco profunda, contiene cayos y barreras de corales.

VALORACION DEL PELIGRO: ALTO

SECTOR 20

- La altura de la surgencia es poco significativa.
- Costa alta con terrazas aplanadas, abrasivas y abrasivas-acumulativas, tiene tramos acumulativos significativos, la pendiente costera va de muy baja a moderada.
- La plataforma en algunos tramos es estrecha, ampliándose en algunos de ellos, contiene alguno: arrecifes coralinos.

VALORACION DEL PELIGRO: MODERADO

SECTORES 21, 22

- La altura de la surgencia es poco significativa.
- Costa baja acumulativa y acumulativa biogénica, con pendientes muy bajas.
- Plataforma con dimensiones medias, contiene cayos y barreras coralinas, es poco profunda.

VALORACION DEL PELIGRO: MODERADO

SECTOR 23

- La altura de la surgencia es medianamente significativa.
- Costa con una llanura baja acumulativa de laguna, con pendiente costera muy baja.
- Plataforma ancha con poca profundidad, bordeada por parte del archipiélago de los Canarreos, se encuentra en el Golfo de Batabanó.

VALORACION DEL PELIGRO: ALTO

SECTOR 24

- Altura de la surgencia medianamente significativa.
- Costa alta dentada abrasiva y abrasiva - acumulativa, hacia el este contiene una llanura acumulativa con tramos abrasivos, la pendiente costera es muy baja.
- La plataforma hacia el oeste es estrecha y escarpada en su borde, se amplía hacia el este conteniendo algunos arrecifes coralinos próximos a la costa.

VALORACION DEL PELIGRO: MODERADO

SECTOR 25

- Altura de la surgencia muy significativa.
- Costa baja abrasiva y acumulativa de laguna con pendiente costera muy baja.
- La plataforma es ancha y poco profunda y contiene a parte del archipiélago de los Canarreos.

VALORACION DEL PELIGRO : ALTO

SECTOR 26

- La altura de la surgencia es significativa.
- Costa baja acumulativa de laguna y acumulativa biogénica, la pendiente costera es muy baja.
- La plataforma es ancha y poco profunda, contiene a la ensenada de la Siguanea.

VALORACION DEL PELIGRO: MODERADO

Producto de este análisis se obtuvo el *Mapa de Peligro por Surgencias de Ciclones Tropicales* por sectores costeros para Cuba y la Isla de la Juventud (Figura 2.1.3).

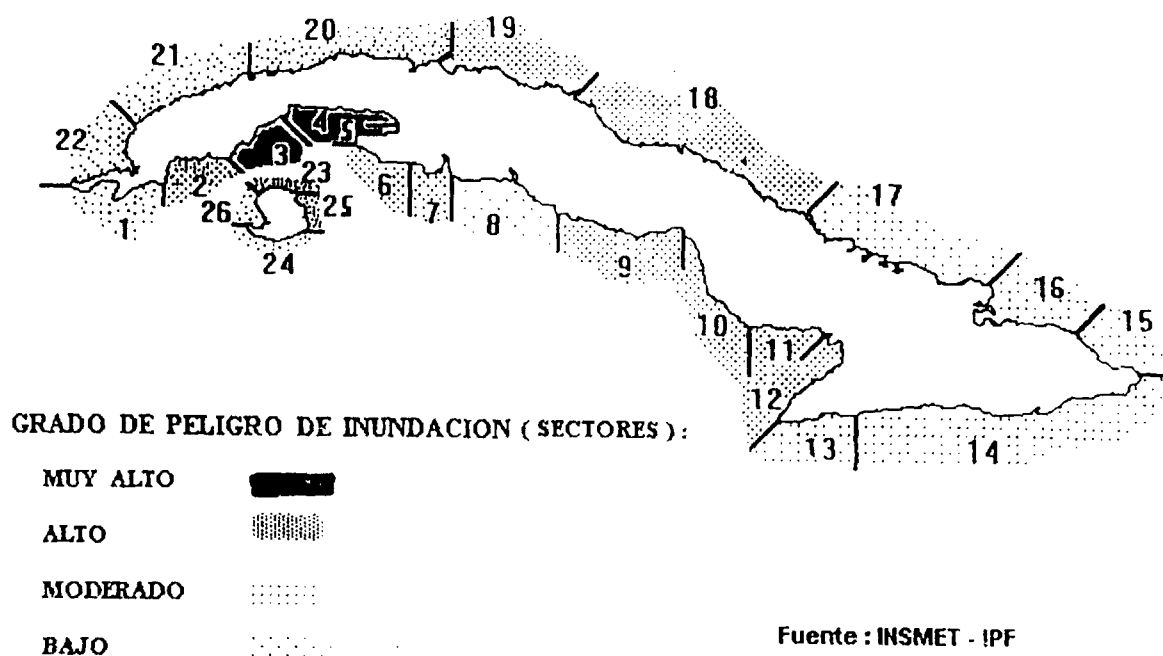


Figura 2.1.3 Mapa de peligro de surgencias de ciclones tropicales por sectores costeros

Como puede apreciarse en la Figura 2.1.3 existen diferentes sectores que presentan una valoración similar del *peligro*, luego para obtener una visión más general del *peligro* y de acuerdo a las necesidades del Instituto de Planificación Física se crearon zonas y subzonas que agrupan aquellos sectores con igual valoración del *peligro*, quedando cuatro zonas y cinco subzonas según el orden de gravedad del fenómeno (Figura 2.1.4):

- **Zona I** : Comprende los sectores con un grado de peligro *MUY ALTO* (Sectores 3, 4, 5)
- **Zona II** : Contiene cinco subzonas (IIa, IIb, IIc, IId, IIe) que agrupan los sectores con un grado de peligro *ALTO* (Sectores 2, 6, 9, 10, 11, 12, 18, 19, 23, 25)
- **Zona III** : Abarca cuatro subzonas (IIIa, IIIb, IIIc, IIId) que contienen los sectores con un grado de peligro *MODERADO* (Sectores 1, 7, 20, 21, 22, 24, 26)
- **Zona IV** : Comprende tres subzonas (IVa, IVb, IVc) que abarcan a los sectores con un grado de peligro *BAJO* (Sectores 8, 13, 14, 15, 16, 17,)

Límites geográficos de las zonas y subzonas :

Zonas y subzonas Límites geográficos

I	Estero de los Caimanes - Punta Gorda
IIa	Cabo Francés - Estero de los Caimanes
IIb	Punta Gorda - Punta Macurijes
IIc	Punta María Aguilar - Cabo Cruz
IId	Punta Hicacos - Punta Piedras
IIe	Punta Buenavista - Punta de Afueras - Punta del Este
IIIa	Cabo San Antonio - Cabo Francés
IIIb	Punta Macurijes - Punta Cazonas
IIIc	Cabo San Antonio - Punta Hicacos
IIId	Punta del Este - Punta Francés - Punta Buenavista
IVa	Punta de Cazonas - Punta María Aguilar
IVb	Cabo Cruz - Punta Maisí
IVc	Punta Maisí - Punta Piedras

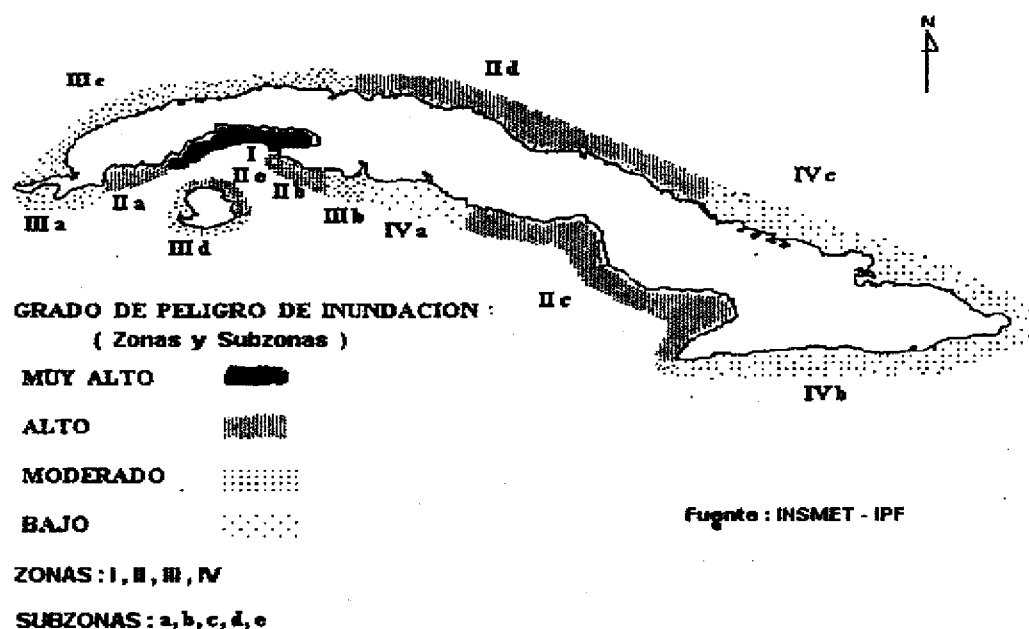


Figura 2.1.4 Mapa de peligro por surgencias de ciclones tropicales por zonas y subzonas .

Para una mayor comprensión se agrupan los sectores con diferentes grados de peligro según zonas y subzonas atendiendo a su concentración y localización en la costa norte o sur (Tabla 2.1.1).

Tabla 2.1.1 Grado de Peligro por surgencia de CT según Sectores Costeros

Grado de peligro	Zona	Sub - zona	Sectores costeros	Número de municipios	Surg. 0,5 m casos/años	Surg. 5 m casos / años
muy alto	I	-	3,4, 5	15	1/5-8	1/85- 156
alto	II	a	2	4	1/10	1/148
		b	6	1	1/10	1/122
		c	9,10,11, 12	17	1/10-14	1/181-263
		d	18, 19	16	1/7-9	1/181-263
		e	23	1	1/8	1/294
		f	25	1	1/7	1/83
moderado	III	a	1	5	1/22	1/500
		b	7	1	1/19	1/333
		c	20, 21, 22	11	1/9-21	1/294-1000
		d	24	1	1/10	1/416
		e	26	1	1/8	1/156
bajo	IV	a	8	3	1/14	1/454
		b	13, 14	8	1/21-22	1/714
		c	15, 16, 17	13	1/23-24	>1/714