

05181

CIENCIAS MARINAS
I. P. N.
BIBLIOTECA

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

MODELO PARA LA OPTIMACION DEL DISEÑO Y SIMULACION
DE UN CULTIVO DE ALMEJA CATARINA
(Araouecten circularis)

TESIS DE MAESTRIA

ALFREDO HERNANDEZ LLAMAS

LA PAZ, B.C.S.

ABRIL DE 1989

INDICE

LISTA DE TABLAS..... 1

LISTA DE FIGURAS..... 2

R E S U M E N 5

1. INTRODUCCION..... 7

2. OBJETIVO..... 10

3. METODOLOGIA..... 11

 3.1 Diseño del Experimento de Densidades de Cultivo..... 11

 3.2 Modrlo **Bioeconómico**..... 12

 3.2.1 Submodelo de **producción biológica**..... 14

 3.2.2 Relaciones funcionales entre los **parámetros de producción biológica** y la densidad..... 15

 3.2.3 Submodelo **económico**..... 18

 3.3 **Optimación y Simulación**..... 19

 3.3.1 **Optimación**..... 21

 3.3.2 **Simulación**..... 21

4. RESULTADOS Y DISCUSION..... 24

 4.1 Submodelo **biológico** y relaciones funcionales..... 24

 4.2 **Optimación**..... 50

 4.3 **Simulación**.....*..... 60

5. CONCLUSION..... 81

6. BIBLIOGRAFIA..... 83

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Niveles de densidad de cultivo aplicados.
- Tabla 2. Resultados de la prueba de invariancia de los parámetros de la relación peso - longitud.
- Tabla 3. Estimación común de los parámetros de la relación peso - longitud para todas las densidades empleadas.
- Tabla 4. Resultados de la prueba de invariancia de los parámetros del modelo de crecimiento en longitud.
- Tabla 5. Estimación de los parámetros del modelo de crecimiento en longitud.
- Tabla 6. Resultados de la prueba de invariancia de los parámetros del modelo de mortalidad.
- Tabla 7. Estimación de los parámetros del modelo de mortalidad.
- Tabla 8. Estimación de los parámetros de las relaciones funcionales: parámetros biológicos - densidad.
- Tabla 9. Análisis de sensibilidad para variaciones de $\pm 5\%$ en los parámetros a diferentes escalas de producción.
- Tabla 10. Arreglo de los parámetros por rangos de acuerdo al valor absoluto de la sensibilidad a diferentes escalas de producción.
- Tabla 11. Análisis de variancia en un sentido por el método de Kruskal - Wallis para la sensibilidad de los parámetros a diferentes escalas de producción.
- Tabla 12. Coeficientes de correlación de la sensibilidad para diferentes combinaciones de valores de escala de producción.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Estrategia general para el diseño del modelo bioeconomico.
- Figura 2. Diagrama de flujo del modelo bioeconomico para optimacion del diseño y simulación del cultivo.
- Figura 3. Crecimiento en longitud para cada densidad experimental.
- Figura 4. Relación peso - longitud para cada densidad experimental.
- Figura 5. Porcentaje de supervivencia para cada densidad experimental.
- Figura 6. Biomasa total para cada densidad experimental.
- Figura 7. Curva teorica de biomasa total a partir de las curvas ajustada6 de peso y supervivencia para la densidad D1.
- Figura 8. Curva teórica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D2.
- Figura 9. Curva teorica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D3.
- Figura 10. Curva teorica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D4.
- Figura 11. Curva teorica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D5.
- Figura 12. Curva teorica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D6.
- Figura 13. Grafica de la relación funcional entre L_0 y la densidad.
- Figura 14. Grdfica de la relacion funcional entre K y la densidad.
- Figura 15. Gráfica de la relacion funcional entre t_0 y la densidad.
- Figura 16. Grafica de la relación funcional entre N_0 y la densidad.
- Figura 17. Gráfica de la relacion funcional entre Z y la densidad.
- Figura 18. Grafica de la relacion funcional entre C y la densidad y curva6 hipotéticas de los efectos directo e indirecto de la densidad.
- Figura 19. Grafica de la relacion funcional entre L y la densidad.
- Figura 20. Gráfica de la relacion funcional entre F y la densidad.

- Figura 21. **Gráfica** de isocontornos de rendimiento⁶ en biomasa (Kg) para un numero inicial normalizado de mil organismos.
- Figura 22. Superficie de respuesta de rendimientos **en biomasa para** un numero inicial normalizado de mil organismos.
- Figura 23. Relación TIR optima - Escala de produccion.
- Figura 24. Relacion Tiempo **óptimo de cosecha** - Escala de produccion.
- Figura 25. Relacion Densidad optima - Escala de produccion.
- Figura 26. **Gráfica** de isocontornos de la TIR para una escala de 1.0 millón de "semillas".
- Figura 27. Superficie de respuesta de **la** TIR para una escala de 1.0 **millón** de "semillas".
- Figura 28. **Gráfica** de isocontornos de la TIR para una escala de 3.0 millones de "semillas".
- Figura 29. Superficie de respuesta **de** la TIR para una **escala de 3.0** millones de "semillas".
- Figura** 30. Relacione⁶ TIR - **Escala** de produccion para modificaciones de $\pm 5 \%$ en TIL,.
- Figura** 31. Relaciones TIR - Escala de produccion para **modificaciones** de $\pm 5 \%$ en PC.
- Figura 32. Relaciones TIR - Escala de produccion para modificaciones de $\pm 5 \%$ en TIZ.
- Figura 33. Relaciones TIR - Escala de produccion para modificaciones de $\pm 5 \%$ en TIL.
- Figura 34. Relaciones TIR - Escala de produccion para modificaciones de $\pm 5 \%$ en **SPP**.
- Figura **35**. Relaciones TIR - Escala de produccion para **modificaciones** de $\pm 5 \%$ en **CUAC**.
- Figura** 36. Respuesta de la TIR **a** variaciones en los valores de los **parámetros**. Escala de produccion: 1.5 millones.
- Figura 37. Respuesta de la TIR **a** variaciones en 106 valores de los **parámetros**. **Escala** de produccion: 3.0 millones.
- Figura 38. Tiempo optimo de cosecha para variaciones en **los** valores de los **parámetros**. Escala de **producción**: 1.5 millones.
- Figura 39. Tiempo optimo de cosecha para variaciones en los valores de 106 **parámetros**. Escala de produccion: 3.0 millones.

Figura 40. Densidad **óptima** para variaciones en los valores de los **parámetros**. Escala de producción: 1.5 millones.

Figura 41. Densidad **óptima** para variaciones en los valores de **los parámetros**. Escala de **producción**: 3.0 millones.

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de una metodología para la **optimización** bioeconómica del diseño de un cultivo de almeja catarina (*Argopecten circularis*), y **las ventajas** de la **simulación numérica** para la toma de decisiones sobre el mismo. El proceso de **optimización** se centra en el manejo de dos variables de control: tiempo y densidad de cultivo, y la **simulación** se lleva a cabo sobre la base del **análisis** de sensibilidad considerando, en todos los casos, una **relación teórica** entre la tasa interna de **rendimiento (TIR)**, como indicador de rentabilidad, y la escala de **producción (EP)** que sostiene el cultivo.

Los resultados indican que la **dinámica** de la **producción biológica** puede ser compleja cuando se le pretende controlar mediante la densidad de cultivo. En particular, **la densidad, a través** de efectos directo e indirecto (este último asociado al desove de los organismos) produce resultados inesperados en el proceso de mortalidad. Como parte del submodelo **biológico** de **producción** de biomasa, se **desarrolló** un modelo particular de mortalidad que describe los resultados experimentales. La **representación** gráfica de la respuesta de los rendimientos en biomasa total que **se** pueden tener para diferentes tiempos y densidades de cultivo demuestran que, por un lado, el **máximo** de biomasa se obtiene con la densidad **más** baja considerada en el **análisis** aunque, **a** una densidad relativamente alta, también pueden obtenerse rendimientos considerables en los meses finales del cultivo; por otro lado, dicha respuesta es altamente variable y en su **configuración** general, el proceso de mortalidad juega un papel predominante.

En lo que se refiere **a** la **optimización** del diseño del cultivo, se **encontró** que la relación TIR-EP presenta un **proceso de "saturación"** que es consistente con la **composición** de costos utilizada para el **análisis** y que los valores **óptimos** de las **variables de control** frente a la EP muestran dos niveles **aproximadamente** constantes, existiendo una EP crítica intermedia, en la cual se presenta bruscamente el cambio entre ambos **niveles**. Para dos EP fijadas de antemano se encontró una tendencia general a que las **combinaciones de valores de las variables de control** para las que se predicen los mayores valores de la TIR se correspondan **aproximadamente** con las que generaron los mayores rendimientos en biomasa.

Los resultados obtenidos mediante la **simulación** indicaron que la EP **influye** significativamente en la sensibilidad de la TIR **a** modificaciones en los valores de los **parámetros** y que existe una **tendencia general: a** que los más importantes de éstos sean **consistentemente** los mismos, independientemente de la EP. Sobre esta base, **resultó** posible **precisar** que tanto la incertidumbre en el desempeño **económico** del cultivo como las posibilidades de su **mejoramiento**, dependen directamente del nivel de EP **seleccionado**. Mediante el **análisis** de sensibilidad de la TIR **a** cambios mayores en los **parámetros** también fue posible determinar, claramente, la

importancia que tienen 106 procesos biológicos en el desempeño general del cultivo y en 106 reajustes operativo6 que tienen que darse en éste para que se puedan obtener 106 resultado6 óptimos deseados.

Como experiencia de la aplicación de ejercicios del tipo que aquí se presenta, se concluye que el enfoque es de utilidad para la toma de decisiones y para el establecimiento de directrices en la investigación, a la vez que constituye un instrumento para conjugar, eficazmente, 106 conceptos de aprendizaje y trabajo sobre el cultivo.

1. INTRODUCCION

Los estudios de aplicación del análisis de sistemas y de la investigación de operaciones a la acuicultura se encuentran actualmente en una fase de rápida expansión. La creciente abundancia de trabajos en la literatura especializada así lo demuestra y, evidentemente, el interés de este tipo de enfoques en la planificación y desarrollo de acuicultivos se ha derivado del éxito que ha tenido su aplicación en otros campos, como en la ingeniería y la agricultura.

La base de este éxito lo representa, con seguridad, el planteamiento de problemas específicos dentro de un contexto interdisciplinario. La interdisciplina genera una respuesta a los problemas distinta de la que pueden dar por separado cada una de las disciplinas que la constituyen, y para el caso particular de la acuicultura, la teoría bioeconómica resulta un marco adecuado para proponer ese tipo de respuestas (Allen et al., 1984).

La teoría bioeconómica tiene su origen y un desarrollo importante en el campo del manejo de los recursos naturales renovables -los trabajos de Clark (1976) y de Anderson (1977) son ejemplos destacados- y en la acuicultura, se ha utilizado para llenar eficazmente el vacío entre lo que es posible desde el punto de vista biológico y lo que es económicamente viable.

Entre los antecedentes importantes de la aplicación de la teoría bioeconómica a la acuicultura están los trabajos de Allen et al. (Op. cit.) y en nuestro país, el de Negrete (1980). El primero de ellos consiste en una monografía que representa casi una década de trabajo de los autores para sintetizar, dentro de una estructura unificadora de análisis, las diferentes influencias que tienen factores biológicos, de ingeniería y económicos en el desempeño de los acuicultivos. En el segundo de ellos, el autor propone un instrumento para el diseño de proyectos de preinversión en producción biológica empleando los principios de la bioeconomía matemática.

Por otro lado, Botsford et al. (1975) y Rauch et al. (1975) han aplicado la teoría de control óptimo al cultivo intensivo de langosta; Allen y Johnston (1976), presentan un ejemplo de aplicación del análisis de sistemas a ese mismo cultivo; Orth (1980), ha realizado una revisión sobre la utilidad de la aplicación de la ciencia de sistemas y de la investigación de operaciones a la acuicultura; Adams et al. (1980) y Griffin et al. (1981) han desarrollado modelos económicos de bioingeniería de apoyo en el manejo del cultivo de camarón y McNown et al. (1983) utilizan la programación dinámica para optimar el diseño y la operación de sistemas de cultivo en etapas múltiples.

Más recientemente, Hanson et al. (1985) han empleado un modelo de simulación para análisis de factibilidad económica del cultivo de camarón y Hatch et al. (1987) han utilizado la programación del riesgo para el manejo de granjas de este mismo tipo de cultivo.

Todos los trabajos citados anteriormente incluyen, como fundamento de sus análisis, consideraciones económicas.

En este trabajo, se presenta un ejemplo de la manera en que el análisis bioeconómico puede contribuir a resolver el problema que significa la optimización de un cultivo de almeja catarina (Argopecten circularis) mediante el control de las variables 'tiempo de cosecha y densidad de cultivo.

Desde un punto de vista formal, estas dos variables constituyen variables de decisión de un modelo bioeconómico cuyos valores se controlan para maximizar, a una escala de producción (EP) determinada, un indicador económico del cultivo. Para fines de diseño, interesa predecir la rentabilidad óptima del cultivo a diferentes escalas de producción, llevando a un máximo el indicador tasa interna de rendimiento o de "retorno" (TIR), de manera que pueda llegarse a definir una EP mínima rentable para la implantación de un cultivo a nivel precomercial o "piloto" (Negrete 1980, Hernández 1985), o alternativamente, si así se desea, para la definición de una escala de producción comercial.

Complementariamente a lo anterior y con el propósito de identificar aquellos aspectos relevantes del cultivo que pueden merecer atención especial y señalar directrices para investigaciones posteriores, se realiza una simulación mediante un análisis de sensibilidad, el cual permite evaluar los efectos, en el indicador económico, de cambios impuestos en los valores iniciales de los parámetros del modelo.

Las características del modelo antes mencionadas, cumplen con los principales objetivos señalados por Allen et al. (1984) para la aplicación del análisis bioeconómico en la acuicultura, es decir: realizar una proyección de costos, optimar el cultivo y establecer directrices en la investigación.

En todo lo mencionado respecto a este trabajo en párrafos anteriores, debe quedar suficientemente claro que el ejercicio que se pretende llevar a cabo no está encaminado a resolver los problemas del usuario de un cultivo específico de almeja catarina. Lo que se pretende, es proponer un enfoque metodológico que contribuya a la optimización del diseño de acuicultivos. El uso generalizado del enfoque requiere de la consideración de las condiciones particulares de operación de cada acuicultivo así como de realizar las modificaciones pertinentes a la estructura del modelo que se presenta.

Por último, se mencionara que dentro de la literatura consultada, el trabajo que presenta mayor similitud con el que aquí se lleva a cabo es el realizado por Parfy et al. (1983), donde se utiliza un modelo de simulación para evaluar los efectos de densidades y del número de cosechas anuales del cultivo de camarón azul y blanco (P. stylirostris y P. vannamei) en el peso individual, producto total, beneficio bruto, conversión de alimento total, costos de alimentación y de postlarvas y en el

beneficio neto sobre "costos seleccionados".

Las principales diferencias entre ese trabajo y el que aquí se desarrolla consisten en la **realización** de solo una cosecha anual, como **restricción** en este último, así como la **inclusión** de la tasa interna de rendimiento como criterio **económico** para la **optimización** del diseño del cultivo, lo que implica la **ampliación** del horizonte de tiempo para el **análisis** más allá de un año, la **consideración** adicional de costos de inversión y, para la **determinación** de los valores **óptimos** de las variables de control, la **transformación** de los valores de costos y de beneficios mediante una **fórmula** de equivalencia a valor presente (**actualización**). Además, y como ya se ha señalado, aquí se presenta un esquema de diseño optimado para diferentes escalas de **producción** del cultivo **através** de una **función** de rentabilidad - EP, que relaciona los costos de inversión en equipo de **cultivo** y de apoyo con los valores de las variables de control.

2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un modelo para el diseño óptimo de un cultivo de almeja catarina (Argopecten circularis) y para la simulación de diferentes condiciones en su operación, con base en elementos de la teoría bioeconómica y en el análisis de sensibilidad.

3. METODOLOGIA

Este trabajo se ubica en el contexto metodológico general de la bioeconomía matemática, "la que se ocupa de especificar las condiciones óptimas de cosecha para obtener un beneficio óptimo en términos de la tasa interna de rendimiento o de cualquier otro indicador económico" (Negrete, 1983).

Debido a la gran cantidad de parámetros que intervienen en un 'modelo operativo del cultivo, la teoría de la bioeconomía matemática no es capaz de ofrecer soluciones analíticas a problemas como los que aquí se plantean (Negrete, Op. cit.), por lo que la determinación de los valores óptimos de las variables de control, tiempo de cosecha y densidad de cultivo, se lleva a cabo en forma numérica mediante un modelo de simulación.

Las estimaciones de los parámetros identificados para el modelo, se realizaron a través de cotizaciones, consultas con personas relacionadas con operaciones del cultivo y para el caso de los parámetros biológicos, mediante la realización de un experimento de densidades de cultivo.

A continuación, se explica primeramente el diseño del experimento de densidades y en seguida se describen y explican, en forma general, el modelo bioeconómico global y las técnicas de optimización y simulación empleadas.

3.1 Diseño del Experimento de Densidades de Cultivo.

Se llevó a cabo un tratamiento de densidades de cultivo en suspensión de almeja catarina (Argopecten circularis) en la Ensenada de La Paz B.C.S., utilizando seis niveles de densidad en lotes de cinco canastas de plástico tipo "nestier" con flotadores cuadrados de espuma plástica y suspendidos en cuerdas con boyas para soporte.

Para el control de los diferentes niveles de densidad se empleo una técnica de cultivo con aclareo que permitió proporcionar, a diferentes tiempos y para cada nivel, un espacio constante para el crecimiento de los organismos dentro de las canastas. El criterio empleado para el manejo del espacio consistió en mantener, por medio de aclareos mensuales, un determinado porcentaje constante del área total de las canastas como un brea efectiva para ser ocupada por los organismos (la densidad de cultivo).

En la tabla 1 se presentan en forma resumida el tratamiento de densidades aplicado. En lo sucesivo, se denominara a los diferentes niveles de acuerdo a la clave anotada.

Tabla 1.- Niveles de densidades de cultivo aplicados.

CLAVE	DENSIDAD					
	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6
Porcentaje del área total de las canastas utilizado para el cultivo	16.6	33.3	50	66.6	83.3	100
Numero total de organismos *sembrados"	600	1200	1800	2400	3000	3600

Con periodicidad mensual, se hizo la limpieza de las canastas de cultivo y se tomaron muestras de longitud (medida desde la charnela hasta el extremo distal de las valvas), peso de tejidos blandos y numero de sobrevivientes.

Los organismos juveniles para el experimento fueron obtenidos en colectores para "fijación" en el estero de Santo Domingo, B.C.S. y trasladados al sitio donde se llevo a cabo el experimento.

3.2 Modelo Bioeconomico.

La estrategia general para diseñar el modelo bioeconómico se basa en el esquema presentado en la figura 1.

El proceso parte de la definición de una escala de producción para el cultivo, que en este trabajo se establece como el numero inicial de juveniles o "semillas" que inician su cultivo en un ciclo de producción cualquiera.

Seguidamente, para una combinación particular de densidad y tiempo de cosecha, a través de un modelo de producción biológica y del precio comercial del producto se calcula el beneficio bruto posible de obtener. Por otro lado, se consideran dos tipos generales de costos: los variables, que dependen de la EP y los fijos, que no dependen de ella. Ambos tipos se subdividen en costos de inversión y de administración, incluyendose ademas, entre los variables, los costos de mano de obra tanto para colecta y "siembra" de juveniles, como para cultivo y cosecha. Estos últimos y los costos de inversión variables se calculan a partir de modelos biológicos, biotecnológicos y de costos unitarios.

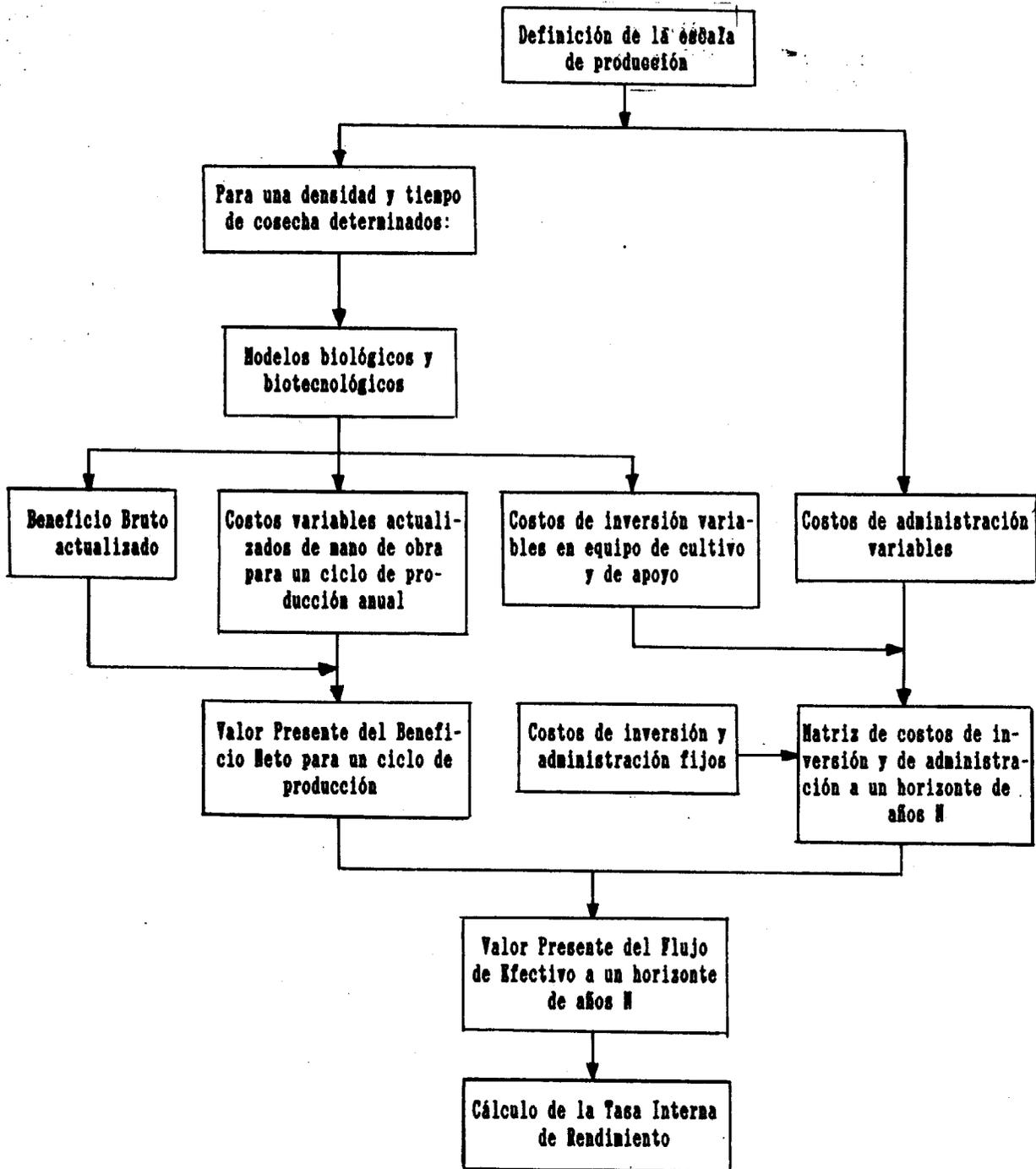


Figura 1. Estrategia general para el diseño del modelo bioeconómico.

El **valar** presente del **beneficia** neto **se calcula** como la diferencia entre los valores actualizados del beneficio bruto y los costos de mano de obra.

Por lo que respecta a los costos fijos, estos se encuentran calculados en base a la definición de un conjunto mínimo de requerimientos de inversión y de gastos de **administración** indispensables de cubrir, independientemente de la capacidad instalada que se tenga en equipo de cultivo y de **apoyo**.

A partir del total de costos y del valor presente del beneficio neto, se calcula el valor presente del flujo de fondos en un horizonte de tiempo determinado y la correspondiente TIR.

A su vez, el modelo bioeconómico se encuentra constituido por: un submodelo de producción biológica; relaciones funcionales entre parámetros de producción biológica y la densidad y; un submodelo **económico**.

3.2.1 Submodelo de producción biológica.

Como lo que interesa desde el punto de vista **bioeconómico** es predecir la biomasa de la cohorte a diferentes tiempos de cosecha, se propuso, para todos y **cada uno de los** niveles de densidad experimentales, el ajuste de sus resultados al siguiente modelo de producción que en este trabajo es una modificación al de Beverton y Holt presentado por Clark (1976) en lo referente a la ecuación de supervivencia:

$$B_t = N_t \cdot P_t \quad (3.1)$$

$$P_t = a \cdot L_t^b \quad (3.2)$$

$$L_t = L_\infty \cdot (1 - e^{-K \cdot (t - t_0)}) \quad (3.3)$$

$$N_t = N_0 - Z \cdot t + C \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot t / L + F) \quad (3.4)$$

Donde las variables al tiempo t son:

B_t = Biomasa total
 P_t = Peso individual **promedio**
 L_t = **Talla individual promedio**, y
 N_t = Numero de sobrevivientes.

Y los parámetros son:

a y b: Coeficientes **alométricos**
 L_∞ = Longitud **asintótica**
K = Constante de crecimiento
 t_0 = Tiempo a la talla cero
 N_0 = Numero inicial de organismos
Z = Tasa de mortalidad

C= Amplitud
L= Periodo, y
F= Fase.

Para cada nivel de densidad experimental, los parámetros del eubmodelo biológico se estimaron por regresión lineal simple y por regresión no lineal basada en el algoritmo de Marquardt (1963). Para ello, se emplearon los programas contenidos en el sistema estadístico STATGRAPHICS (1986).

3.2.2. Relaciones funcionales entre los parametros de producción biológica y la densidad.

Con el propósito de llevar a cabo el proceso de optimación incluyendo niveles de densidad diferentes a los manejados experimentalmente, se propusieron relaciones funcionales que permitieran describir una respuesta de los valores de algunos de los parámetros del modelo de producción biológica a la densidad de cultivo (porcentaje de área utilizable en el artefacto de cultivo).

Previo al establecimiento de estas relaciones funcionales, se considero procedente detectar, desde un punto de vista estadístico, los casos en que dichos parámetros presentaron respuestas funcionales a la densidad de cultivo. Para ello, se empleo la prueba general de invariancia de los parametros propuesta por Ratkowsky (1983), basada en el principio referido como la "suma de cuadrados extra" por Draper y Smith (1981) o como "el error condicional" por Milliken y DeBruin (1978). Fundamentalmente, se trata de encontrar evidencia para rechazar la hipótesis de invariancia de los parametros del submodelo de producción biológica por efecto de las diferentes densidades de cultivo.

Inicialmente, se calcula un error estadístico global acumulando los errores parciales que se tienen con estimaciones de los parametros hechas por separado para cada nivel de densidad, (suposición de variancia). Después dicho error global se calcula, de una sola vez, asociado a un sólo conjunto común de estimaciones de los parametros para todos los niveles (suposición de invariancia). Por ultimo, la evidencia para rechazar la hipótesis de invariancia se busca a partir del incremento que 'presenta el error global al pasar de la primera a la segunda forma de su cálculo antes mencionadas.

La prueba estadística correspondiente consiste, entonces, en el calculo del valor de F de acuerdo a:

$$F = \text{CMCR}/\text{CMR} \quad (3.5)$$

con $(p_j - p_e$ y $n - p_j)$ grados de libertad.

En la expresión anterior:

$$\text{CNCR} = \text{CR}/n-p_j$$

$$\text{CNR} = R_j/p_j - p_e \quad (3.7)$$

donde:

CNCR= Cuadrado medio del cambio en la suma de cuadrados residual

CR= Cambio en la suma de cuadrados residual

CNR y **R_j**: Cuadrado medio residual y suma de cuadrados residuales asociados a las estimaciones individuales:

n= Numero total de datos experimentales

p_j= Número total de parámetros estimados en forma individual, y

p_e= Numero total de parámetros estimados en común.

Para (aquellos parametros en que no se encontró evidencia estadística de que sus valores no podían ser considerados como invariantes, se estimó un solo conjunto de valores comunes para todos los niveles de densidad. Mientras que en los casos en que sí se encontró tal evidencia, se tuvo un fundamento estadístico para afirmar que las variaciones de sus valores dependen de las diferentes condiciones de densidad experimentadas, y de esa forma, pasar a proponer relaciones funcionales específicas entre el parámetro y la densidad.

Para la proposición de dichas relaciones se utilizaron aproximaciones funcionales mediante modelo% polinomiales (Hornbeck, 1975 y Nilliken y Johnson, 1989). Formalmente:

$$P = A_0 + A_1 \cdot d' + A_2 \cdot d'^2 + \dots + A_k \cdot d'^k \quad (3.8)$$

donde:

P= Parámetro L_∞, K, t_∞, N_∞, L ó F

A_i= Coeficientes de ajuste; i=0,...,k

d'= d - d (donde d es la media de los valores de densidad experimentados), y

k= Grado del polinomio.

Para la determinación del 'grado del polinomio

apropiado a cada parametro, se realizaron pruebas estadísticas empleadas en el **análisis** de regresion lineal **múltiple**, ya que la regresion polinomial es un caso particular de aquella (Sokal y Rohlf, 1981). En este caso se calcular

$$F = (R^2_{y_1 \dots k} / k) / ((1 - R^2_{y_1 \dots k}) / (n - k - 1)) \quad (3.9)$$

con (k, n-k-1) grados de libertad y donde:

k = Numero de variables independientes (o grado del polinomio)

R²_{y₁..._k} = Coeficiente de **determinación** asociado a la **regresión** con las variables independientes **y₁** hasta **y_k**

n = Tamaño de la muestra

Posteriormente, se realizo la "prueba de significancia para la **adición** de variables independientes" (Sokal y Rohlf, Op. cit.), que permite calcular la significancia del incremento en la **proporción** de la **variancia** determinada por el modelo de regresion conforme el numero de variables independientes (el grado del polinomio en este caso) cambie de un valor **k1** hasta un valor **k2**.

Para esta prueba y de acuerdo a los **términos** definidos para la **expresión (3.7)**, se calcula:

$$F = (R^2_{y_1 \dots k_2} - R^2_{y_1 \dots k_1}) / (k_2 - k_1) / ((1 - R^2_{y_1 \dots k_2}) / (n - k_2 - 1)) \quad (3.10)$$

con (**k2-k1**, n-k2-1) grados de libertad.

Cuando se **presentó** la **situación** en que con la "prueba de significancia global" no se tuviera un grado mínimo del polinomio satisfactorio (cuarto grado en este caso), se **utilizó**, convencionalmente, un polinomio de interpolación (en sentido estricto). Un polinomio interpolador de este tipo reduce a cero la suma de cuadrados residual y su **ajuste** es considerado una **aplicación** particular del **método** de mínimos cuadrados utilizado **comúnmente** en el **ajuste** de relaciones funcionales (Forsythe et al, 1977).

La **relación** funcional propuesta para el **parámetro C** de la expresion 3.4 significo un caso **excepcional** a lo **descrito** previamente, proponiendose para este parametro el modelo:

$$C = A \cdot e^{-k \cdot ((d-M)/\sigma)^2} + r \quad (3.11)$$

donder

$$r = A_0 + A_1 \cdot d' + A_2 \cdot d'^2 + A_3 \cdot d'^3 \quad (3.12)$$

Esta relación funcional se compone de la ecuación de una distribución normal y de una función polinomial r que sirve para explicar el residual de C resultante de un primer ajuste a la ecuación de la normal. Los parámetros de esta última son:

A = Altura

M = Media, y

S = Desviación normal.

Las regresiones para las estimaciones de los parámetros de las relaciones funcionales y parte de las pruebas estadísticas complementarias, se llevaron a cabo mediante programas contenidos en los sistemas estadísticos STATGRAPHICS (Op. cit.) y MINITAB (1978).

La transformación de los valores de densidad para las estimaciones de todos los coeficientes polinomiales se llevó a cabo a fin de evitar el problema de la posible correlación entre los valores de la densidad elevados a potencias pares y entre los elevados a potencias nones, (Sokal y Rohlf, Op. cit.).

Por todo lo expuesto anteriormente, resulta claro que el valor de la biomasa total (B_t de la expresión 3.1), además de depender del tiempo de cosecha, también es función de la densidad de cultivo, a través de las relaciones funcionales establecidas entre ésta y algunos de los parámetros del modelo de producción propuesto en las expresiones de la 3.1 a la 3.4.

3.2.3 Submodelo económico

Se selecciono como indicador económico de rentabilidad la tasa interna de rendimiento (TIR), la cual se define como: la tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión, Cose (1981). Formalmente, la TIR se define como el valor de la tasa de interés (i) que satisface la ecuación:

$$0 = \sum_{T=0}^N F_T / (1+i)^T \quad (3.13)$$

en la que:

F_T = Flujo de efectivo al año T

T = Tiempo en años

N = Horizonte de análisis.

De acuerdo a Coss (Op. cit.) "es suficiente considerar el intervalo $-1 < i < \infty$ como ámbito de la TIR ya que es muy poco probable que en un proyecto de inversión se pierda mas de la cantidad que se invirtió".

A su vez, para un tiempo de cosecha y densidad de cultivo dados:

$$F_T = BN_T - C_T \quad (3.14)$$

donde al año T:

BN_T = Valor presente del beneficio neto sobre costos de mano de obra, y

C_T = Costos fijos y variables de administración e inversión.

El cálculo de valor presente del BN_T se lleva a cabo mediante:

$$BN_T = BB_{t_c} - CS - CCC_{t_c} - \sum_{t=0}^{t_c} CC_t \quad (3.15)$$

donde los correspondientes valores actualizados a diferentes tiempos son de:

BB_{t_c} = Beneficio bruto al tiempo de cosecha t_c

CS = Costos de semilla al tiempo cero (inicio del cultivo)

CC_t = Costos de cultivo actualizados al tiempo t, y

CCC_{t_c} = Costos de cosecha y preparación del producto al tiempo de cosecha t_c .

Por ultimo, el beneficio bruto (BB_{t_c}) a su vez es resultado de multiplicar la biomasa total que predice el submodelo biológico al tiempo de cosecha t_c por el precio comercial del producto.

3.3 Optimización y Simulación.

En la figura 2 se presenta en forma simplificada el diagrama de flujo del modelo bioeconomico para optimización y simulación el cual consiste en un algoritmo que permite calcular el valor óptimo de la TIR y determinar los de las variables de control correspondientes para un punto de operación cualquiera (definido éste por un conjunto particular de valores de los parámetros) y para una EP fijada de antemano.

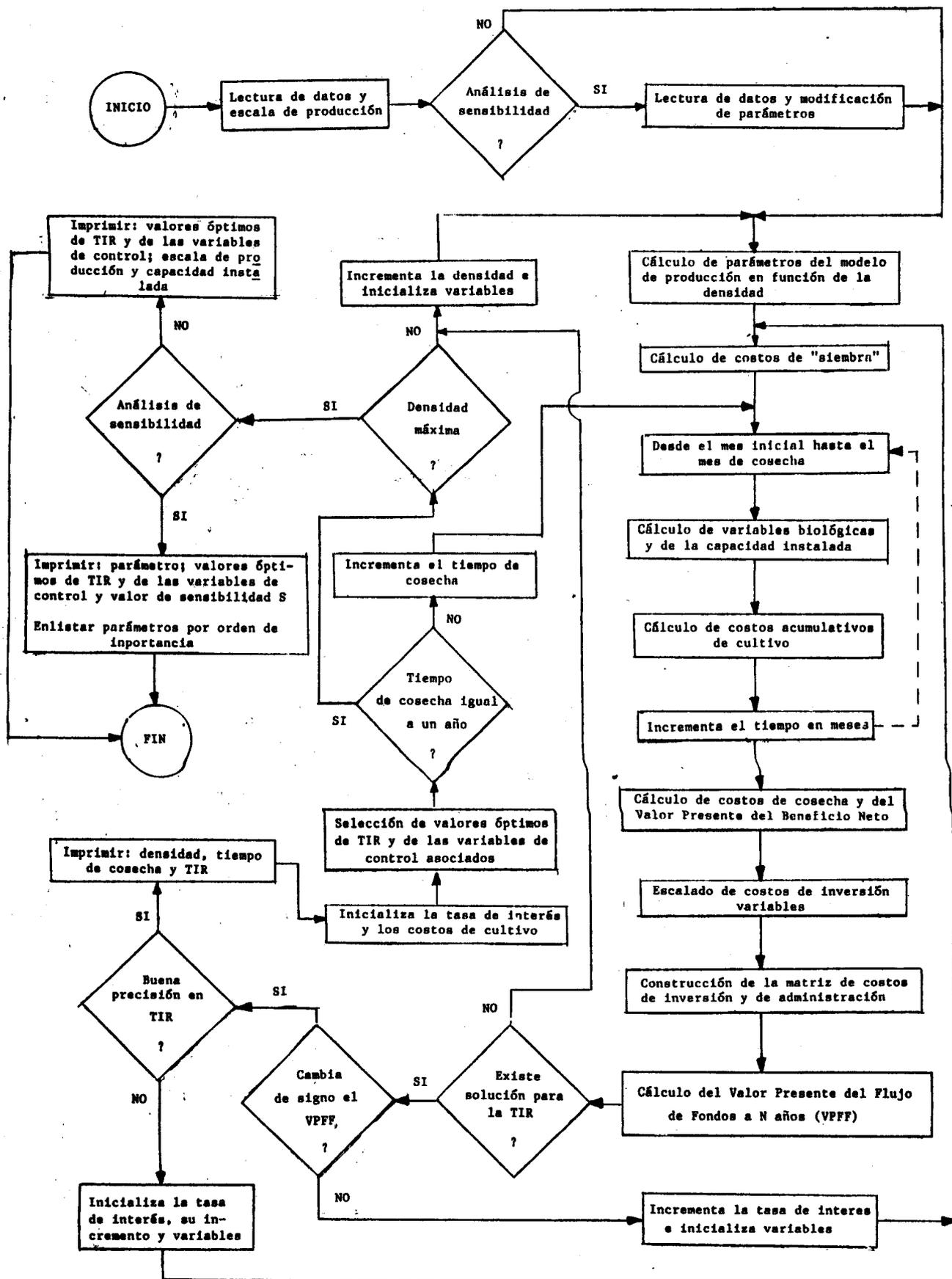


Figura 2. Diagrama de flujo del modelo bioeconómico para optimización del diseño y simulación del cultivo.

3.3.1 Optimización.

La solución al problema de optimización consiste en encontrar numéricamente y para una determinada EP, la combinación de valores de tiempo de cosecha y densidad de cultivo (t^*, d^*) tal que el valor de la tasa de interés $i(t^*, d^*)$ (la TIR) asociada a dicha combinación sea máxima.

Formalmente y a partir de la expresión 3.13:

$$0 = \sum_{T=0}^N F_T(t^*, d^*) / (1+i(t^*, d^*))^T \quad (3.16)$$

Para los análisis general y particular del comportamiento óptimo del cultivo frente a la EP, se archivaron, para su graficación posterior, las combinaciones de los valores de las variables de control y los correspondientes valores de la TIR calculados para cada una de ellas.

3.3.2. Simulación.

Para los fines de este trabajo, se decidió llevar a cabo la simulación mediante un análisis de sensibilidad de la TIR a cambios en los valores de los parámetros del modelo a diferentes niveles de escala de producción.

Las aplicaciones del análisis de sensibilidad son múltiples y su selección para llevar a cabo la simulación obedeció a que, con él, resulta posible:

i) Establecer tolerancia de error en las estimaciones de los parámetros y en general, de la información disponible, sea ésta obtenida directamente mediante experimentaciones o a través de referencias externas;

ii) Facilitar la realización de un análisis de riesgo del cultivo, que por lo general demanda una cantidad de información mayor. La selección de parámetros candidatos al análisis de riesgo apoyada en el análisis de sensibilidad, permite orientar los esfuerzos de diseño del cultivo en el acopio de la información más relevante que conduzca a la proposición adecuada de distribuciones de probabilidad de los valores de los parámetros candidatos y a la inferencia de una para la TIR;

iii) Para el caso de los parámetros poco sensibles e importantes, el suprimir o simplificar las partes del modelo correspondientes, o bien, durante la operación del cultivo, el mantener una mayor flexibilidad en el control de los procesos relacionados con dichos parámetros;

iv) Detectar aquellos aspectos del cultivo que, por la importancia de los **parámetros** asociados a ellos, puede **resultar provechoso** el llevar a cabo acciones tendientes a su mejoramiento, de tal manera que ello se refleje favorablemente en el desempeño **económico**. En los ca606 de mayor trascendencia, puede conducir a la conveniencia de reconsiderar el **diseño** del cultivo en termino6 de esquemas **tecnológicos** alternativos, a la **búsqueda** de mejores **6itios** de operacion o bien, a la decisión de **financiar** y **desarrollar investigaciones** en **ámbitos** de distinta naturaleza;

v) Cuando se le combina con un **método** de **optimación** como el empleado en este trabajo, permite definir una **estrategia** de manejo **optimo** adecuada a **condicione6** de **operación** del cultivo diferentes a las contempladas originalmemnte;

La sensibilidad (**S**) que exhibe la TIR ante el cambio en el valor de un **parámetro** a la vez, se calculo de acuerdo a Negrete (1980).

$$S = \frac{\Delta TIR}{\Delta PAR} \quad (3.171)$$

donde:

ΔTIR = Cambio porcentual del valor de la TIR, y

ΔPAR = Cambio porcentual del valor del **parámetro**.

Bajo este esquema se tiene, entonces, que para un espacio **parametral** definido por la totalidad de 106 **parámetros** del modelo de cultivo, el conjunto de **estimaciones** iniciales de ellos 'define un punto de operacion **básico** para el cultivo, y que las modificaciones en el valor de cada uno ellos simulan puntos de operacion diferentes.

En este trabajo, el arreglo de los **parámetros** por orden de importancia se **estableció** determinando, inicialmente, el valor absoluto mdximo de **S** que se observo ante **cambios** de $\pm 5\%$ en la **estimación** original de cada uno de ellos para, **después**, jerarquizar los **parámetros** de acuerdo al valor decreciente de **S**.

Con el **propósito** de establecer si la sensibilidad de la TSR ante cambios de $\pm 5\%$ en los **parámetros** se encuentra afectada por la escala de **producción**, se **realizó** la prueba no **paramétrica** de Kruskall - Wallis (1953) del **análisis** de variancia en un sentido, considerando diferente6 nivele6 de EP. Para ese **propósito** se utilizo el sistema estadístico **STATGRAPHICS** (1986).

Asímismo, con este mismo paquete, se realizaron

pruebas no paramétricas para el cálculo de índices de correlación de Spearman (1904) a efecto de determinar la posibilidad de que el orden de importancia de los parámetros del modelo tuviera, a su vez, dependencia de la EP. Para ese fin, se compararon en forma pareada los valores de S correspondientes a diferentes combinaciones de niveles de EP.

Por último y en base a los resultados de este análisis, algunos de los parámetros fueron seleccionados como más importantes para explorar, más detalladamente, los comportamientos de la relación TIR - EP considerando las variaciones de $\pm 5\%$ en cada uno de ellos y, dada una cierta escala de producción, el de la TIR ante cambios en los parámetros diferentes a dicho porcentaje.

La elección de estos parámetros se fundamentó en su importancia (en términos de S); su "dureza", es decir, la dificultad de que sus valores se vean modificados en la realidad; o algún otro tipo de razón particular y las modificaciones extremas en sus valores (diferentes al $\pm 5\%$) se realizaron tomando, como referencia común, las del parámetro seleccionado como más importante.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se presentan, interpretan y discuten los resultados del trabajo considerando, inicialmente, aquéllos obtenidos con el experimento de densidad de cultivo, en términos del submodelo biológico propuesto y de las relaciones funcionales establecidas entre algunos de sus parámetros y la densidad. Posteriormente, se contemplarán los aspectos de optimización y simulación los cuales, a la luz de los resultados considerados en la primera parte, pueden ser abordados y explicados con mayor facilidad.

4.1 Submodelo Biológico y Relaciones Funcionales

Los resultados obtenidos con el experimento de densidades de cultivo, que son la base para la estimación de los parámetros del submodelo biológico y para el establecimiento de relaciones funcionales entre algunos de ellos y la densidad, se presentan para: crecimiento en longitud, (figura 3); relación peso - longitud, (figura 4); número de sobrevivientes, (figura 5); y biomasa total, (figura 6). Con fines comparativos, los resultados de biomasa total en esta última figura se normalizaron a un número inicial de "siembra" de 1000 organismos en todas las densidades.

En estas figuras resulta particularmente destacable el comportamiento del número de sobrevivientes a diferentes tiempos en todos los niveles de densidad, lo que condujo a la conveniencia de modificar el modelo de Beverton y Holt mencionado en la metodología en lo relativo a la ecuación para la predicción de la supervivencia.

Este último modelo supone una tasa instantánea de mortalidad constante, sin embargo, en este caso resulta evidente que la mortalidad que se presenta en condiciones de cultivo se encuentra sujeta a factores que periódicamente, tienden a producir que la fracción de la población de organismos que muere en un momento cualquiera no permanezca constante a lo largo del tiempo de cultivo.

Se considera que los principales factores que actuando conjuntamente determinan este comportamiento periódico son un efecto directo y otro indirecto de la propia densidad de cultivo.

La presencia del efecto directo -entendido normalmente como la consecuencia de una mayor competencia por los recursos alimenticios disponibles- se encuentra claramente ejemplificada en el nivel de densidad extrema D_6 , en el que se ocupa el 100 % del área de las canastas (figura 5). En este caso, la densidad es tan alta que la población prácticamente se reduce a 0% a los nueve meses de cultivo.

El efecto indirecto de la densidad sobre el proceso de mortalidad se debe al incremento que se presenta en esta una vez

Figura 3.- Crecimiento en longitud para cada densidad experimental.

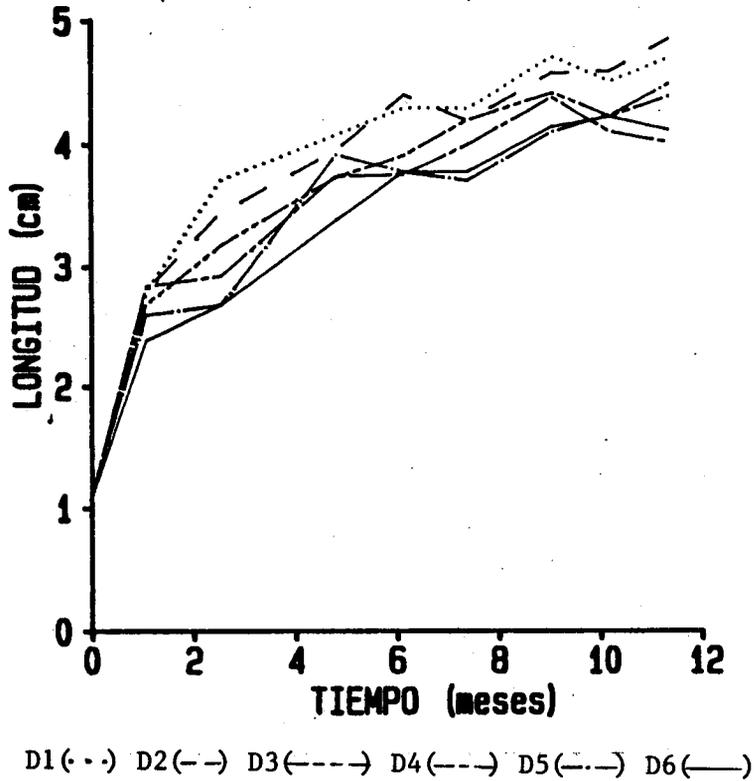


Figura 4.- Relacion longitud-peso para cada densidad experimental.

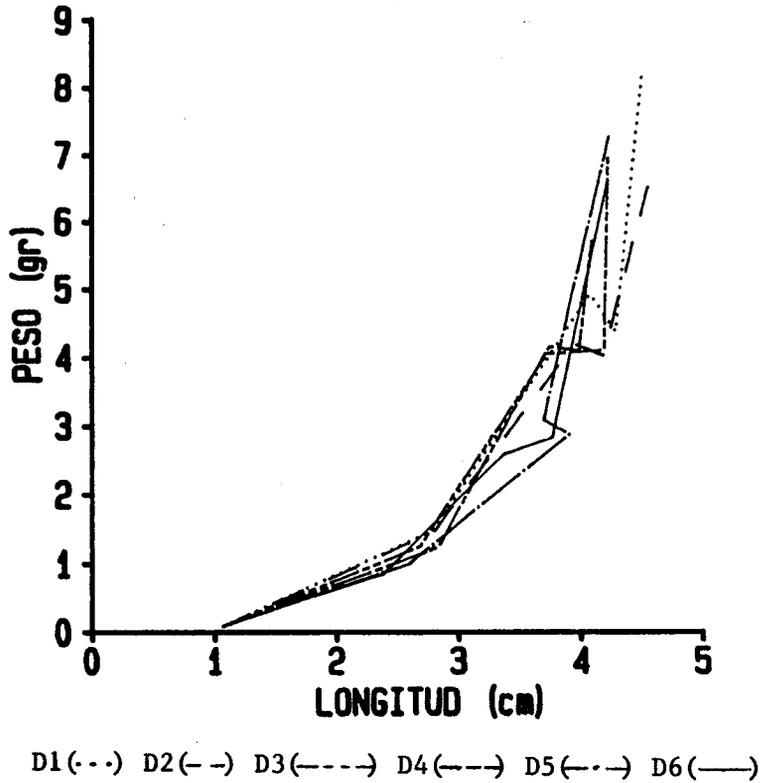


Figura 5.- Porcentaje de supervivencia para cada densidad experimental.

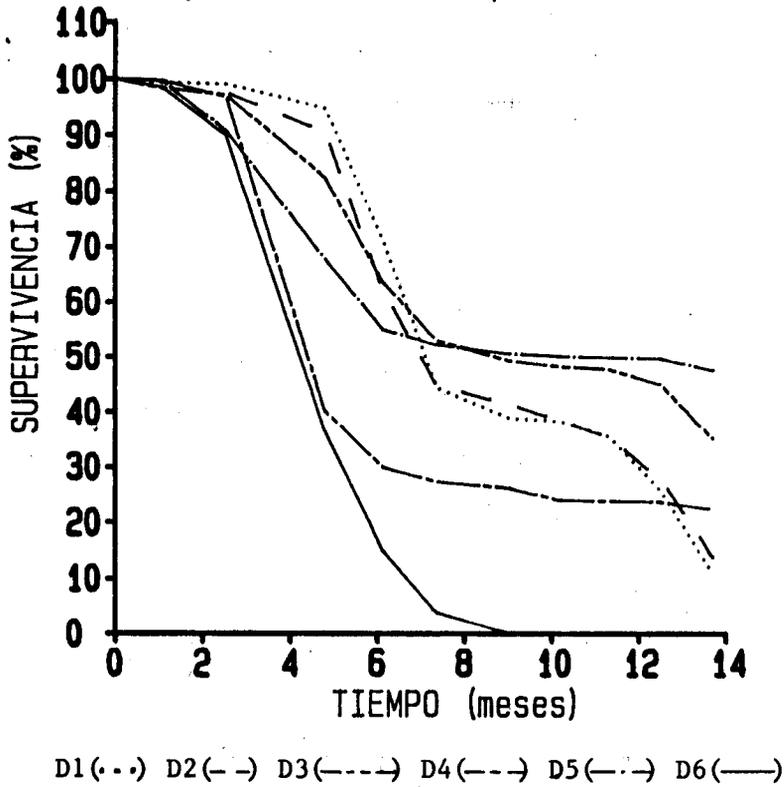
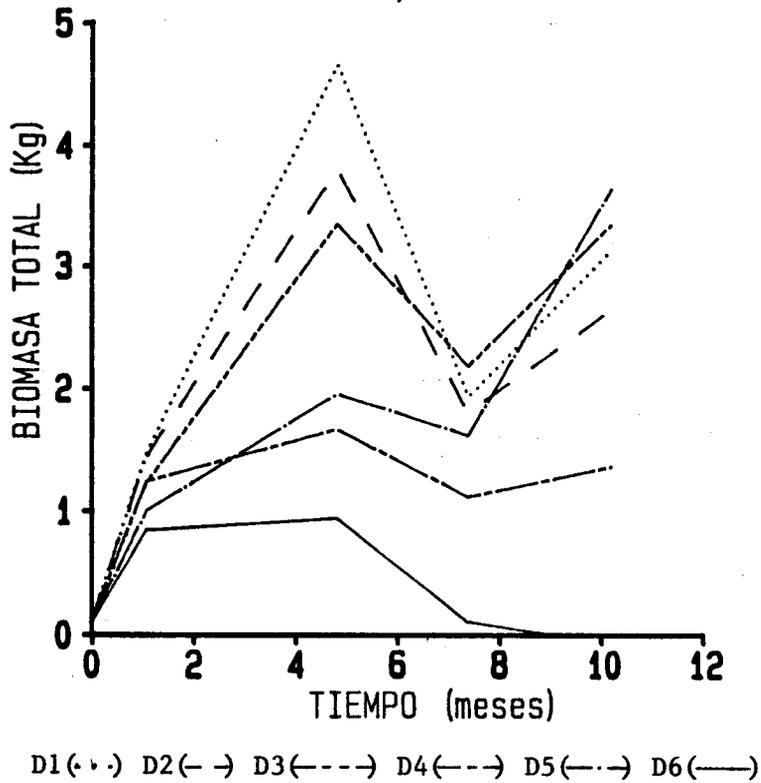


Figura 6.- Biomasa total para cada densidad experimental.



que los organismos han desovado. Dicho efecto indirecto puede ser inferido claramente a partir de las cuatro curvas superiores de la figura 5 (niveles D1, D2, D3, y D5). En ellas, se puede observar que, al inicio del cultivo, existe un retardo en la aparición del efecto directo de la densidad para, posteriormente, empezar a presentar una tendencia \approx que durante los primeros seis o siete meses de cultivo las densidades más bajas presenten porcentajes de supervivencia mayores (lo que era de esperarse originalmente). Después de este primer periodo del ciclo de cultivo, se observa una marcada precipitación en la supervivencia como consecuencia del desove de los organismos. Sin embargo, debido a que las condiciones para el desarrollo de los organismos durante el primer periodo son mejores en la medida en que la densidad es menor, la intensidad del desove y consiguientemente el incremento en la mortalidad es mayor en el caso de los niveles bajos de densidad, produciendo que, después de esos primeros meses, el arreglo en las curvas de supervivencia se vea totalmente invertido, obteniéndose mejores supervivencias en los niveles altos de densidad.

Cuando ocurre un segundo desove, hacia los meses finales del cultivo, se puede apreciar en estas curvas un nuevo incremento en la mortalidad. En este caso, no se modifica el arreglo entre ellas debido a que la intensidad del desove y el incremento en la mortalidad nuevamente son mayores en los niveles bajos de densidad.

Para todas las curvas de mortalidad mencionadas anteriormente es importante destacar que los efectos directo e indirecto de la densidad se encuentran actuando combinadamente, pero uno de ellos prevalece sobre el otro dependiendo del nivel de densidad de cultivo que se emplee.

La hipótesis de un incremento en el sinergismo de ambos efectos permite explicar el comportamiento particular observado en el nivel de densidad intermedio D4. Posteriormente se abundará en la evidencia para apoyar esta hipótesis.

Por otro lado, la afirmación que se ha hecho en el sentido de que la proporción de organismos desovantes es un factor que influye en la mortalidad de manera importante, se encuentra apoyada en lo encontrado por Tripp (1987), y en las propias observaciones hechas en campo durante el desarrollo del trabajo experimental. De acuerdo con esto, se ha observado que en los periodos posteriores al desove de los organismos en cultivo se presenta en ellos un incremento notable en la mortalidad. Ello puede explicarse por la condición fisiológica debilitada en la que quedan los organismos después del desove y de la cual no son capaces de recuperarse plenamente en las condiciones del cultivo.

La interpretación de estos resultados se basa en la detección, durante el desarrollo del experimento, de una mayor abundancia (no cuantificada) de organismos desovados durante los periodos correspondientes al trimestre septiembre - noviembre y al cuatrimestre febrero - mayo (meses quinto al séptimo y décimo al decimotercero de la figura 3, respectivamente), mismos que además,

tienden a corresponderse con las épocas para las que Félix et al. (1980), Tripp (com. pers.), Baqueiro et al. (1981), y Rodríguez et al. (1987) reportan desoves importantes de la especie en condiciones naturales y de cultivo.

Una vez hechas estas consideraciones sobre el comportamiento periódico del proceso de mortalidad, resulta claro que los fuertes incrementos y decrementos observados experimentalmente en la biomasa total para los diferentes niveles de densidad (figura 6) se deben fundamentalmente a los efectos directo e indirecto (subsecuente al desove) de la densidad en el número de organismos sobrevivientes que se tienen en un momento determinado del cultivo. En esta figura, se puede apreciar que, para un número inicial normalizado de 1000 organismos, el máximo de rendimiento en biomasa se obtiene en el nivel de densidad más bajo a aproximadamente el quinto mes de cultivo, y que durante los meses finales de este, se puede obtener un rendimiento importante en la densidad relativamente alta del 83.3 % (D5).

Dado que desde el punto de vista de diseño lo que interesa fundamentalmente es predecir para diferentes tiempos la biomasa de una cohorte cultivada a un cierto nivel de densidad, se desarrolló una ecuación de mortalidad particular (expresión 3.4) que permite describir el comportamiento periódico en el número de organismos sobrevivientes, según se discutió con anterioridad.

Con dicha ecuación de mortalidad se asume que, desde un punto de vista dinámico, la mortalidad permanece constante en términos absolutos (como el número de organismos por unidad de tiempo). A esta ecuación se incorpora una función armónica que permite corregir el número de organismos sobrevivientes residual que no es explicada por el modelo básico y, de esa forma, describir las variaciones periódicas en el proceso de mortalidad.

La proposición de esta ecuación no persigue fines teóricos para la explicación del efecto de la densidad sobre dicho proceso. Para los fines de este trabajo, lo que se propone es un modelo descriptivo general, fundamentalmente orientado con fines de predicción y del cual, el único posible inconveniente que pudiera destacarse consiste en que su ajuste puede producir, en algunos casos y para reducidos intervalos en el transcurso del tiempo, pequeños incrementos en el número de sobrevivientes. No obstante, esto no se considera un problema de mayor trascendencia pues, en los casos en que esto se presente, el modelo de simulación se programa para que el número de sobrevivientes se corrija automáticamente, asignando el número correspondiente al tiempo inmediato anterior.

Por lo que corresponde al comportamiento observado en el resto de las variables biológicas, se consideraron adecuadas las aplicaciones de la relación alométrica peso - longitud (expresión 3.2) y de la ecuación de crecimiento en longitud de Von Bertalanffy (1968), (expresión 3.41, atendiendo al comportamiento general observado en las 5 figuras 3 y 4. En todos los casos, las aparentes inconsistencias (decrementos para tiempos sucesivos) en

los valores de tallas observados (figura 3), pueden explicarse fundamentalmente por variaciones propias del muestreo, ya que los valores presentados en estas gráficas corresponden a la media de muestras tomadas para 106 diferentes niveles de densidad a diferentes tiempos, y como es sabido, la distribución de la media muestral se encuentra sujeta a error conforme a distribuciones y variancias que dependen del tamaño de la muestra empleado (Snedecor y Cochran, 1980).

Respecto a los resultados obtenidos con las pruebas de invariancia empleadas para la detección de posibles respuestas funcionales de 106 parámetros del modelo de producción al control de la densidad de cultivo, en el caso de 106 coeficientes alométricos, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2. Resultados de la prueba de invariancia de los parámetros de la relación peso-longitud.

PRUEBA	Parámetros	g.l.	CR	CMR
α y b comunes (A)	2	28	0.9115	
α y b individuales (B)	12	18	0.8593	0.0477

PRUEBA	g.l.	Cambio en CR	CMCR	F
(A)-(B) α y b invariantes	10	0.0522	0.0052	0.109(*)

(*) No significativa. $P > 0.05$

En este caso no se encontró evidencia de que los parámetros variaran significativamente en función de la densidad. Este resultado demuestra que los coeficientes que describen la relación alométrica entre la longitud y el peso de 106 organismos pueden ser relativamente "duros", en el sentido de que sus valores no se ven afectados fácilmente por factores externos como la densidad. Esta consideración adquiere particular importancia en el contexto del análisis de sensibilidad, como se verá más adelante.

Atendiendo a este resultado de la prueba de invariancia, se utilizó una estimación común de ellos a partir de los datos correspondientes a todos 106 niveles de densidad. Los resultados de esta estimación se presentan en la tabla 3.

Por otro lado, el resultado de la prueba de invariancia practicada a 106 parámetros de crecimiento en longitud se presentan en la tabla 4. En este caso, el rechazo de la hipótesis de su invariancia señala la posibilidad de que el proceso de

Tabla 3. Estimación común de los parámetros de la relación peso-longitud para todas las densidades empleadas.

PARAMETROS	D1 - D6
a:	
Estimación	0.073
Error estándar	0.005
b:	
Estimación	2.93
Error estándar	0.06
P	<0.005
R ²	0.98

Tabla 4. Resultados de la prueba de invariancia de los parámetros del modelo de crecimiento en longitud.

PRUEBA	Parámetros	g.l.	CR	CMR
L _∞ , K, t ₀ comunes (A)	3	52	4.56	
L _∞ , K, t ₀ individuales (B)	18	37	2.012	0.054
PRUEBA	g.l.	Cambio en CR	CMCR	F
(A)-(B)	15	2.54	0.169	3.12(**)
L _∞ , K y t ₀ invariantes				

(LS) Significativa. P < 0.025

crecimiento de la especie en cuestión se controle por factores como la densidad. En particular, las diferentes tallas asintóticas que se obtuvieron reflejan la plasticidad del proceso de crecimiento como un efecto de "acuario" del tipo reportado por Pardy et al.(1983) para diferentes densidades del cultivo de camarón.

Para estos parámetros, a diferencia del caso anterior, se procedió a emplear las estimaciones individuales de ellos para cada nivel de densidad con los siguientes resultados.

Tabla 5. Estimación de los parámetros del modelo de crecimiento en longitud.

PARAMETROS	D1	D2	D3	D4	D5	D6
L_∞:						
Estimación	4.55	4.6	4.31	4.09	4.31	4.28
Error estandar	0.07	0.13	0.12	0.15	0.25	0.18
K:						
Estimación	0.53	0.43	0.42	0.47	0.32	0.28
Error estandar	0.06	0.08	0.07	0.12	0.09	0.05
t₀:						
Estimación	-0.54	-0.7	-0.78	-0.76	-1.08	-1.02
Error estándar	0.13	0.23	0.23	0.33	0.49	0.34
P						
	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
R²						
	0.98	0.97	0.97	0.94	0.94.	0.97

En general, puede observarse que las tendencias en el comportamiento de los valores de estos parámetros frente a la densidad señalan que, en la medida en que esta se incrementa, tanto las tallas máximas alcanzables como la rapidez con que se tiende hacia ellas, son cada vez menores.

Por lo que respecta a la prueba de invariancia de los parámetros de la ecuación de mortalidad, los resultados encontrados se presentan en la siguiente tabla.

-Tabla 6. Resultados de la prueba de invariancia de los parámetros del modelo de mortalidad.

PRUEBA	Parametros	g.l.	CR	CMR
No, Z, C, L, F comunes (A)	5	57	11694.3	
No, Z, C, L, F individuales (B)	30	32	547.8	17.1
PRUEBA	g.l.	Cambio en CR	CMCR	F
(B)-(A) No, Z, C, L y F invariantes	25	11146.4	445.8.0	26.04 (**)

(**) Significativa. P < 0.005

Cabe señalar en estos resultados el alto nivel de significancia encontrado para el rechazo de la invariancia de los valores de los parámetros. A continuación, se presentan los resultados de los análisis de regresión empleados para sus estimaciones asociadas a cada nivel de densidad individual.

Tabla 7. Estimación de los parámetros del modelo de mortalidad.

PARAMETROS	D1	D2	D3	D4	D5	D6
N₀:						
Estimacion	117.4	112.4	102.8	87.9	91.9	108.8
Error estándar	2.5	2.3	1.0	4.4	1.1	3.9
Z:						
Estimacion	8.03	7.47	5.41	6.36	4.11	13.3
Error estándar	0.30	0.27	0.12	0.55	0.14	0.81
C:						
Estimación	13.6	11.6	9.3	19.2	10.9	14.0
Error estándar	1.95	1.75	0.72	3.11	0.77	1.37
L:						
Estimacion	7.7	8.0	9.4	11.7	12.1	7.1
Error estándar	0.28	0.32	0.24	1.24	0.64	0.66
F:						
Estimacion	-1.83	-1.46	-0.46	0.93	1.01	-0.63
Error estándar	0.25	0.27	0.13	0.43	0.2	0.37
P	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
R ²	0.99	0.99	0.99	0.9	0.99	0.99

La tendencia que presentan los valores de los parámetros frente a la densidad es de distinto tipo, adquiriendo particular relevancia la de los parámetros Z y C, según se hará evidente posteriormente.

Para finalizar la parte correspondiente al submodelo biológico, el resultado de las predicciones que se realizan con él a partir de las estimaciones de sus parámetros presentadas en las tablas 3, 5 y 7 se presentan de las figuras 7 a la 12. En estas figuras se encuentran las curvas teóricas ajustadas de biomasa total, peso individual y supervivencia correspondientes a cada uno de los diferentes niveles de densidad experimentales. En todos los casos la predicción se realizó para un número inicial normalizado de 1000 organismos.

Es importante en estas figuras el hecho de que, en general, el comportamiento de las variables biológicas que se predicen tienden a reflejar el observado experimentalmente.

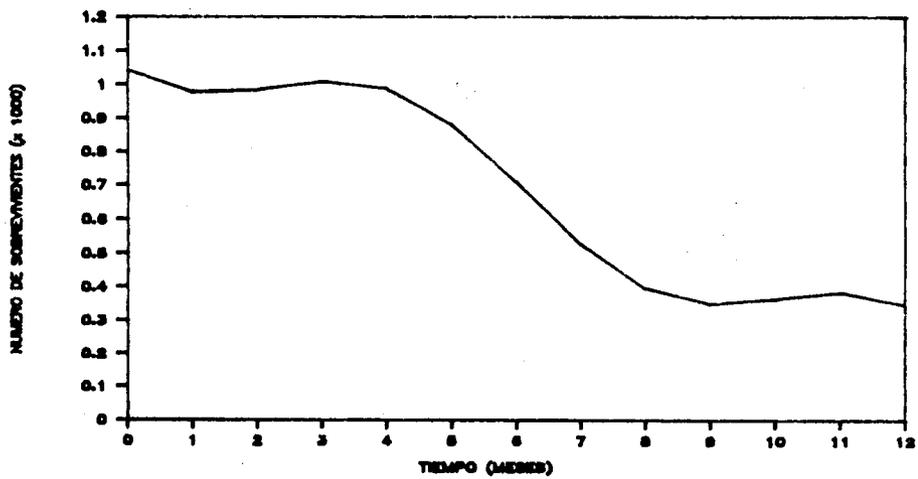
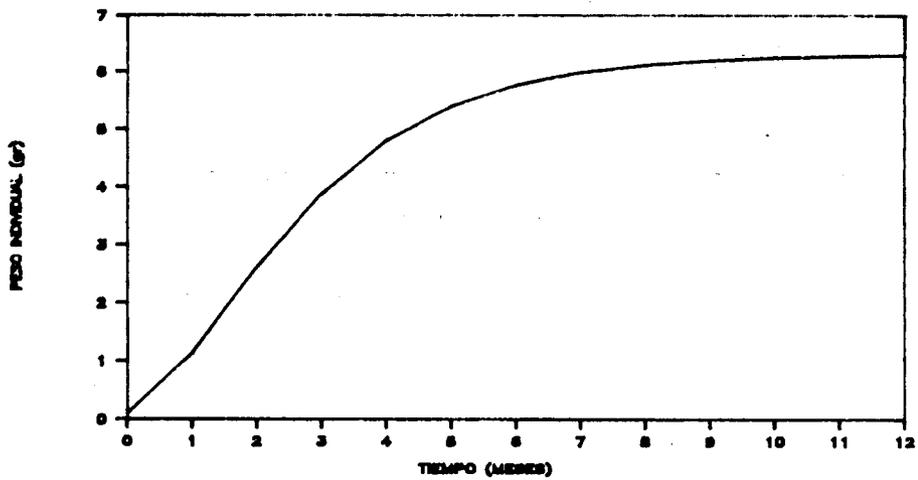
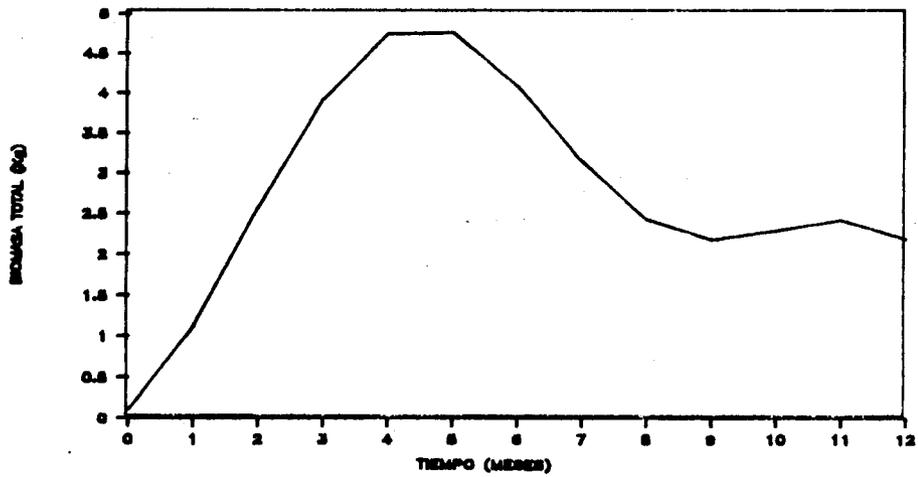


Figura 7. Curva teórica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D1.

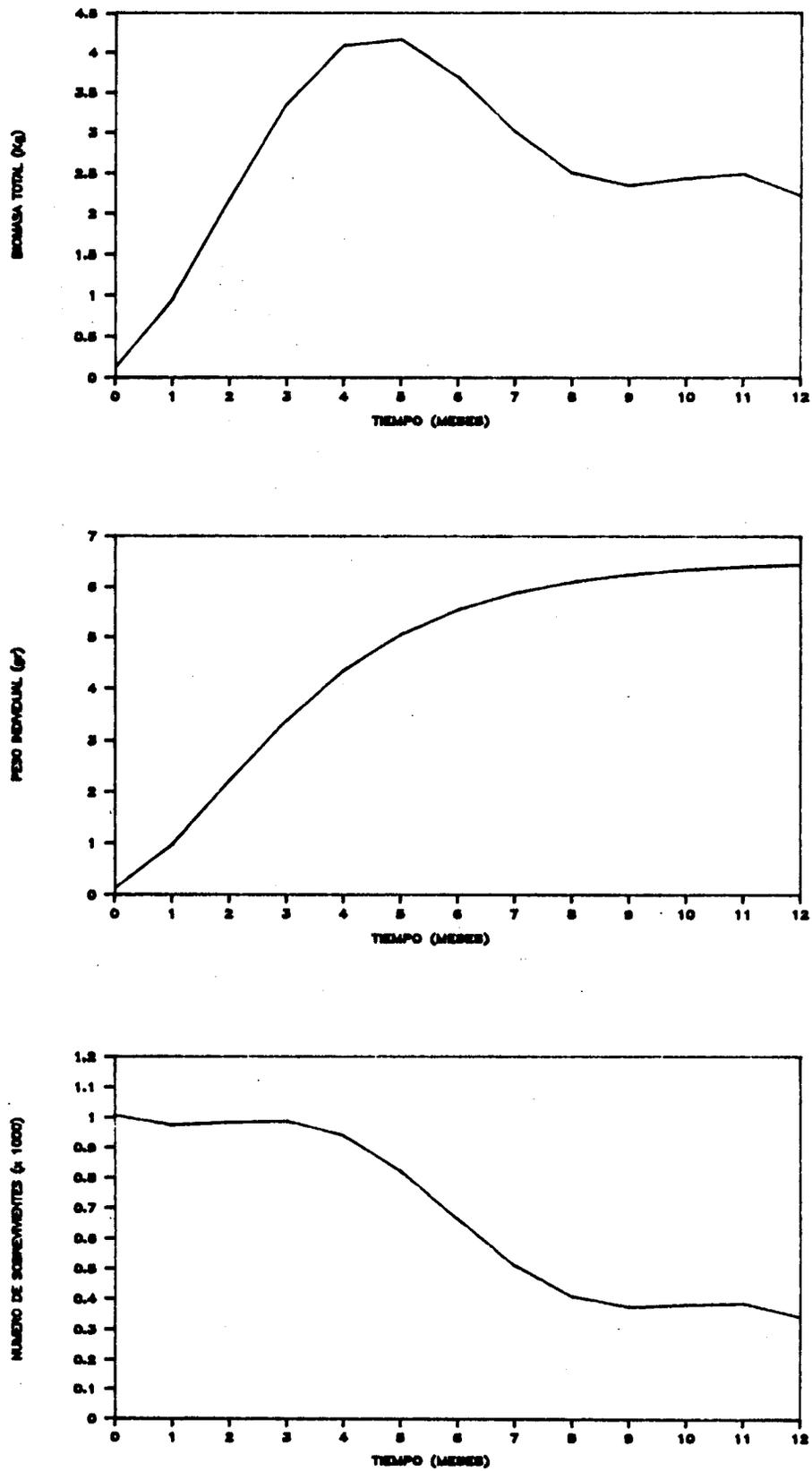


Figura 8. Curva teórica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D2.

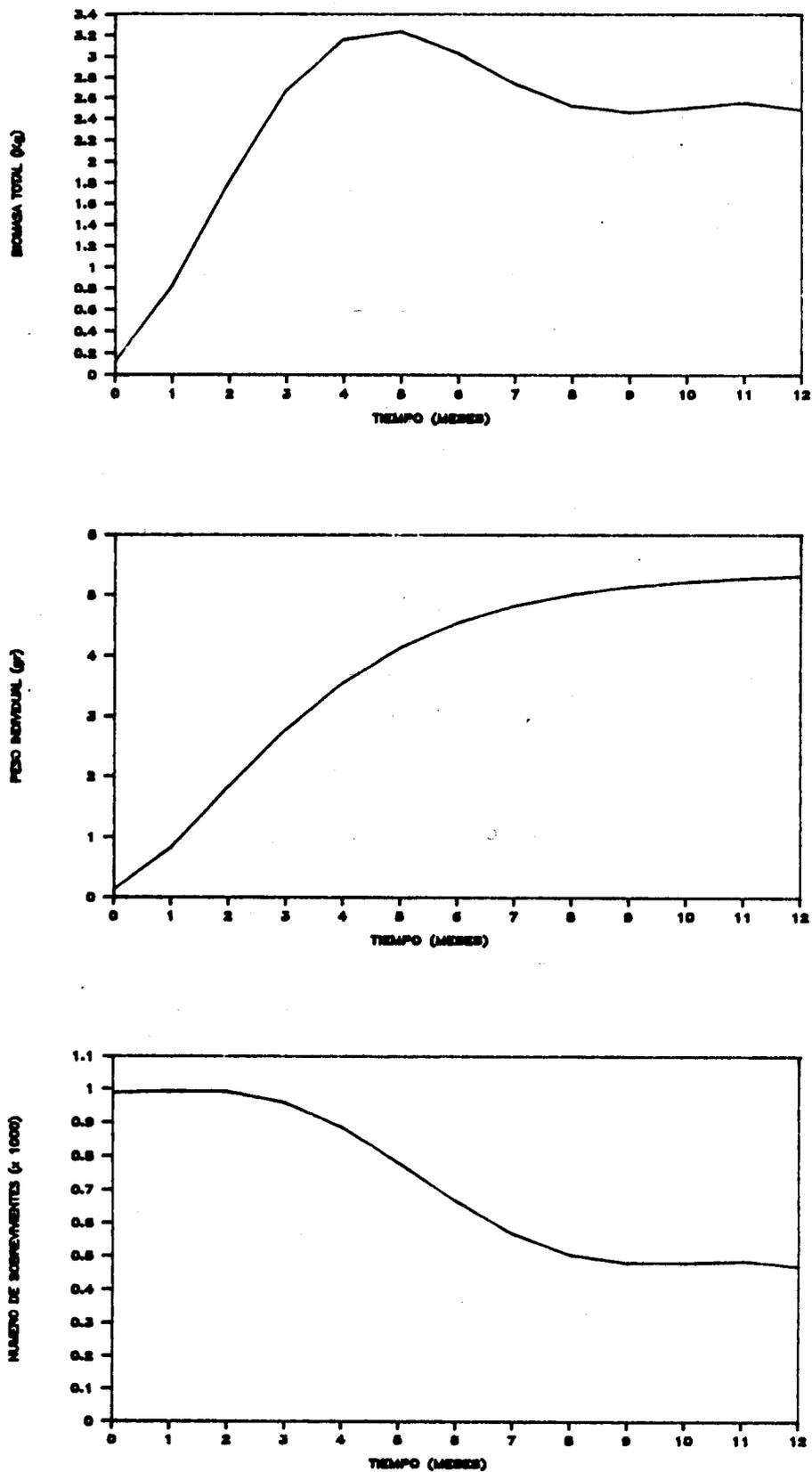


Figura 9. Curva teórica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D3.

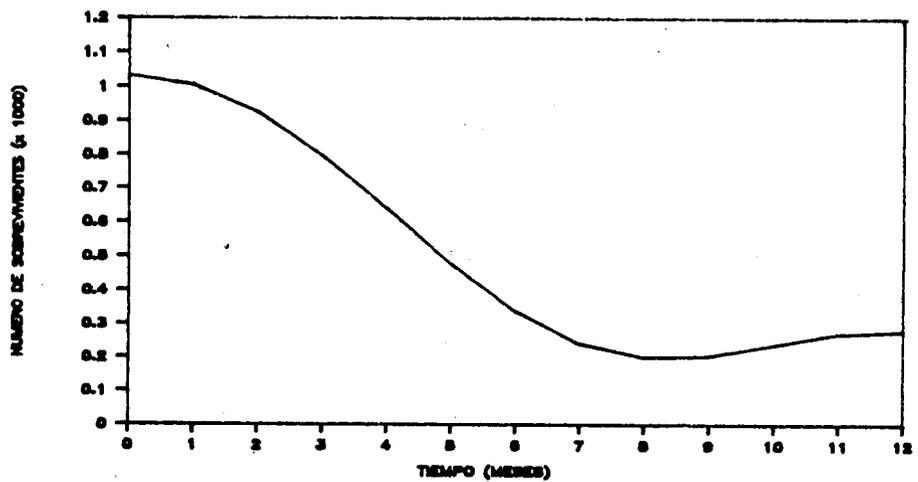
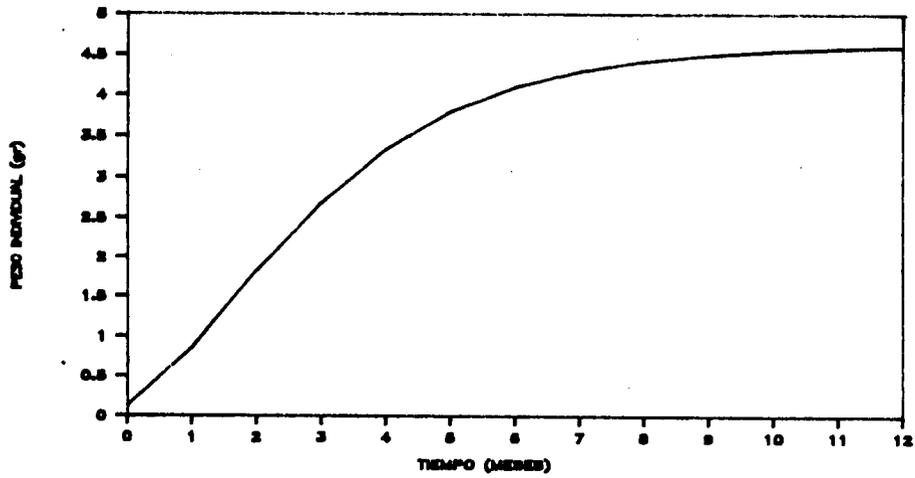
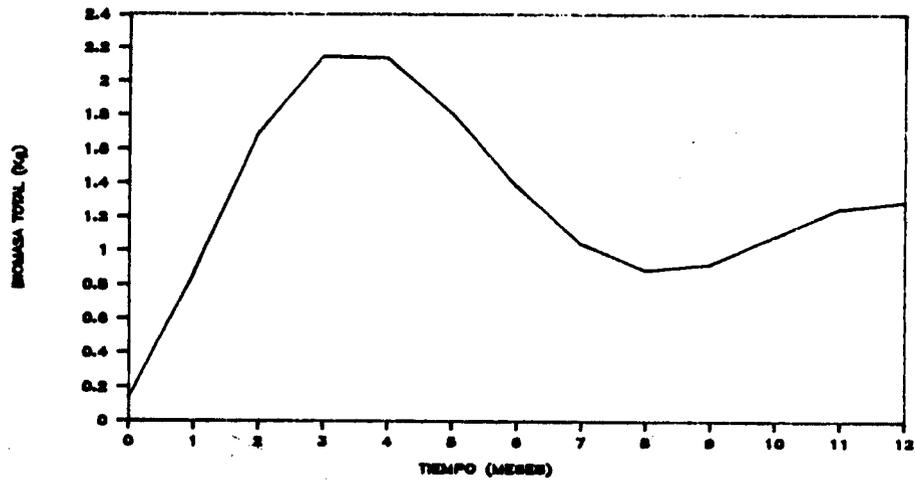


Figura 10. Curva teórica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D4.

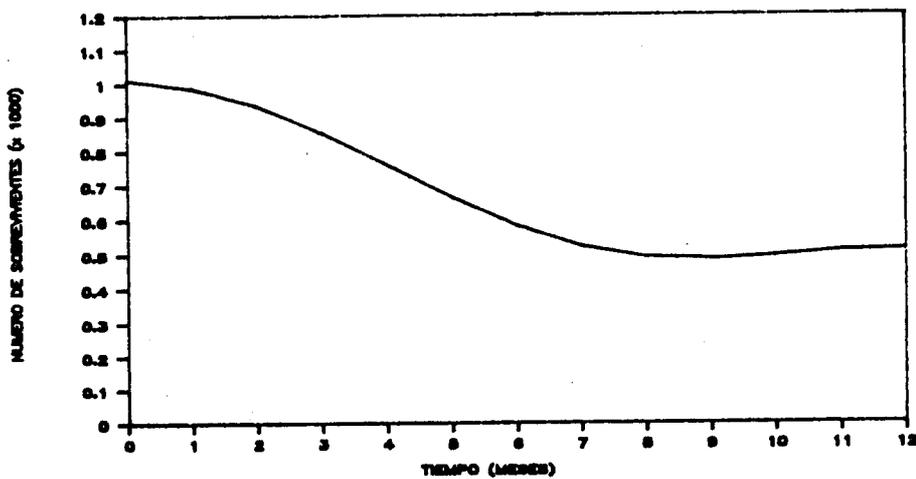
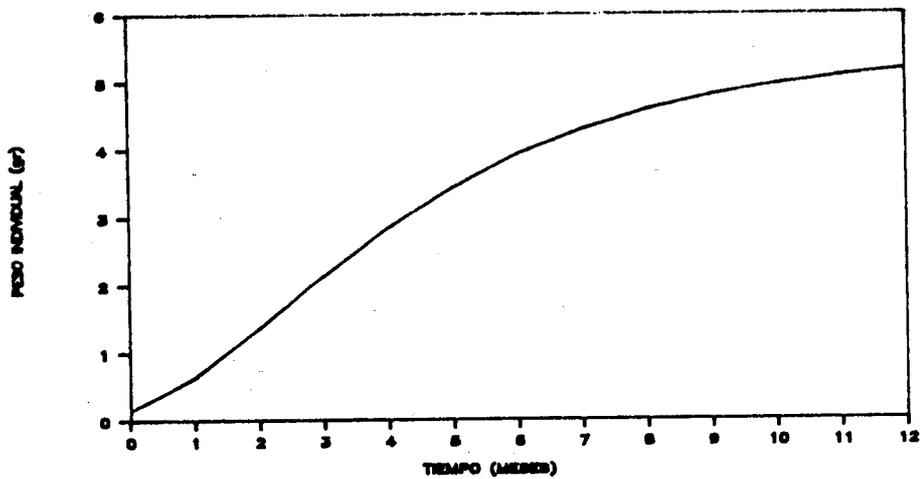
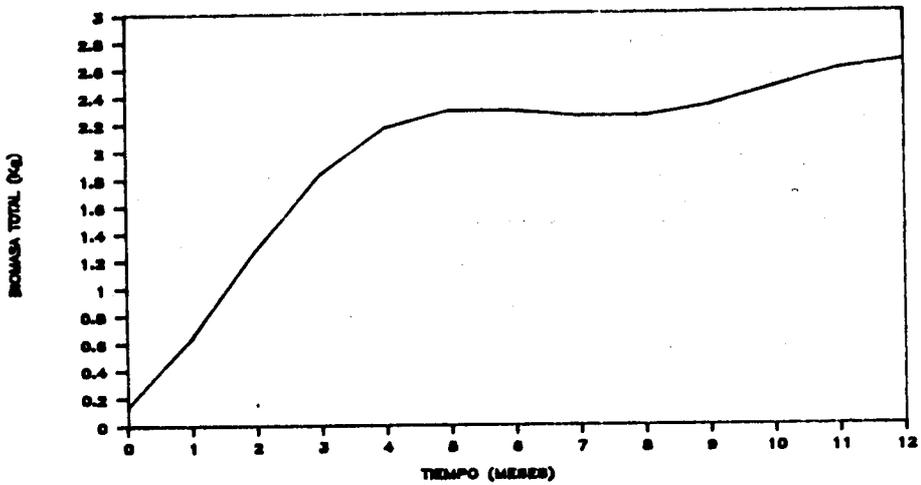


Figura 11. Curva teórica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D5.

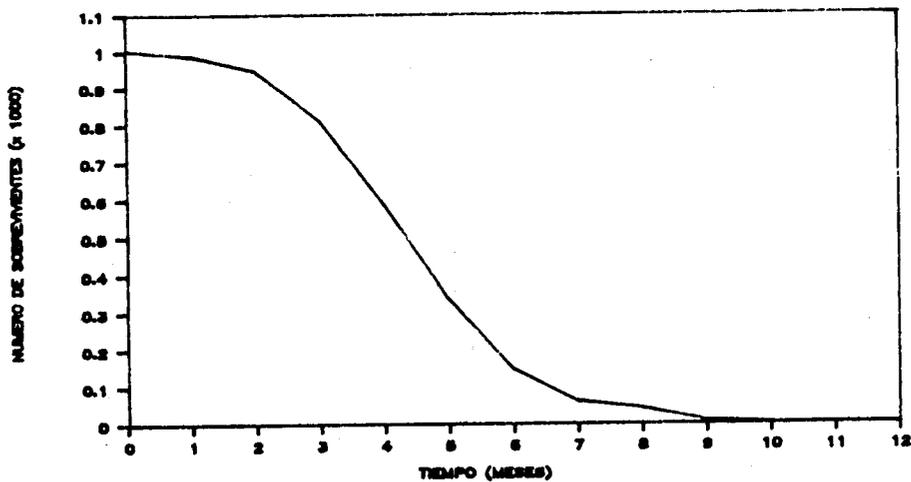
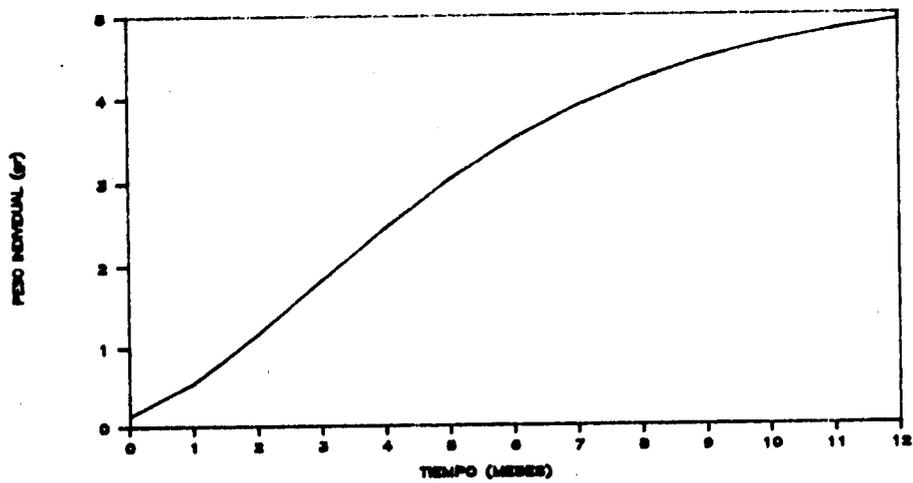
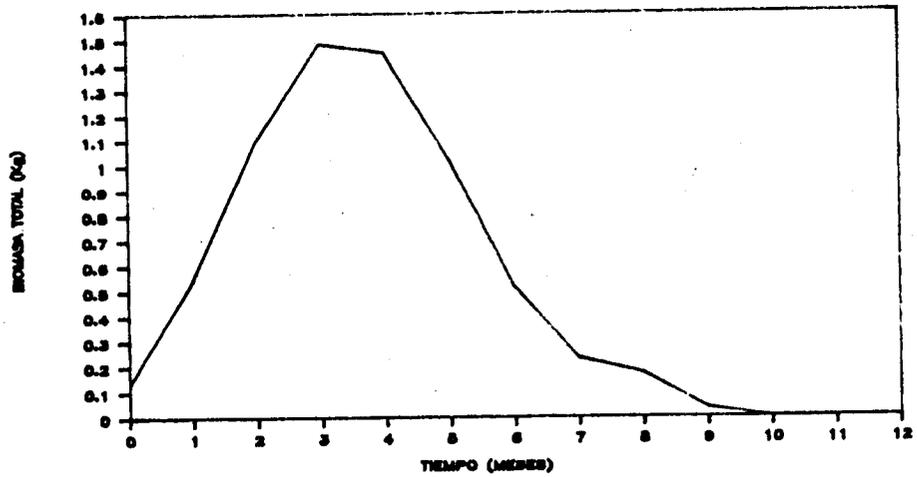


Figura 12. Curva teórica de biomasa total a partir de las curvas ajustadas de peso y supervivencia para la densidad D6.

Enseguida, se presentan y discuten conjuntamente, tanto los resultados obtenidos con la metodología empleada para la proposición de relaciones funcionales entre algunos de los **parámetros** del modelo biológico y la densidad, como las respuestas funcionales particulares de dichos **parámetros** a ella.

Las estimaciones de los coeficientes de los polinomios y de los parámetros de la **ecuación** normal mencionados en la metodología, como las relaciones funcionales que permiten describir esas **respuestas**, se presentan en la tabla 8. Estas estimaciones, a su vez, se basan en los valores de los **parámetros** del submodelo **biológico** ajustados a las observaciones experimentales contenidas en las **tablas** 3, 5 y 7. Asimismo, las **curvas teóricas** que se predicen por ellos, se tienen en las figuras 13 a la 20.

Primeramente, es importante resaltar que la proposición de estas relaciones funcionales no persigue fines **teóricos** para la **explicación** de los procesos de **producción** en función de la densidad de cultivo. Lo que se pretende es contar con **modelos descriptivos generales** que contemplen dos aspectos principales: por un lado, **disponer de la capacidad de predicción de valores de los parámetros** del modelo de producción a valores de densidad distintos de los manejados experimentalmente y por otro, en lo posible, incorporar parámetros en dichas funciones que pudieran tener alguna **implicación** práctica en el manejo del cultivo.

Con el primero de estos aspectos se busca la forma de **ampliar** la capacidad de **análisis - y de resolución -** en una superficie de respuesta de la TIR limitada por los valores experimentales extremos de la densidad, en tanto que con el segundo de ellos; el disponer de descriptores de procesos de la **dinámica** de **producción biológica** del cultivo que, como resultado de la **simulación** con el modelo bioeconómico, pudiera o no ser conveniente el reconsiderarlos con fines de mejoramiento, de establecimiento de tolerancias de error experimental o, inclusive, del replanteamiento de la **relación** funcional correspondiente.

Los resultados del **método de aproximación funcional** mediante **ajustes polinomiales** se consideran satisfactorios en términos de estos objetivos. No obstante, en los casos de los parámetros **L** y **Z**, fue necesario realizar un ajuste global de sus valores correspondientes a los seis niveles de densidad experimentales a **polinomios de quinto** grado. Este tipo de ajuste global constituye uno de los enfoques utilizados para resolver un problema de interpolación (Forsythe et al., 1977).

Un claro ejemplo de la utilidad de la descripción de las **respuestas funcionales** con este método de aproximación en la interpretación de los resultados obtenidos experimentalmente, lo constituye el caso de la tasa de mortalidad **Z**.

Este **parámetro** puede considerarse como un descriptor de la tendencia general (sin variaciones por efectos combinados de sowe -

Tabla 8. Estimación de los parámetros de las relaciones funcionales: parámetros biológicos - densidad.

	L _∞	K	to	h ₀	Z	C	L	F
A0	4.16103E+00	4.10650E-01	-8.46933E-01	9.50437E+01	6.00854E+00	2.65950E+00	1.09856E+01	3.08438E-01
A1	-1.41032E-02	-2.62000E-03	-7.49000E-03	-6.51373E-01	8.23874E-02	-3.10645E-01	1.37051E-01	7.26450E-02
A2	6.62549E-04	--	--	1.05420E-02	-2.02245E-03	6.30643E-03	-1.96300E-03	-8.83000E-04
A3	1.71134E-05	--	--	3.18000E-04	-3.69124E-04	1.78598E-04	-8.40000E-05	-3.40000E-05
A4	-2.95380E-07	--	--	--	2.72767E-06	--	--	--
A5	-6.25318E-09	--	--	--	2.06631E-07	--	--	--
A	--	--	--	--	--	1.95000E+01	--	--
H	--	--	--	--	--	7.00900E+01	--	--
S	--	--	--	--	--	1.09800E+01	--	--
R ²	1.0	.77	.90	.98	1.0	.99	.98	.99

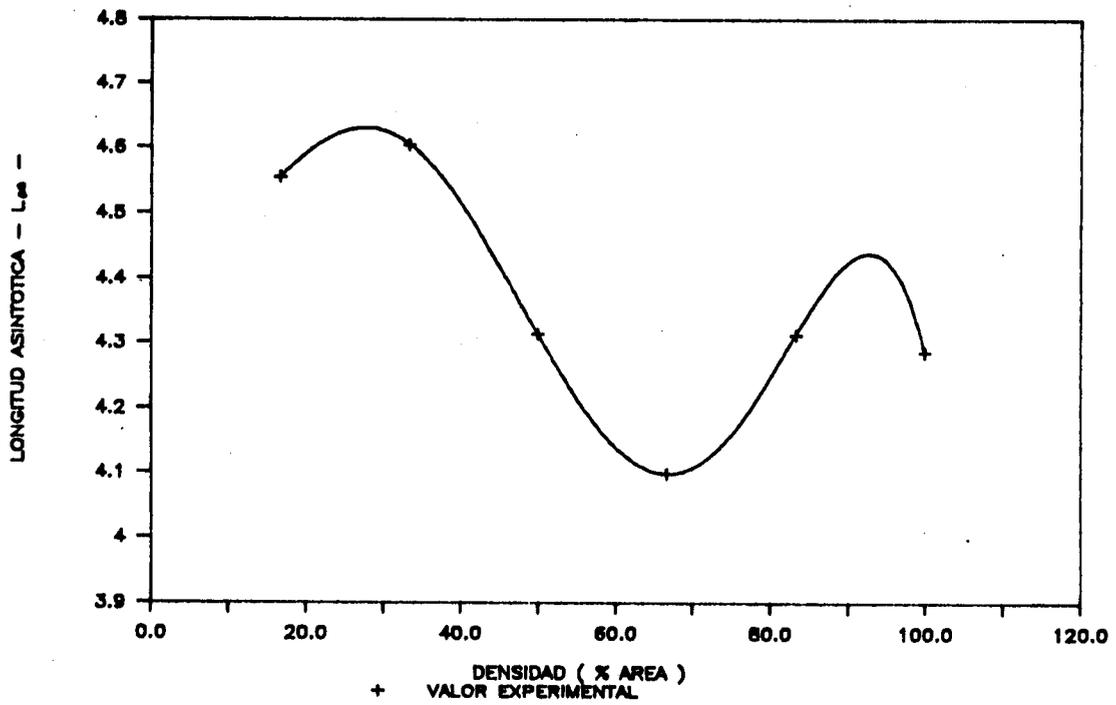


Figura 13. Gráfica de la relación funcional entre L_{∞} y la densidad.

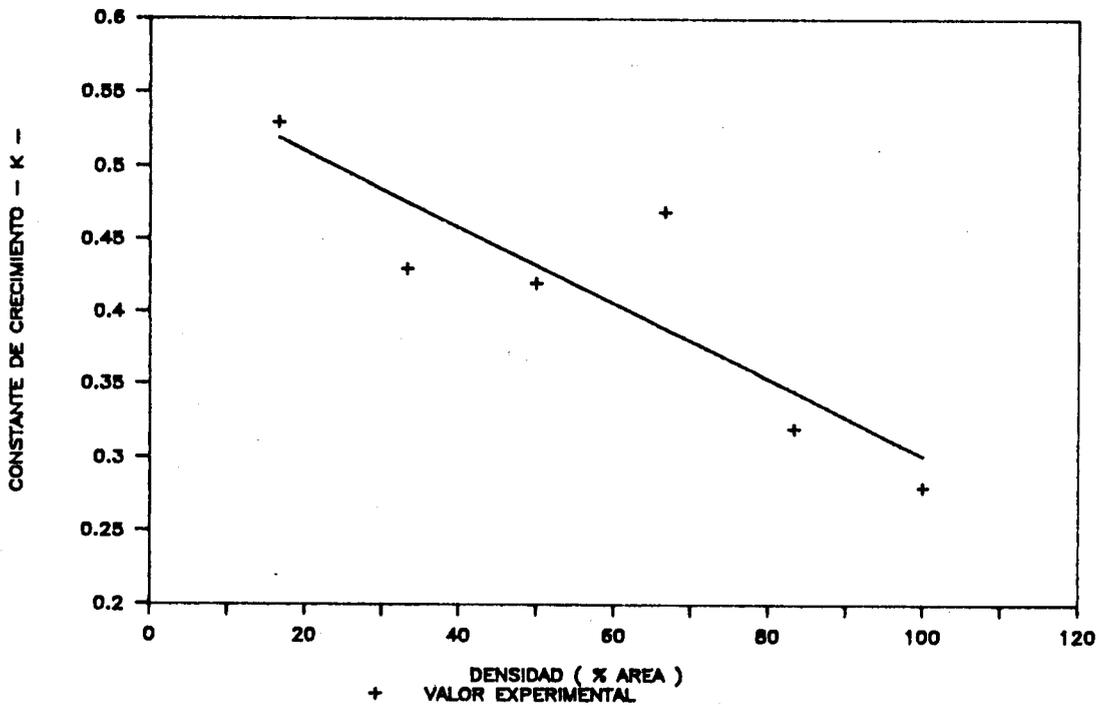


Figura 14. Gráfica de la relación funcional entre K y la densidad.

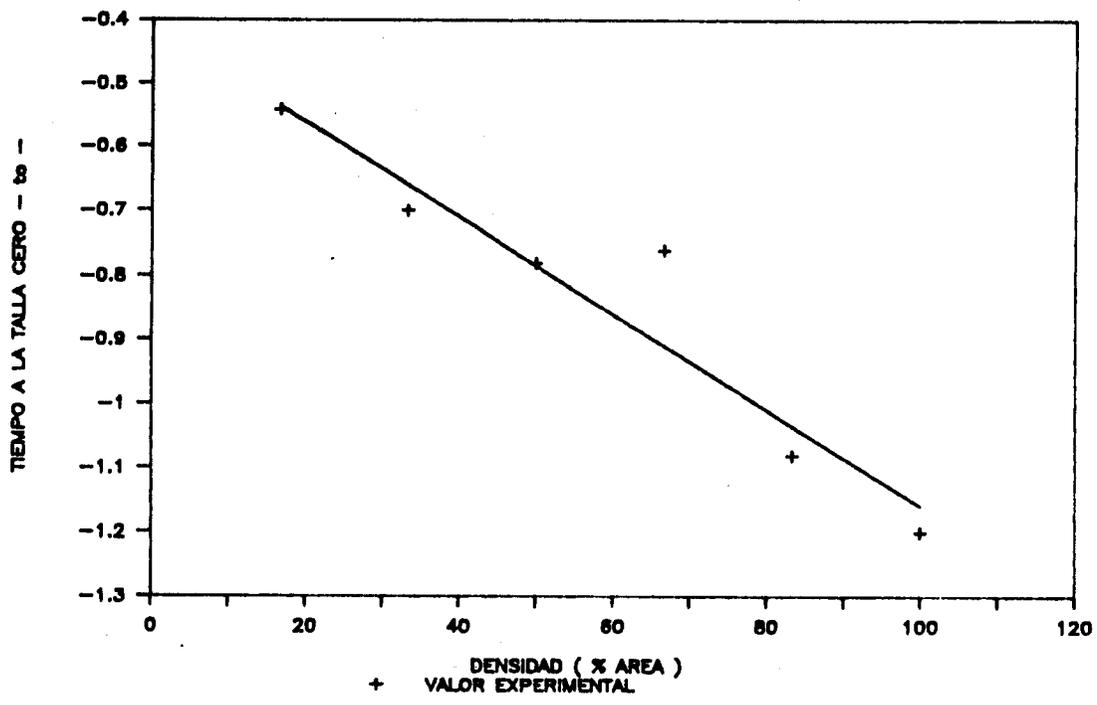


Figura 15. Gráfica de la relación funcional entre t_0 y la densidad.

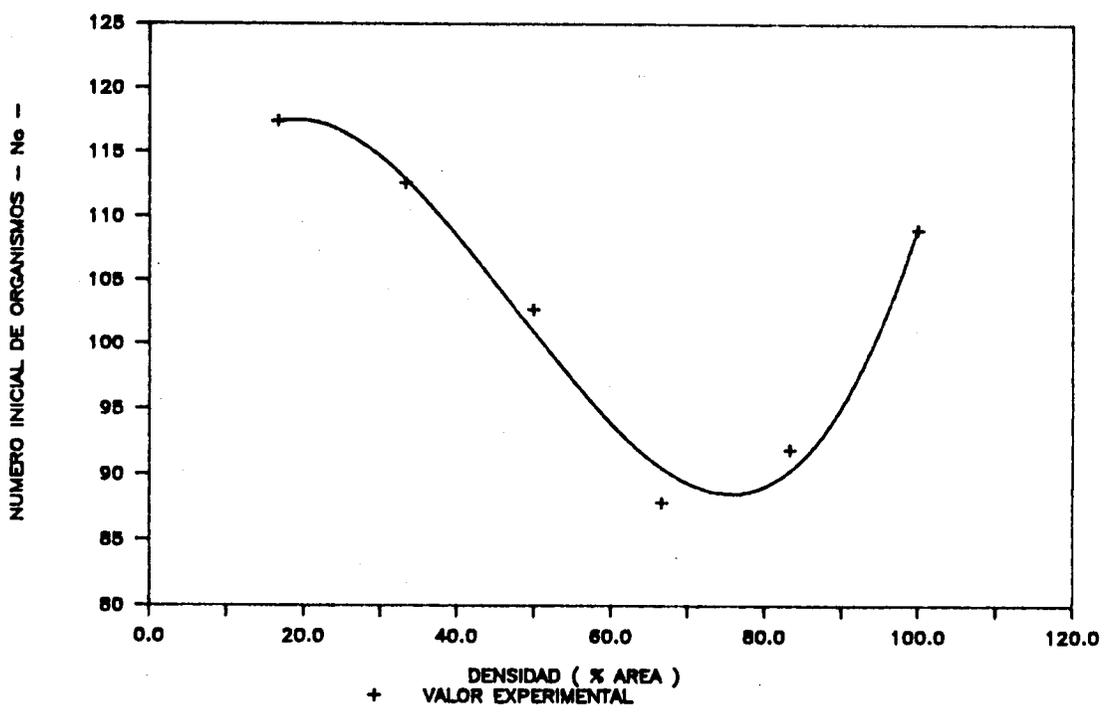


Figura 16. Gráfica de la relación funcional entre N_0 y la densidad.

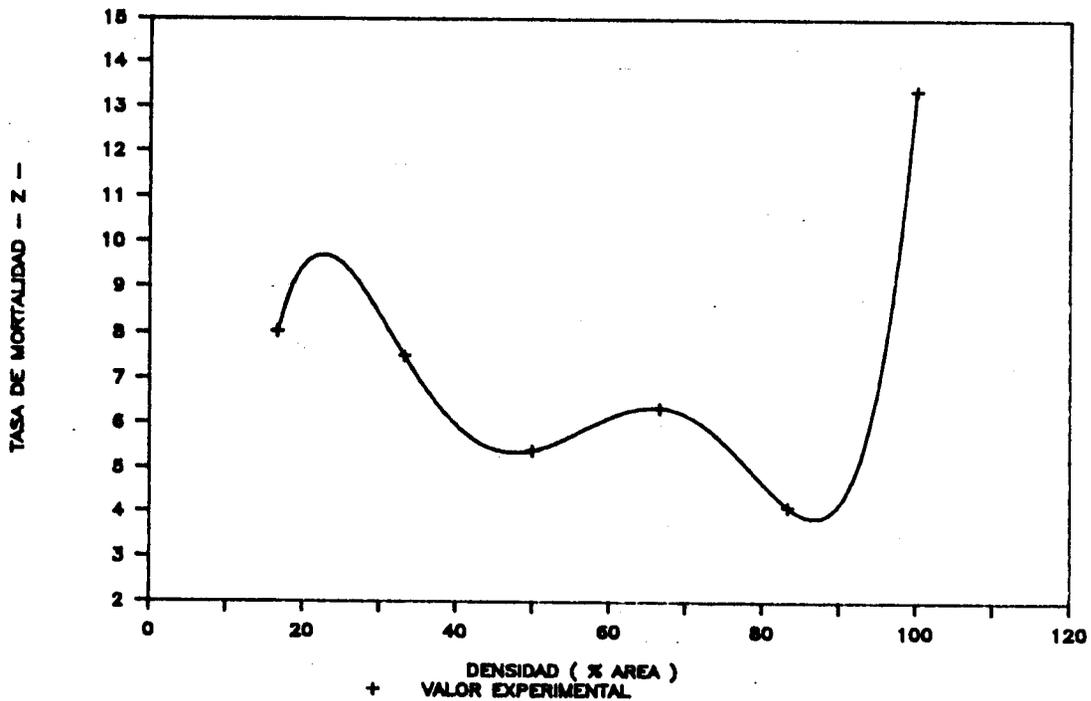


Figura 17. Gráfica de la relación funcional entre Z y la densidad.

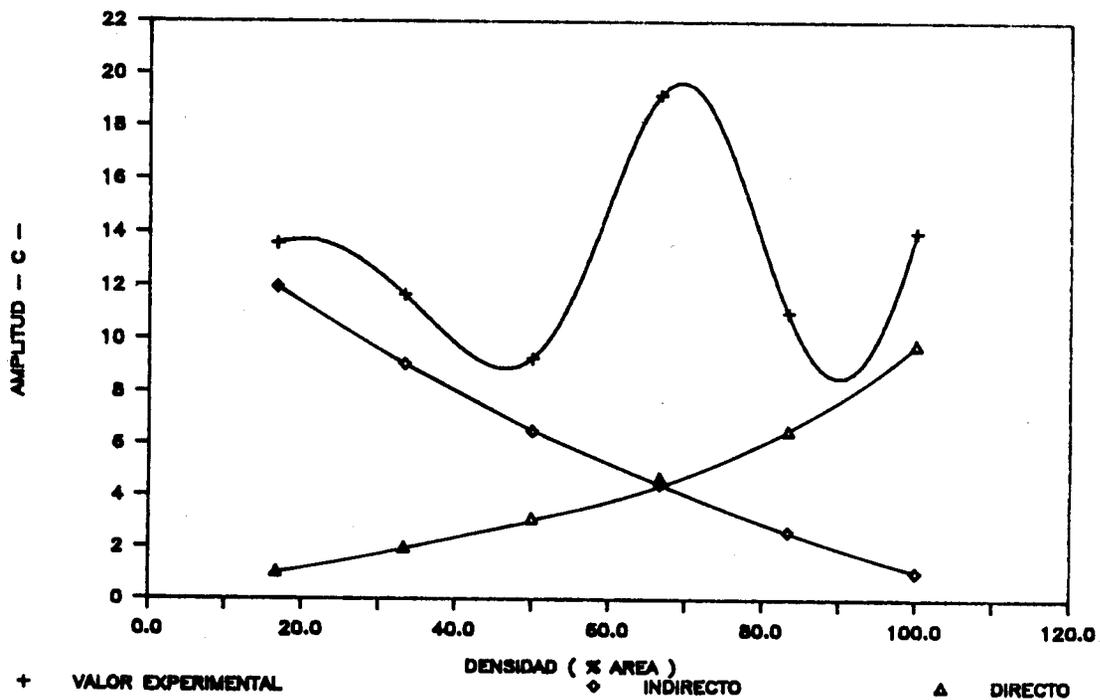


Figura 18. Gráfica de la relación funcional entre C y la densidad y curvas hipotéticas de los efectos directo e indirecto de la densidad.

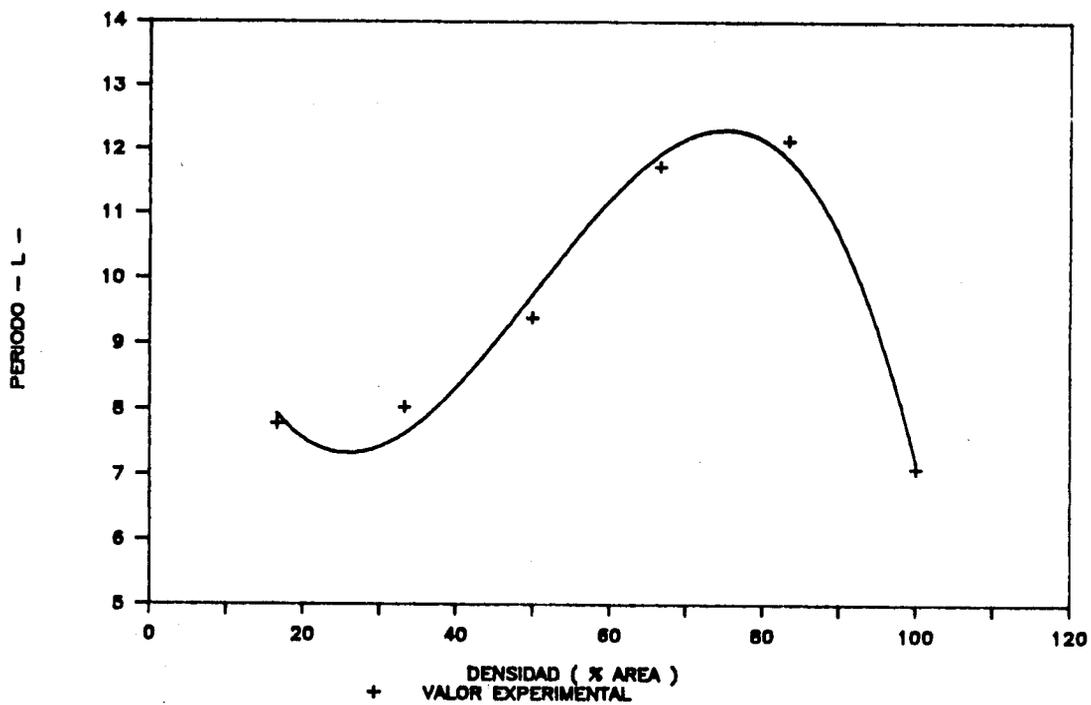


Figura 19. Gráfica de la relación funcional entre L y la densidad.

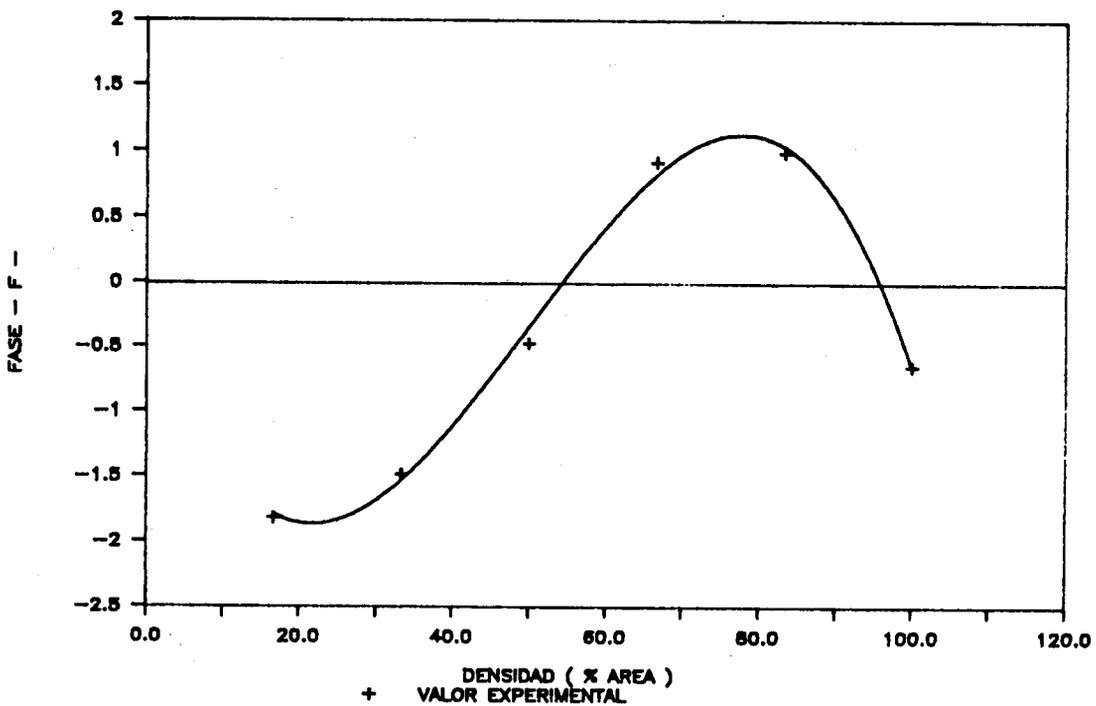


Figura 20. Gráfica de la relación funcional entre F y la densidad.

densidad) que presenta el proceso de mortalidad en cada uno de los niveles de densidad.

En la tabla 4 y figura 17 es posible observar que, para un amplio intervalo de valores de la densidad, existe una relación inversa entre ella y los valores de Z. Este fenómeno se debe a que, dentro de ese intervalo, el efecto indirecto de la densidad en la mortalidad (a través del desove) prevalece por sobre su propio efecto directo, produciendo mayores mortalidades generales a densidades bajas. Sin embargo, a partir de un cierto límite en los valores de ella (cercano al nivel experimental del 83.3 %), se produce un alto incremento en la mortalidad como consecuencia de la dominancia del efecto directo del alto nivel de densidad empleado..

Este es un resultado demostrativo de la complejidad que puede estar implicada en la dinámica del proceso de producción bajo condiciones de cultivo, pues en este caso, para un amplio intervalo de valores de densidad, el incrementar ésta produce una mejoría inesperada en la supervivencia general de los organismos; aunque, una vez alcanzado un determinado valor crítico de ella, el continuar incrementando sus valores produce, de forma súbita, un resultado altamente desfavorable en la supervivencia.

Del manejo de las densidades de este cultivo se puede concluir que, para un amplio intervalo de valores de ella, su efecto indirecto es la causa de mortalidad general más importante y produce un resultado no esperado inicialmente, y que la densidad, como tal, es la causa principal y produce resultados esperables dentro de un estrecho intervalo de sus valores, aunque a niveles altos extremos y bajo un brusco patrón de respuesta.

Un segundo y último ejemplo de la utilidad de las relaciones funcionales empleadas para describir la respuesta de los parámetros del modelo de producción a la densidad, lo constituye el del parámetro C de la ecuación de mortalidad.

Este representó el único caso en que el método de aproximación polinomial no produjo resultados satisfactorios, ya que aún con el empleo de un polinomio interpolador de quinto grado no se observó un comportamiento aceptable de la función.

Se sabe que uno de los principales problemas que enfrenta el uso de una función polinomial ajustada globalmente consiste en la posibilidad de que la trayectoria de la curva en los valores interpolados entre datos experimentales adyacentes presente fuertes "desviaciones" (Hornbeck, 1975) o "sobreajuste" (Williken y Johnson, 1989), más allá de la tendencia general de los datos. Una situación de este tipo fue la que se observó en el caso de C cuando se intentó su ajuste a un polinomio de quinto grado, juzgándose conveniente proceder a su ajuste de acuerdo al procedimiento señalado en la metodología.

Williken y Johnson (op. cit.) recomiendan el uso de modelos no

lineales en los parámetros antes de emplear polinomios de ajuste global para evitar problemas de "sobreajuste". Sin embargo, de acuerdo con estos mismos autores, para que ese tipo de modelos representen una mejoría sobre modelos polinomiales es muy probable que el número requerido de niveles del factor sea superior a ocho o nueve; situación claramente inaplicable al caso que interesa en este trabajo.

En la ecuación de mortalidad, C describe principalmente la intensidad de las variaciones del proceso de mortalidad que se observan a lo largo del cultivo. En la parte superior de la figura 18 se presenta la curva teórica que se predice para los valores de C a partir de la función empleada para relacionarlo con la densidad de cultivo. En ella, se observa un patrón de respuesta similar al del parámetro Z (figura 17), a excepción de altos valores de C que se presentan cercanos a la densidad experimental del 66.66 % (D4) en la que, según se recordará de la explicación de 10% resultados experimentales de supervivencia (figura 3), posiblemente ocurra un incremento en el sinergismo de los efectos directo e indirecto de la densidad.

De manera similar a la respuesta de Z, para los niveles de densidad más bajos existe una relación inversa entre C y la densidad, debido a que en este caso, el efecto indirecto también prevalece y las variaciones en la mortalidad son más fuertes cuando se trabaja a bajas densidades. También como en el caso de Z, aquí se presenta claramente la prevalencia del efecto directo de la densidad a niveles altos extremos, debido a que después del corto periodo inicial de retardo en la aparición del efecto directo de la densidad, la mortalidad en el nivel de densidad del 100% (D6) se incrementa muy rápidamente en los primeros meses del cultivo.

Ahora bien, si ambos efectos pudieran ser hipotéticamente separados y extrapolados para todo el intervalo de densidades experimentado, la descripción de ellos podría hacerse mediante las curvas señaladas en triángulos y cuadrados que se presentan en la parte inferior de la figura. A partir de ellas, resulta claro que 10% altos valores de C que se presentan a niveles de densidad intermedios se podrían explicar como un incremento en el sinergismo de ambos efectos, debido a que en esos niveles ninguno de ellos tiende a prevalecer sobre el otro y la acción de cada uno sobre el proceso de mortalidad se ve recíprocamente amplificada por la presencia del otro, produciendo los altos valores de C observados.

La fuerte intensidad en la respuesta de C a densidades intermedias es la razón de que, en este caso, el método de aproximación funcional no produjera el resultado deseado inicialmente. La aproximación a la descripción de este patrón de respuesta mediante el criterio normal del empleo de una sola función "suave" y simple propuesto por Forsythe et al. (Op. cit.) resultó, bajo estas condiciones, particularmente inconveniente.

Aún así y de acuerdo a los fines generales perseguidos en este

trabajo con la proposición de este tipo de relaciones funcionales, la de la relación correspondiente a C (expresión 3.11) se procuró que, además de presentar el comportamiento aceptable deseado, incorporara, a su vez, parámetros que pudieran tener algún tipo de interpretación directa, como es el caso de los parámetros correspondientes a la ecuación de la distribución normal, los cuales pueden relacionarse de alguna forma con la ubicación, intensidad y amplitud de la fuerte alteración que se presenta en el patrón de respuesta de la mortalidad a densidades intermedias.

Para finalizar la parte correspondiente a este subcapítulo, a continuación se consideraran los relativos a la predicción de rendimientos en biomasa para diferentes combinaciones de valores de tiempo de cosecha y densidad a partir del modelo de producción y de las relaciones funcionales establecidas entre algunos de sus parámetros y la densidad.

Estas predicciones de rendimientos se presentan como un diagrama de isocontornos y una superficie de respuesta en las figuras 21 y 22. Los resultados son consistentes con los de biomasa total observados experimentalmente (figura 6), en cuanto a que el máximo de biomasa que se puede obtener se presenta a aproximadamente el quinto mes de cultivo a la densidad más baja del 16.6 % (D1), y a que durante la segunda mitad del ciclo de cultivo, a una densidad cercana al 83.3 % (D5) se obtengan rendimientos importantes. Sin embargo y como se verá más adelante, los valores de las variables de control asociados al máximo de rendimientos en biomasa no corresponden a los óptimos bioeconómicos que se calculan con el modelo global lo que señala, claramente, que la optimización de los parámetros biológicos, referidos a sí mismos, no conduce necesariamente a la optimización del cultivo, cuando a éste se le evalúa conforme a una medida de desempeño eficaz, como lo puede ser un indicador económico.

Asimismo, en estas figuras 21 y 22, también es posible apreciar que a tiempos intermedios y finales del periodo de cultivo, el efecto indirecto de la densidad a través del desove tiende a reflejarse en casi todos los niveles de densidad como decrementos en los rendimientos en biomasa. Después del primer descenso, sin embargo, también es posible observar repuntes en los rendimientos, adquiriendo mayor importancia en el caso de las densidades relativamente altas cercanas a la densidad experimental D5. A densidades altas extremas, sin embargo, no se observa el comportamiento señalado.

En otro sentido, es destacable que a densidades cercanas a la densidad experimental D4 se presentan bajos rendimientos a lo largo de prácticamente todo el ciclo de producción, con un mínimo al octavo mes de cultivo. Este mínimo se presenta como una fuerte depresión en la superficie de respuesta y puede ser ubicado más claramente en el diagrama de isocontornos asociado a densidades intermedias en las que ocurre el hipotético incremento en el sinergismo de los efectos directo e indirecto de la densidad sobre el proceso de mortalidad.

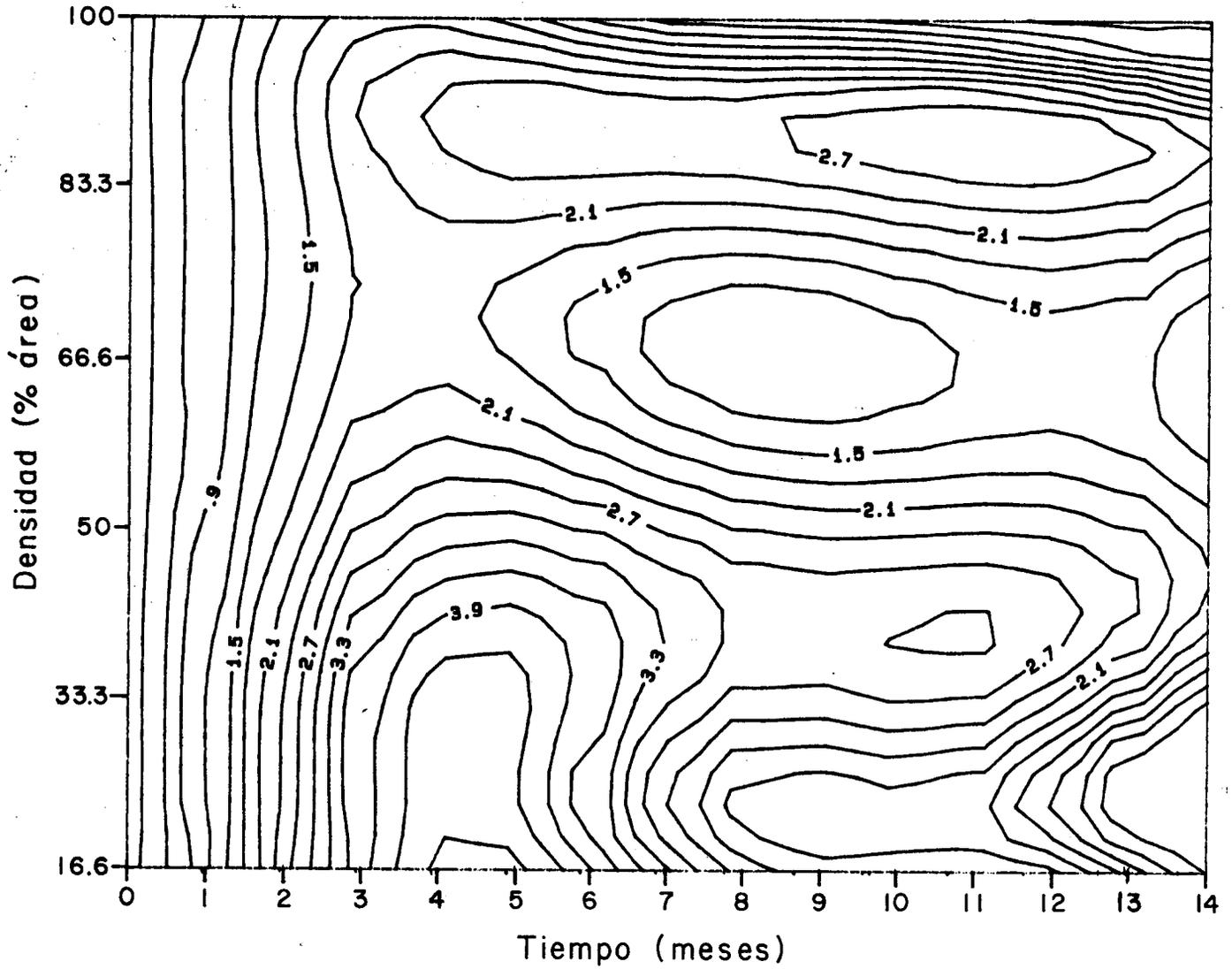


Figura 21. Gráfica de isocontornos de rendimientos en biomasa (Kg.) para un número inicial normalizado de mil organismos.

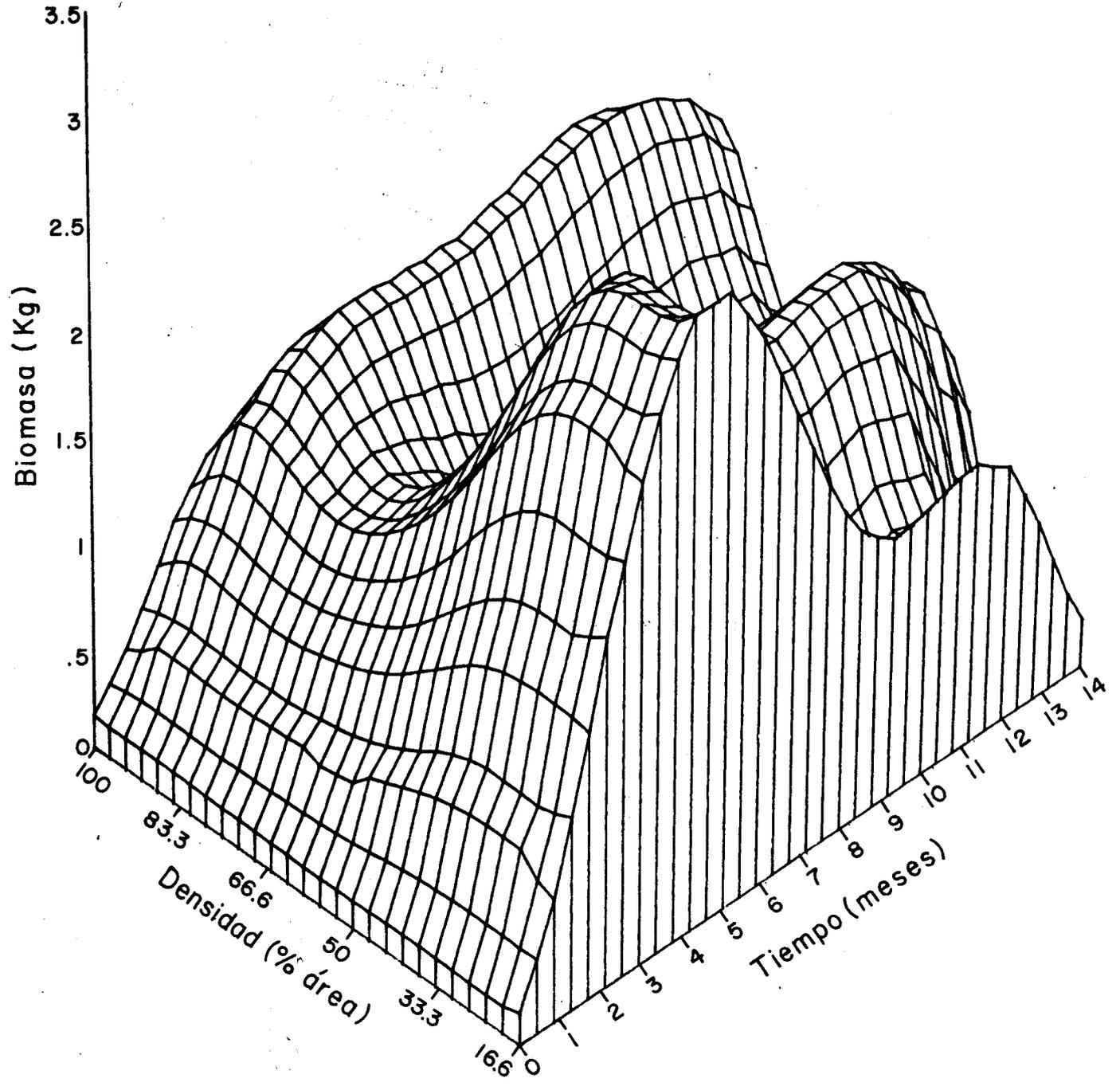


Figura 22. Superficie de respuesta de rendimientos en biomasa para un número inicial normalizado de mil organismos.

El análisis de superficie de respuesta demuestra que el comportamiento de la biomasa en función del tiempo y de la densidad de cultivo es sumamente irregular. Sin embargo, conforme a lo que ya ha sido descrito previamente, resulta claro que el principal factor que interviene en la configuración de dicha superficie de respuesta es el proceso de mortalidad.

Haciendo consideración de todo lo cubierto en este subcapítulo puede afirmarse, finalmente, que:

i) La dinámica del proceso de producción biológica en condiciones de cultivo puede ser compleja. En el caso particular de este trabajo, ello queda claramente evidenciado por los resultados inesperados obtenidos en cuanto a mortalidad de los organismos, cuando se pretende controlar la densidad de cultivo.

ii) La estructuración de la información disponible en modelos matemáticos constituye un instrumento valioso para la mejor comprensión de los procesos de producción biológica implicados en una práctica de cultivo, así como para la formulación de hipótesis acerca de ellos.

4.2 Optimación

El proceso de optimación que se presenta en este trabajo está orientado a la aplicación más eficiente posible de los recursos económicos de que se disponga. Para ello, el criterio seleccionado para la optimación del diseño del cultivo consiste, según ya ha sido señalado, en llevar a un máximo el indicador tasa interna de rendimiento.

Clark (1976) menciona que en la literatura sobre el análisis costo - beneficio existe una amplia controversia para la selección entre los criterios de optimación del valor presente o la de la tasa interna de rendimiento sobre la inversión. Sin embargo, para el caso del manejo de una pesquería, presenta la situación en que pueden conciliarse ambos criterios considerando que durante la fase inicial de crecimiento de la explotación del recurso, el capital es un factor limitante y los ingresos que genera la explotación son reinvertidos en la propia industria. Posteriormente, durante la fase de rendimiento sostenido, el propio recurso natural es la principal limitante, la reinversión en la industria no resulta conveniente y por lo tanto los ingresos que se obtienen se aplican en la inversión que ofrece la tasa de interés más atractiva. Durante la fase de crecimiento, llevar al máximo de la TIR es la política óptima, mientras que llevar al del valor presente es la óptima durante la fase de rendimiento sostenido.

El problema de la aplicación óptima de recursos en un acuicultivo puede considerarse similar al del manejo de una pesquería. Es decir, es previsible la existencia de una fase de expansión del acuicultivo para, posteriormente, esta verse limitada por diversos factores.

Llevar al máximo el valor de la TSR como política óptima para la aplicación de recursos en el tipo de desarrollo de un ~~de~~ cultivo como el que aquí se propone, se considera apropiada considerando que el establecimiento de una función rentabilidad - escala de producción tiene como propósito el poder llegar a establecer una EP adecuada para el diseño de un proyecto de cultivo piloto o de preinversión, entendiéndose por éste "todo desarrollo que - a diferencia de un experimento -, necesariamente conduce, por simple escalado, a una decisión de inversión" (Negrete, 1980).

Parece natural, entonces, que en una primera aproximación, el diseño óptimo de un proyecto de preinversión este orientado a reinvertir eficientemente los recursos que genere en el escalamiento del propio proyecto de cultivo.

En este trabajo, el establecimiento de una relación TIR - EP (figura 23) refleja que el incremento en la rentabilidad disminuye progresivamente en la medida que la EP es mayor y que, aproximadamente a partir de una escala de 1.7 millones de "semillas", el cultivo puede ofrecer valores de la TIR positivos.

Este comportamiento se explica considerando el peso relativo que tienen los costos fijos respecto a los costos variables e ingresos a diferentes EP dentro de la estructura del flujo de fondos.

A bajas EP los costos fijos representan el componente más importante, en tanto que ~~en~~ escalas altas se tiende a reflejar la máxima TIR que puede obtenerse cuando el comportamiento económico del cultivo se explica fundamentalmente por la proporcionalidad constante que guardan entre sí los costos variables y los ingresos, los cuales dependen directamente de la EP.

Las curvas de los valores óptimos de las variables de control correspondientes a los diferentes valores de la TIR que se calculan para diferentes EP (figuras 24 y 25), muestran que, por abajo de 1.2 millones de "semillas" los valores de las variables son también bajos (40 %, o menos, del área utilizable para el manejo de la densidad y cinco meses, o menos, de cultivo); en tanto que por arriba de dicha escala crítica los valores muestran un cambio brusco hacia, valores altos (10 meses y 90% de área) permaneciendo constantes para las escalas superiores.

En este comportamiento general de los óptimos de las variables de control intervienen diversos factores. Por un lado y de acuerdo a lo que se ha mencionado, a escalas altas la rentabilidad del cultivo se explica fundamentalmente en términos de ingresos y costos variables. Aquí, la inversión más eficiente corresponde a tiempos de cosecha prolongados y densidades altas ya que, a pesar que, los rendimientos de producción y por tanto los ingresos brutos son menores que a tiempos breves y densidades bajas, la compensación que se tiene por la fuerte reducción en costos de equipo de cultivo y de apoyo y en general, de los costos variables

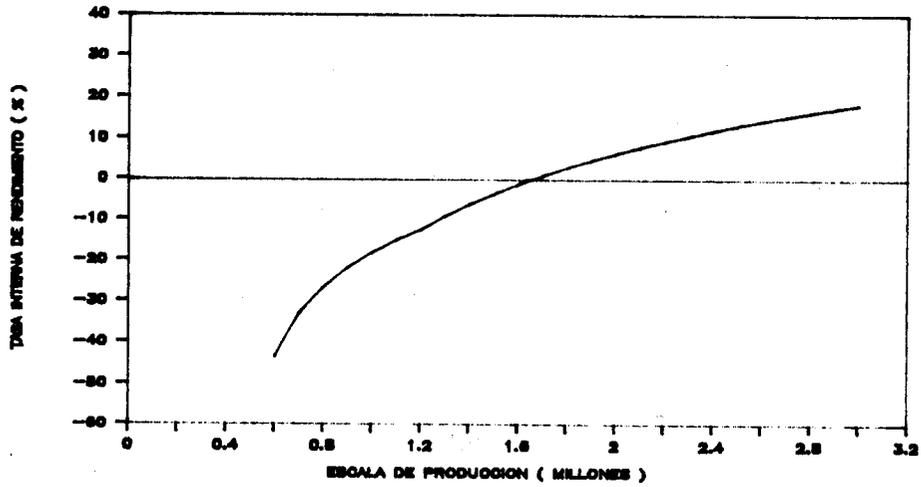


Figura 23. Relación TIR óptima - Escala de producción.

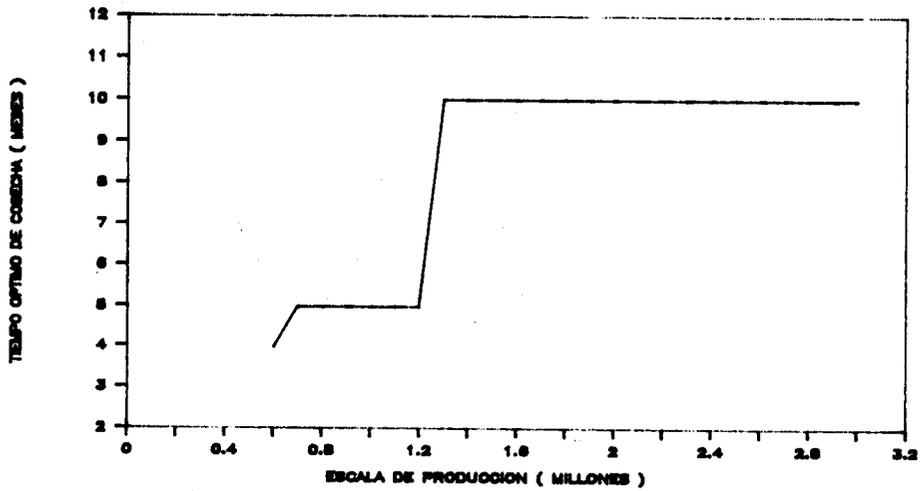


Figura 24. Relación Tiempo óptimo de cosecha - Escala de producción.

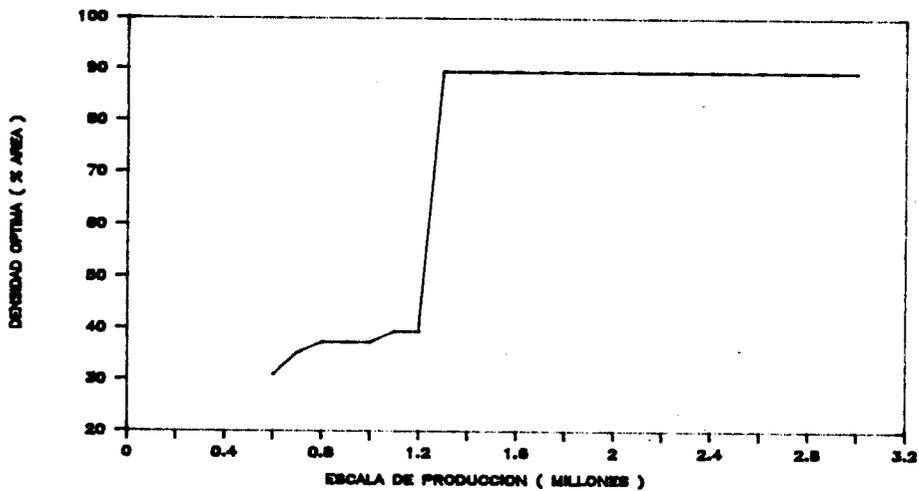


Figura 25. Relación Densidad óptima - Escala de producción.

requeridos, es suficientemente grande para hacer mas eficiente la inversion a dichos valores prolongados de tiempo y de densidades altas.

En contraste, la inversion a tiempos breves y densidades bajas es mas eficiente a las EP inferiores, debido a que la compensación por reducción de costos variables que se tienen a tiempos y densidades mayores, en este caso, no es lo suficientemente grande para absorber el elevado peso relativo que tienen los costos fijos, y si en cambio, a tiempos breves y densidades bajas el cultivo puede generar mayores ingresos brutos de manera que dichos costos fijos pueden ser absorbidos más rápidamente.

Por otro lado, en el cambio brusco de valores que presentan dichas variables a una EP critica, seguramente intervienen de manera determinante tanto el incremento en la mortalidad que sigue al primer desove como el efecto combinado de este con el de las densidades de cultivo intermedias, que ya ha sido apuntado con anterioridad.

El proceso de determinación de valores óptimos de la TIR y de las variables de control asociadas, ha sido descrito en la parte de la metodologia de este trabajo. De acuerdo con esto, las graficas de la figuras 23 a la 25, son el resultado de la exploración, para diferentes EP, de también todas las posibles combinaciones de valores de las variables de control distintas a aquellas asociadas a la TIR optima. Sin embargo, el comportamiento general que se presenta en los valores de la TIR en este proceso de búsqueda de su optimo puede ser mejor comprendido mediante el análisis de graficas de isocontornos y de superficies de respuesta de la TIR (figuras 26 a la 29).

Debe quedar suficientemente claro que la representación del comportamiento de la TIR con este tipo de graficas se basa en un método de aproximación, que utiliza un algoritmo de interpolación para visualizar un patrón de respuesta continua de la TIR a partir de los valores de esta calculados durante el proceso de búsqueda de su optimo. Sin embargo, no para todas las combinaciones de los valores de las variables de control empleadas en dicho proceso resultó posible encontrar soluciones de la TIR, lo que se refleja en que el algoritmo genere tanto discontinuidades como "pliegues" en regiones del campo de respuesta correspondientes (o cercanas) a aquellas en que no se observaron soluciones.

Para fines de análisis del comportamiento de la TIR se seleccionaron deliberadamente uno y tres millones de "semillas" como dos niveles de EP ejemplificativos de la forma en que el patrón de respuesta puede presentar modificaciones notables como resultado de su dependencia con respecto a ella. Los limites de los intervalos de las variables de control, se establecieron entre 4 y 12 meses y entre 16.6 y 91.6 6 97.9% del área utilizable, para el tiempo de cosecha y la densidad, respectivamente. El hecho de que no se hayan utilizado tiempos inferiores y densidades superiores obedecen a que, en ambos casos, en las regiones de

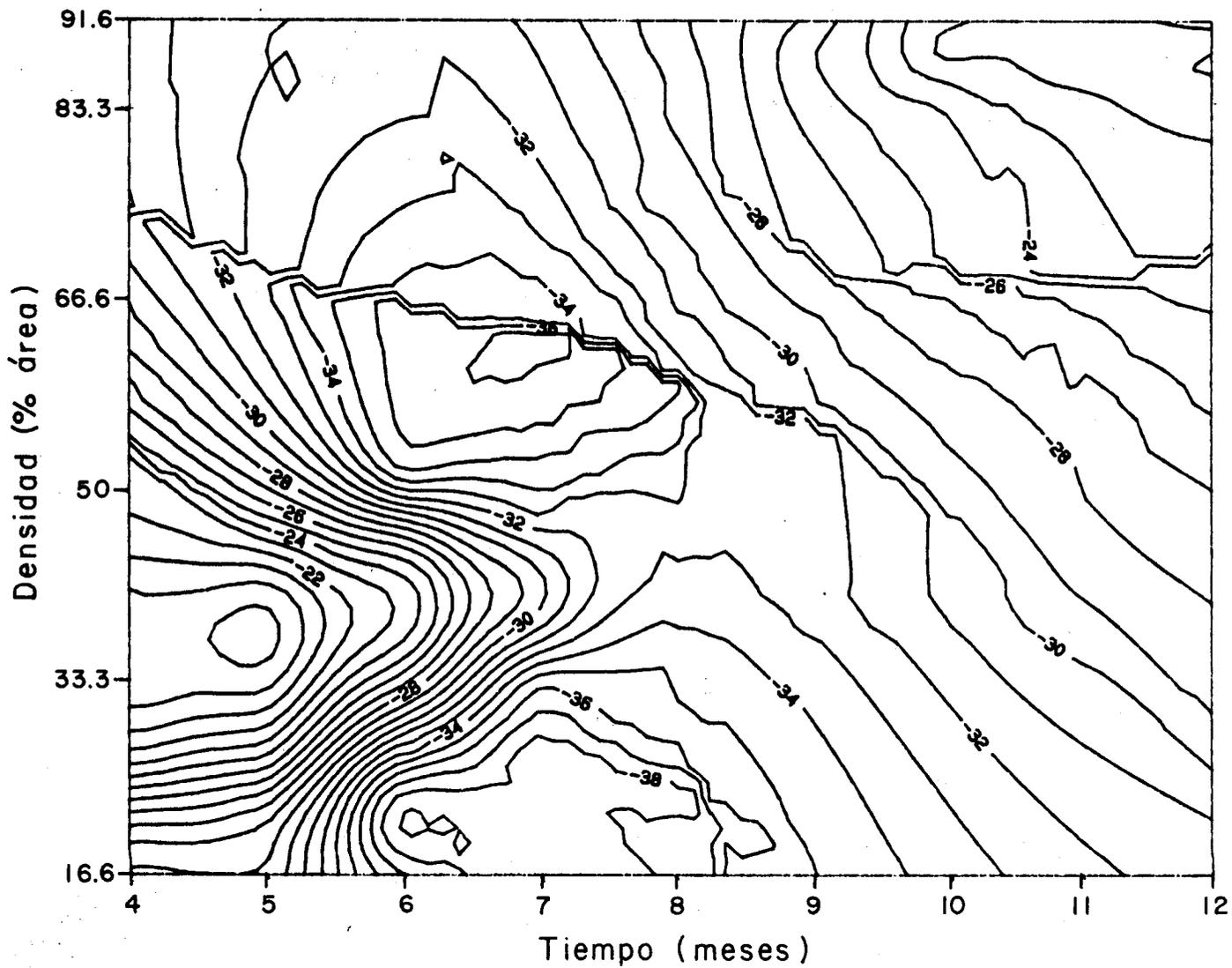


Figura 26. Gráfica de isocontornos de la TIR para una escala de 1.0 millones de "semillas".

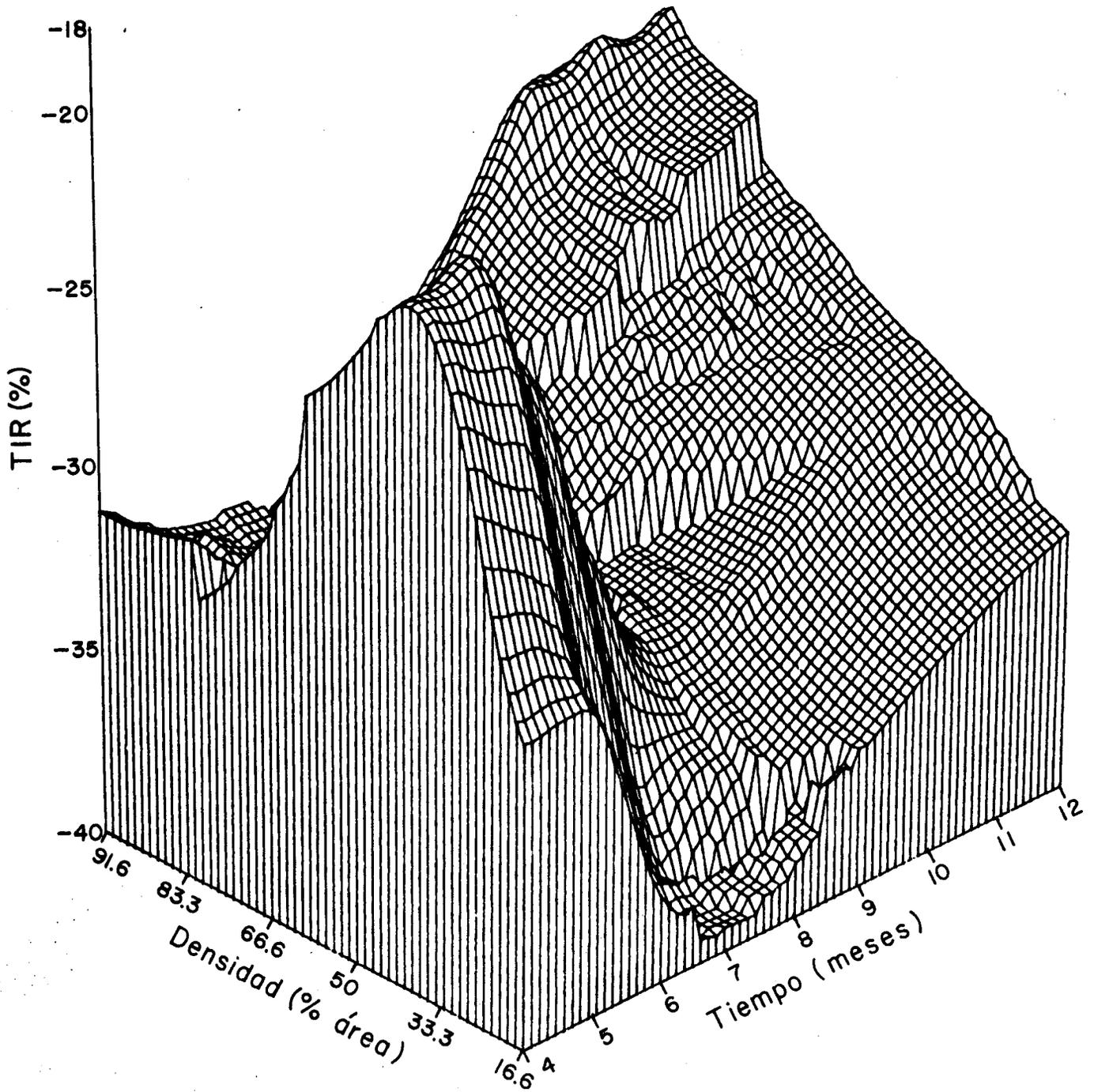


Figura 27. Superficie de respuesta de la TIR para una escala de 1.0 millones de "semillas".

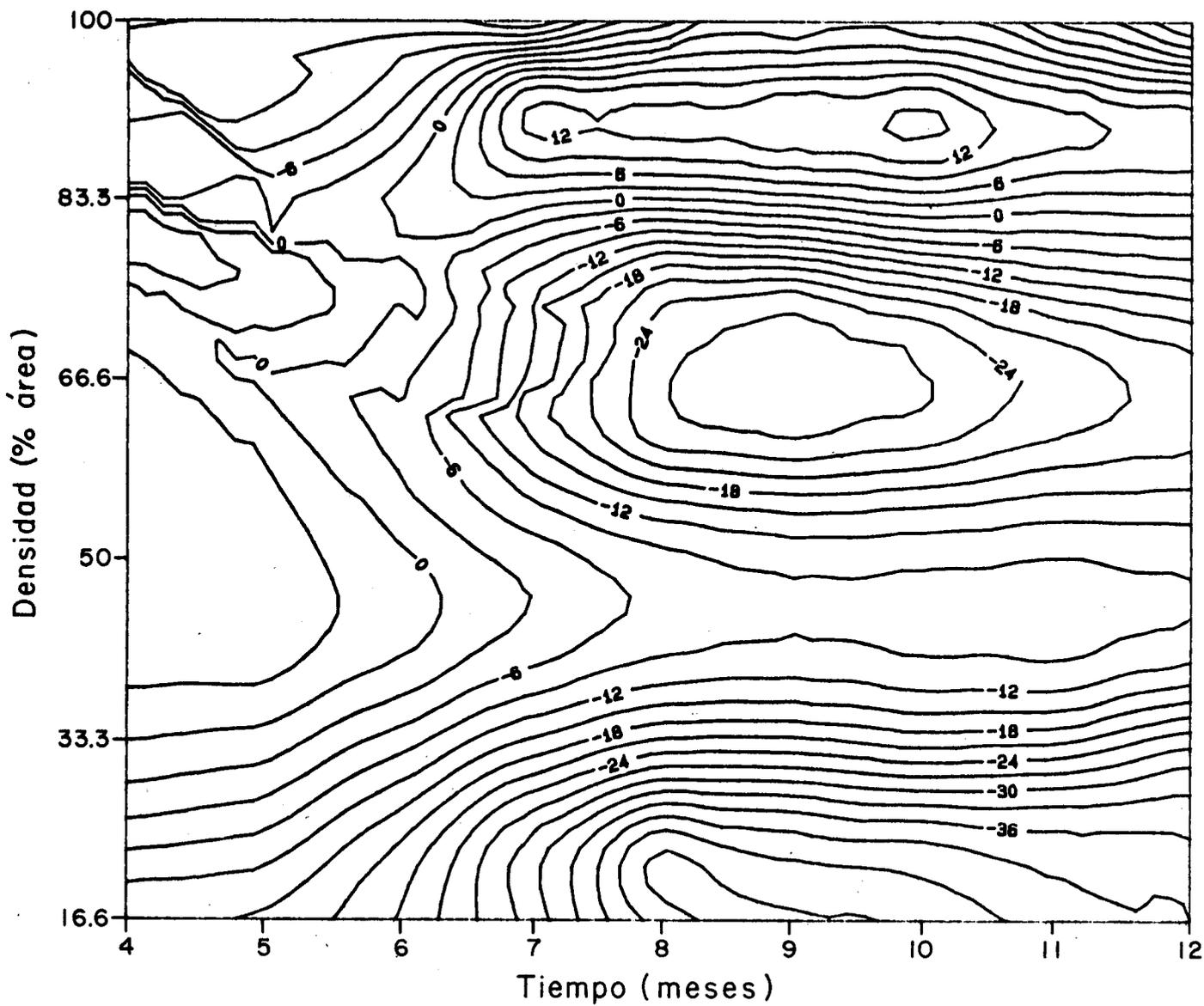


Figura 28. Gráfica de isocontornos de la TIR para una escala de 3.0 millones de "semillas".

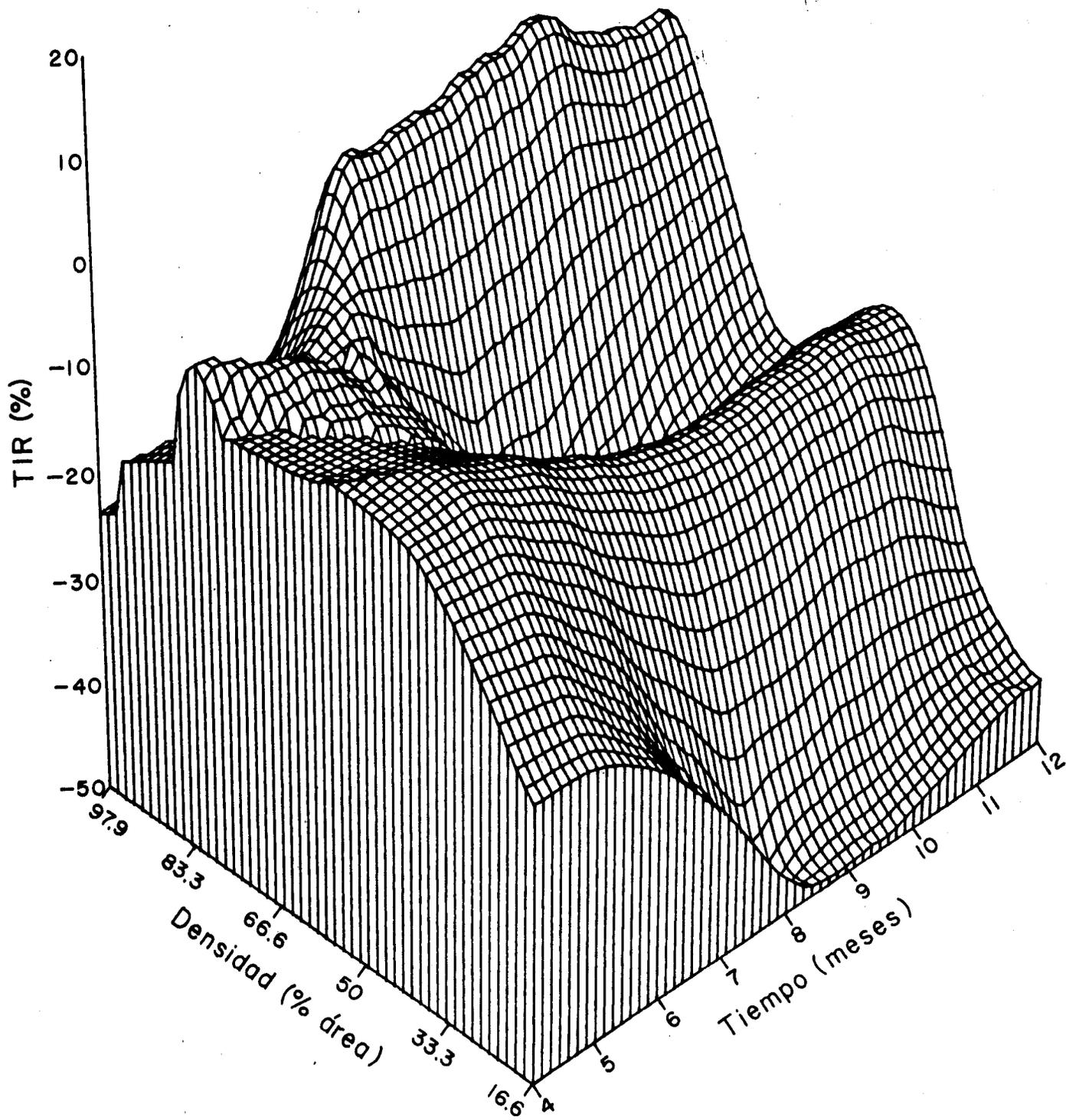


Figura 29. Superficie de respuesta de la TIR para una escala de 3.0 millones de "semillas".

respuesta correspondientes no se encontraron soluciones para la TIR, haciendo innecesario el proceso de interpolación.

Los principales aspectos a destacar de los resultados obtenidos con la optimización del diseño del cultivo que aquí interesa, pueden derivarse de la interpretación de los diagramas de isocontornos de la TIR y del comportamiento de su superficie de respuesta, así como de su comparación con los correspondientes a los de rendimientos en biomasa (figuras 21 y 22). De acuerdo con estos resultados es posible afirmar que:

i) Existe una tendencia a que los valores máximos de la TIR se presenten, o bien a densidades bajas y tiempos breves, o alternativamente, a densidades altas y tiempos prolongados (debe aclararse que el caso de los valores calculados para los meses cuarto al sexto a una densidad aproximada del 80 % en la escala de tres millones de "semillas", se debe a uno de los efectos de "pliegue" del algoritmo interpolador, según se constató a partir de los datos originales utilizados para la construcción de la gráfica;

ii) Estas regiones de la superficie de respuesta tienden a corresponderse con aquellas en las que se presentan los valores de rendimientos biológicos también mayores (figuras 21 y 22). Sin embargo, la superficie de respuesta de la TIR a un millón de "semillas" muestra amplias regiones en las que, a pesar de que los rendimientos biológicos pueden ser importantes, no lo son suficientemente como para que exista una solución en el cálculo de la TIR. Ello explica el hecho de que la forma de su superficie de respuesta a una EP de un millón discrepe más notoriamente, respecto a lo de los rendimientos en biomasa, que, la correspondiente a tres millones;

iii) La TIR máxima (óptima) se encuentra, en el caso de la escala de un millón de "semillas", a densidades bajas y tiempos breves; sin embargo, a la escala de tres millones ocurre a densidades altas y tiempos prolongados. Lo anterior es congruente con las gráficas de los valores óptimos de las variables de control frente al escalado (figuras 24 y 23) y se debe, según se mencionó previamente, al brusco cambio que se presenta en los valores de las variables de control que se observa en esas figuras, como consecuencia del incremento en el sinergismo de los efectos directo e indirecto de la densidad sobre la mortalidad;

iv) El repunte en los rendimientos de producción biológica después del primer desove tiene un reflejo en incrementos de valores de la TIR. A un millón de "semillas" esto no es tan evidente debido a las limitaciones señaladas del algoritmo interpolador. En contraste, a tres millones de "semillas" el efecto del repunte es particularmente claro entre las densidades del 33 al 50 %;

v) En ninguno de los casos el óptimo bioeconómico (la TIR máxima) se obtiene con aquel 106 valor de las variables de control que predicen el máximo rendimiento biológico. La excepción

a lo anterior solo tiende a aproximarse en la EP mas baja, lo que indica, en conjunto con las curvas de tendencia de los óptimos frente a la escala (figuras 24 y 25), que el control optimo del tiempo de cosecha y de la densidad, desde el punto de vista bioeconómico y el puramente biológico, sólo pudiera ser el mismo en condiciones extremadamente desfavorables para el cultivo (en términos de la TIR);

vi) A densidades alrededor del 66.6 % del área (D4 experimental) y entre los meses octavo y décimo aparece (particularmente claro a la EP más alta), que el cultivo enfrenta condiciones de operación fuertemente desfavorables. Se trata de una región de la superficie de respuesta de la TIR cercana al centro de la misma que tiene una implicación importante desde el punto de vista operativo (según se verá enseguida). Esta depresión en la superficie de respuesta de la TIR se explica, en términos de rendimientos de producción, por los efectos ya destacados que tiene sobre la mortalidad el desove y la combinación de su efecto con el de las densidades intermedias;

vii) La gráfica de isocontornos y la superficie de respuesta de la TIR constituyen instrumentos tiles para visualizar la sensibilidad de los valores de la TIR a cambios en los valores de las variables de control, de manera similar a la que el análisis de sensibilidad permite estimar el efecto de cambios en los parámetros del modelo (como se verá más adelante, en el subcapítulo correspondiente a la simulación). En el primer caso, la magnitud de los cambios en los valores de la pendiente de la superficie de respuesta son indicadores de la sensibilidad que la TIR presenta en un punto cualquiera de dicha superficie (definido por una combinación particular de valores de las variables de control);

viii) Entendida de esta manera, la sensibilidad de la TIR tiende siempre a ser importante en las regiones de la superficie de respuesta próximas a los puntos de operación óptimos, independientemente de la EP. Ello puede tener implicaciones importantes desde el punto de vista del diseño del cultivo y de la toma de decisiones, ya que puede juzgarse más conveniente operar el cultivo a tiempos y densidades subóptimos pero en los que una baja sensibilidad de la TIR represente mayor seguridad en la expectativa de sus valores ante eventuales inconsistencias de las respuestas de los parámetros biológicos a determinado manejo del tiempo de cosecha y de la densidad, o bien, ante la dificultad operativa que pudiera significar un estricto control de estas variables.

Sin embargo, el profundizar en el estudio de una alternativa como la antes señalada se fundamentaría, en todo caso, en la apreciación particular de un tomador de decisiones, por lo que en este trabajo la optimización del diseño del cultivo y la simulación subsecuente, se basa en el análisis de toda la superficie de respuesta de la TIR en la determinación de su óptimo - en sentido estricto -.

4.3 Simulación

El modelo bioeconómico que sirvió de instrumento básico en el desarrollo de este trabajo permite llevar a cabo, además del proceso de optimización del diseño del cultivo, la simulación de diferentes condiciones de su operación y conocer el posible comportamiento que presentaría el sistema en la realidad.

La utilidad de la optimización y de la simulación, sin embargo, ~~est~~ basada en procesos de distinta naturaleza. Para la primera de ellas se especifica el método exacto de evaluación de manera que el modelo indique los valores de las variables de control que permitan maximizar la TIR; en tanto que mediante la simulación, el modelo se utiliza para la búsqueda de mecanismos que permitan mejorar el desempeño económico del cultivo, aunque dicha mejora debe realizarse por fuera de la estructura misma del modelo. Con esto último, "el modelo se usa para determinar las consecuencias que pueden ser producidas en diferentes situaciones y la comparación de que tan satisfactorias son esas consecuencias se reservan a juicio del usuario" (Friedland, 1977).

No obstante lo anterior, debe quedar suficientemente claro que aunque las mejoras que puedan sugerir los resultados de una simulación deban lograrse por mecanismos externos al modelo, este se encuentra estructurado para que el valor de la TIR que se predice siempre sea el óptimo en términos de las variables de control que se han venido considerando, independientemente de la situación particular que se simule.

En la tabla 9 se presentan de forma resumida los resultados que arrojó el análisis de sensibilidad para 5 diferentes escalas de producción. En la primera y segunda columnas se enlistan los parámetros que se identificaron para el modelo del cultivo y sus respectivas claves y en seguida, para cada nivel de producción, se encuentran en columnas sucesivas el valor de la sensibilidad determinado como máximo cuando se calcularon los valores absolutos de S asociados a cambios de $\pm 5\%$ en el valor de cada parámetro; el signo del sentido en el cambio porcentual del parámetro que determinó una mayor sensibilidad y por último, los valores óptimos de las variables de control correspondientes a los puntos de operación de máxima sensibilidad. Para esta misma tabla, cabe aclarar que, a pesar de que la EP constituye la variable de escalado de la producción, se consideró conveniente incluirla en el análisis de sensibilidad como un parámetro (dado un cierto nivel de producción), en atención a la utilidad que ofrece este método de análisis, según se ha explicado en el capítulo 3.

En cada nivel de EP, esos resultados revelaron que, para modificaciones de $\pm 5\%$ en 10% valores de los parámetros que produjeron el mayor valor absoluto de la sensibilidad, los valores óptimos de las variables de control fueron consistentemente los mismos, tanto para los diferentes parámetros involucrados, como en relación a sus valores óptimos calculados para el punto de operación inicial del cultivo (figuras 24 y 25).

Tabla 9. Análisis de sensibilidad para variaciones de $\pm 5\%$ en los parámetros a diferentes escalas de producción.

PARAMETROS	CLAVE	ESCALA DE PRODUCCION (millones de "semillas")																			
		1.0				1.5				2.0				2.5				3.0			
		S	±	t	d	S	±	t	d	S	±	t	d	S	±	t	d	S	±	t	d
Escala de producción	EP	1.97	-	5	37.5	10.51	-	10	69.5	5.31	-	10	69.5	2.3	-	10	69.5	1.52	-	10	69.5
Corto unitario de "semilla"	CUS	0.077	-	5	37.5	0.602	-	10	09.5	0.319	-	19	69.5	0.197	t	10	69.5	0.153	t	10	99.5
Eficiencia de preparación del producto	KPP	0.055	-	5	37.5	0.273	+	10	69.5	0.156	-	10	63.5	0.075	-	10	69.5	0.995	-	10	69.5
Salario mínimo	SM	0.198	-	5	31.5	0.876	-	10	69.5	9.531	-	10	99.5	0.257	-	10	69.5	0.191	+	10	99.5
Coefficiente alométrico (factor)	a		-	5	37.5	14.35	-	10	69.5	9.25	-	10	69.5	4.05	-	10	99.5	2.98	-	10	99.5
Coefficiente alométrico (exponente)	b	291125	-	5	37.5	41.6	+	10	69.5	36.67	t	19	99.5	19.23	+	10	69.5	13.62	+	10	99.5
Area total del artefacto de cultivo	AA	0.993	-	5	31.5	3.39	-	10	69.5	2.72	-	19	69.5	1.65	-	19	69.5	1.39	-	10	99.5
Eficiencia de siembra y armado de lotes	ESA	0.033	-	5	31.5	0.109	t	10	69.5	0.031	-	10	69.5	0.03	-	10	69.5	0.021	-	10	99.5
Eficiencia de introducción de lotes	EIL	0.044	-	5	37.5	0.219	-	10	69.5	9.126	-	10	99.5	0.015	-	10	69.5	0.065	-	10	69.5
Eficiencia de extracción y limpieza de lotes	EEL	0.055	-	5	37.5	0.273	t	10	69.5	0.156	-	10	99.5	0.091	-	10	69.5	0.065	-	10	69.5
Eficiencia de desarmado de lotes	EDL	0.022	-	5	37.5	0.054	-	10	69.5	0.031	-	10	99.5	0.93	-	10	69.5	0.021	-	10	69.5
Talla comercial	TC	0.0	-	5	37.5	0.0	-	10	69.5	9.9	-	10	99.5	9.9	-	10	69.5	6.0	-	10	69.5
Precio comercial	PC	2.967	-	5	37.5	14.57	-	10	69.5	9.41	-	19	99.5	4.12	-	10	99.5	3.04	-	10	99.5
Costo unitario de equipo de apoyo al cultivo (plataformas y embarcaciones)	CUEA	0.022	+	5	37.5	0.219	-	10	69.5	0.126	-	10	69.5	0.015	t	10	69.5	0.054	t	10	69.5
Costo unitario de motores fuera de borda	CUMF	0.088	t	5	37.5	0.436	-	10	63.5	0.221	-	19	99.5	0.196	+	10	69.5	0.965	t	10	99.5
Costo unitario de equipo para suspensión ('parcelas')	CUES	0.463	-	5	37.5	1.42	-	10	99.5	1.91	-	10	69.5	0.622	+	10	69.5	0.514	t	10	99.5
Costo unitario de equipo cooperativo	CUEC	0.022	-	5	37.5	0.054	-	10	69.5	0.316	-	10	93.5	0.015	-	10	69.5	0.21	t	10	89.5
Salarios del personal de planta	SPP	1.202	+	5	31.5	5.97	-	10	89.5	2.61	-	10	99.5	1.16	+	10	69.5	9.144	+	10	99.5
Costos fijos de administración	CFA	0.297	t	5	37.5	1.41	-	10	99.5	0.696	-	10	99.5	0.266	+	10	69.5	0.186	+	10	89.5
Costo del vehículo	CV	0.264	-	5	37.5	1.91	-	10	19.5	1.1	-	10	99.5	0.5	+	10	69.5	0.35	+	10	99.5
Costo de las instalaciones de apoyo	CIA	0.022	-	5	31.5	0.219	+	10	99.5	18.93	-	10	99.5	0.106	+	10	99.5	0.076	t	10	89.5
Costo unitario de artefactos de cultivo	CUAC	0.242	-	5	31.5	1.26	-	10	99.5	1.2	-	10	89.5	0.773	+	10	69.5	0.7	-	10	69.5
Término independiente de la relación funcional para L	TIL	1.544	t	5	31.5	12.62	-	10	69.5	1.56	-	10	89.5	3.74	-	10	89.5	2.81	-	10	89.5
Término independiente de la relación funcional para K	TIC	0.959	-	5	37.5	1.56	-	10	69.5	0.474	t	10	99.5	0.516	+	10	69.5	0.613	+	10	99.5
Término independiente de la relación funcional para to	Tito	0.077	-	5	37.5	0.436	-	10	69.5	0.379	-	19	99.5	0.257	+	10	69.5	0.219	+	10	99.5
Término independiente de la relación funcional para L _∞	TIL _∞	6.46	-	5	37.5	33.91	-	10	89.5	18.06	-	10	93.5	8.25	-	10	99.5	5.77	-	10	89.5
Término independiente de la relación funcional para No	TINo	2.53	-	5	31.5	21.69	-	10	89.5	11.64	-	10	89.5	5.36	-	10	69.5	3.38	-	10	89.5
Término independiente de la relación funcional para S	TI?	0.11	-	5	37.5	0.767	+	10	69.5	0.443	-	10	89.5	0.221	-	10	69.5	0.175	-	10	89.5
Término independiente de la relación funcional para Z	TIZ	0.662	+	5	37.5	14.9	+	10	69.5	8.44	+	10	89.5	4.08	+	10	69.5	2.97	+	10	89.5
Término independiente para el ajuste del residual de C	TIC	0.033	-	5	37.5	0.109	t	10	69.5	0.031	-	10	89.5	0.915	-	10	69.5	0.01	-	10	99.5
Alteración de la distribución normal para C	A		-	5	37.5	0.164	+	10	\$3.5	0.063	+	10	63.5	0.015	-	10	69.5	0.01	-	10	99.5
Mediana de la distribución normal para C	M	0.011066	-	5	37.5	1.64	t	10	\$9.5	0.63	+	10	94.5	0.192	t	10	69.5	0.065	+	10	68.5
Desviación estándar de la distribución normal para C	s	0.022	-	5	37.5	0.363	-	10	99.5	0.158	-	10	89.5	0.045	+	10	99.5	0.021	-	10	89.5

A partir de los resultados del análisis de sensibilidad, se elaboró un arreglo de 106 parámetros por orden de importancia para las diferentes escalas de producción (tabla 10). En la última columna de esta tabla se incluye el puntaje total indicativo de la importancia general que presentan cada uno de ellos para todas las escalas consideradas. Dicho puntaje es el resultado de la suma de 106 rangos asignados a los parámetros en cada nivel de EP. En estos resultados, se utilizan las claves de los parámetros por razones de espacio.

Como es sabido, el análisis de variancia en un sentido de Kruskal - Wallis (1952) consiste, básicamente, en la ordenación por rango de las observaciones contenidas en la totalidad de una serie de grupos experimentales, y en la determinación de si las sumas de dichos rangos, calculadas para cada grupo por separado, mantienen entre sí una proporcionalidad acorde al tamaño de la muestra de cada grupo. Un resultado significativo de la prueba implica, por lo tanto, el rechazo de que la suma proporcional de 106 rangos sea la misma entre los diferentes grupos. En este trabajo, la aplicación de la prueba a cinco grupos de observaciones de la sensibilidad, correspondientes a otros tantos niveles de EP, demostró que, para variaciones de $\pm 5\%$ en los parámetros, dicha EP afectó significativamente 106 valores de sensibilidad (tabla 11).

En esta tabla, el rango promedio es un indicador de la sensibilidad que, comparativamente con el resto de los niveles de EP, exhibieron 10% parámetros dentro de cada uno de ellos. De la inspección de los valores del rango promedio resulta evidente que, independientemente de que se parta de la EP más alta o la más baja, existe una clara tendencia a que la sensibilidad se vea incrementada en la medida en que la EP se aproxima a la escala de 1.5 millones, misma que corresponde a aquella en la que la TIR que puede ofrecer el cultivo se encuentra más próxima a cero (figura 23). Por lo tanto, la tendencia a que la sensibilidad de la TIR sea mayor a escalas de producción para las que se le predice un valor absoluto menor, únicamente puede explicarse en el caso de que la magnitud de las modificaciones que se observan en sus valores, por efecto del cambio en los valores de los parámetros, tienda a ser similar en todos los niveles de EP analizados.

Estos resultados tienen implicaciones importantes desde el punto de vista de la toma de decisiones. Por un lado, son indicativos de que los mecanismos tendientes a mejorar el desempeño del cultivo pueden tener mayor impacto en dicha mejoría cuando se decide operar un cultivo piloto a una escala de producción que ofrezca un valor de TIR cercano a cero; pero por otro lado, a esta escala también se tienen aparejados los problemas de que el error relativo en la predicción del valor de la TIR correspondiente (derivada del error en la estimación de los parámetros del modelo) es comparativamente mayor, así como el de que la inconsistencia en el comportamiento del cultivo por variaciones aleatorias en los valores de los parámetros, implique un riesgo relativo mayor en la inversión.

Tabla 10. Arreglo de los parámetros por rangos de acuerdo al valor absoluto de la sensibilidad y diferentes escalas de producción.

ESCALA DE PRODUCCION (millones de "semillas")											
1.0		1.5		2.0		2.5		3.0			
RANGO CLAVE		RANGO CLAVE		RANGO CLAVE		RANGO CLAVE		RANGO CLAVE		TOTAL CLAVE	
33	b	33	b	33	b	33	b	33	b	165	b
32	TIL_∞	32	TIL_∞	32	TIL_∞	32	TIL_∞	32	TIL_∞	160	TIL_∞
31	PC	31	TIN₀	31	TIN₀	31	TIN₀	31	TIN₀	153	TIN₀
30	J	30	TIZ	30	TIZ	30	PC	30	PC	149	PC
28	TIN₀	28	PC	28	PC	28	TIZ	29	J	143	J
26	EP	20	J	26	J	26	J	20	TIZ	140	TIZ
21	TIL	21	TIL	27	TIL	21	TIL	21	TIL	135	TIL
26	SPP	26	EP	26	EP	26	EP	26	EP	132	EP
25	TIX	25	SPP	25	SPP	25	AA	25	AA	124	SPP
24	AA	24	AA	24	AA	24	SPP	24	SPP	122	AA
23	TIZ	23	CV	23	CUAC	23	CUAC	23	CUAC	106	CUAC
22	CUKS	22	H	22	CV	22	CUKS	22	TIK	106	TIK
21	CFA	21	TIK	21	CUKS	21	TIK	21	CUKS	105	CUKS
20	CV	20	CFA	20	CFA	20	CV	20	CV	105	CV
19	CUAC	18	CUKS	18	H	18	CFA	18	Tito	97	CFA
18	SH	18	CUAC	18	SH	17.5	SH	18	SH	89	SH
17	TIF	17	SI	17	TIK	11.5	Tito	17	CFA	81	TIS
16	CUNF	16	TIF	16	TIF	16	TIF	16	TIF	79	H
14.5	cus	15	CUS	14.5	CUS	15	cus	15	cus	79	Tito
14.5	Tito	13.5	CUNF	14.5	Tito	14	H	14	CIA	74	CDS
13	H	13.5	Tito	13	CUNF	12.5	CUNF	11	EPP	66	CUNF
11.5	EPP	12	6	12	CIA	12.5	CIA	11	EIL	54	IGL
11.5	EEL	10.5	EPP	10	EPP	11	EEL	11	EEL	52	EPP
10	EIL	80.5	EEL	10	EEL	9	EPP	11	CUNF	51.5	CIA
8.5	ESA	8	EIL	10	J	9	EIL	11	H	45.5	EIL
8.5	TIC		CUBA	7.5	EIL	9	CUBA	8	CUBA	39.5	DE
5	EDL	6	CIA	7.5	CUBA	7	s	5.5	ESA	37.5	CUBA
5	COSA'	6	A	6	A	5.5	ESA	5.5	EDL	27.5	ESA
5	CUKC	4.5	OSA	3.5	OSA	5.5	EDL	5.5	CUKC	22	TIC
5	CIA	4.5	TIC	3.5	EDL	3	CUKC	5.5	6	22	CUKC
	s	2.5	EDL	3.5	CUKC	3	TIC	2.5	TIC	22	EDL
2	A	2.5	CUKC	3.5	TIC	3	A	2.5	A	18.5	A
1	TC	1	TC	1	TC	1	TC	1	TC	5	TC

Tabla 11. Análisis de variancia en un sentido por el método de Kruskal - Wallis para la sensibilidad de los parámetros a diferentes escalas de producción.

Nivel: (escala de producción en millones)	Tamaño de muestra	Rango promedio
1.0	33	60.62
1.3	33	104.65
2.0	33	91.74
2.5	33	78.71
3.0	33	71.27

Estadístico de prueba = 13.14

P = 0.0106

Dentro de este tipo de consideraciones cabe destacar que, de acuerdo con los resultados de la tabla 9, el cultivo presenta una tendencia general a que el valor de la TIR que ofrece sea más sensible al mentido de la variación en los parámetros que, a priori, puede juzgarse deba afectar desfavorablemente al cultivo. En otras palabras, \neq excepción de decrementos en los valores de costos e incrementos en algunas eficiencias en los trabajos de cultivo a la EP de 1.5 millones (TIR cercana a cero), la mayoría de los parámetros son más sensibles en el sentido de perjudicar la TIR del cultivo, independientemente de la EP.

De ello puede concluirse que, también desde este punto de vista, los mecanismos tendientes a "mover" los parámetros en sentido de mejoría pudieran tener mayor impacto cuando se opera el cultivo a escalas de producción que ofrecen valores de TIR cercanos a cero. Para otras escalas, puede ser recomendable vigilar prioritariamente que los valores de los parámetros no adquieran valores perjudiciales, antes que el intentar mejorarlos.

Por otro lado, en la tabla 10 se puede observar que existe una tendencia a que tanto los parámetros más sensibles como los menos, tiendan a ser consistentemente los mismos, independientemente de la EP.

Para reforzar esta observación, se realizó el análisis de correlación por rangos de Spearman (1904) para los valores de sensibilidad calculados a los diferentes niveles de EP, obteniéndose, en todos los casos, altos valores de correlación positiva y bajos niveles de significancia ($P < 0.00009$), como era de esperarse de acuerdo a la tendencia general observada (tabla 12).

Tabla 12. Coeficientes de correlación de la sensibilidad para diferentes combinaciones de valores de escala de producción (en millones).

ESCALAS DE PRODUCCION	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1.0	1.0	0.94	0.93	0.95	0.95
1.5		1.0	0.98	0.96	0.93
2.0			1.0	0.98	0.95
2.5				1.0	0.98
3.0					1.0

Sobre la base de estos resultados y con el fin de determinar el efecto que tienen las modificaciones de $\pm 5\%$ en el valor de los parámetros sobre la relación TIR - EP, se seleccionaron algunos de éstos observados consistentemente como más importantes a nivel general dentro de las distintas EP analizadas. Los parámetros seleccionados fueron: TIL,, PC, TIZ, TIL, SPP y CUAC.

El efecto sobre la relación TIR - EP de otros parámetros importantes no fue contemplado, debido a las siguientes razones:

Los coeficientes alométricos (a y b) se consideraron parámetros "duros", es decir, que sus valores no pueden ser alterados fácilmente, según se desprende de la prueba de invariancia de sus valores ante un factor que, como la densidad de cultivo, generalmente influye de manera importante en los procesos de crecimiento de los organismos.

El término independiente de la relación funcional para No (TINo) no se consideró de interés adicional debido a que No es fundamentalmente un parámetro de ajuste en la ecuación de mortalidad.

La escala de producción (EP) también fue excluida debido a que la respuesta de la TIR a cambios en sus valores ya fue considerada en la discusión de los resultados tenidos en la relación TIR - EP, en la parte correspondiente al proceso de optimación.

Por último, se consideró conveniente excluir del análisis el área del artefacto de cultivo (AA) e incluir el costo unitario del mismo (CUAC), ya que este último se juzgó que en la práctica podría ser más fácilmente modificable que el primero.

Los resultados obtenidos con los **parámetros** seleccionados (figuras 30 a la 35), son consistentes con lo establecido anteriormente respecto a la sensibilidad general de los **parámetros** (tablas 9 y 10), en el sentido de que las curvas que se predicen para la relación TIR - EP correspondientes a modificaciones de $\pm 3\%$ en 10% valores de los parámetros seleccionados reflejan, claramente, la importancia relativa de cada uno de ellos.

Estas **gráficas** son particularmente útiles para la toma de decisiones, y a que puede establecerse, con suficiente **aproximación**, un intervalo de valores en la EP para el dimensionamiento de proyectos de cultivos en fase piloto; una vez que se haya establecido la política de la tasa de **interés** (la TIR) que se desea obtener con ellos.

Como sería deseable el mantener una flexibilidad adecuada para la **consideración** de una gama de diferentes condiciones de **operación** de los cultivos, el establecimiento de la dependencia que guarda la TIR con la EP bajo diferentes condiciones simuladas de operación, resulta un instrumento valioso para ese **propósito**, pues permite tener una **visión más** amplia de las posibilidades **económicas** del cultivo.

La utilidad de este tipo de **análisis** pretende ejemplificarse en las **gráficas**, considerando el caso **hipotético** en que la TIR deseada fuera del 10%. Dependiendo de las modificaciones en los valores de los **parámetros** como; **mejorías de carácter biológico** o tecnológico, variaciones aleatorias **benéficas** o perjudiciales (desde el punto de vista **económico**), o simplemente, **errores en sus modificaciones**, se puede tener una **aproximación** de la dimensiones requeridas por los proyectos de cultivo. contemplando la posibilidad de que este enfrente una gama de diferentes condiciones de **operación** (en este caso particular las simuladas como cambios de $\pm 5\%$ en los **parámetros** desde el punto de **operación** inicial).

Es claro **también** que la **simulación** de los efectos combinados de más de un **parámetro a la vez así** como, inclusive, el establecimiento de probabilidades de ocurrencia de ciertos eventos, seguramente ofrecería una panorama **más** completo sobre el cultivo. Sin embargo, en este trabajo se ha pretendido principalmente el hacer una **aproximación** al problema mediante el uso de este tipo de enfoque y **señalar las ventajas de su aplicación**.

Finalmente, un aspecto importante de destacar en estas **gráficas** consiste en que el cultivo que ha servido de ejemplo en este trabajo, permite destacar la importancia que tiene la forma de la **función** de la relación TIR - EP en cuanto a, precisamente, el establecimiento de escalas de **producción** rentables.

ES evidente que esta relación presenta un proceso de **saturación**, con valores de TIR aproximándose a un valor **asintótico** en la medida en que la EP es mayor. Si la TIR que se desea obtener

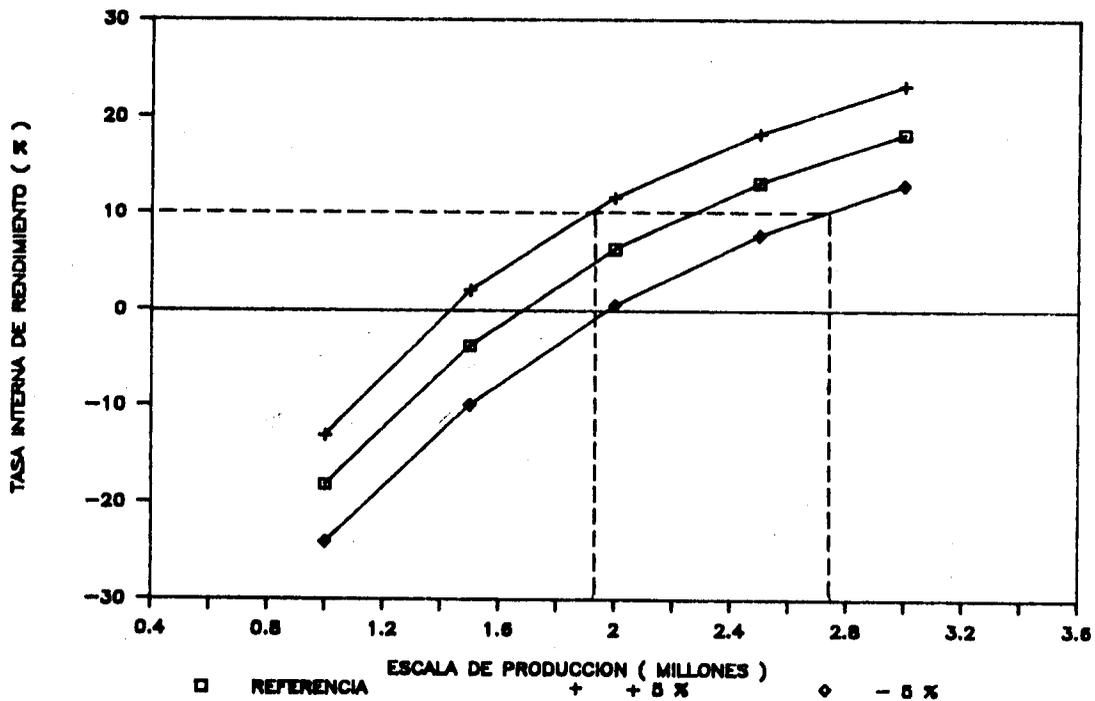


Figura 30. Relaciones TIR - Escala de producción para modificaciones de + 5 % en TIL .

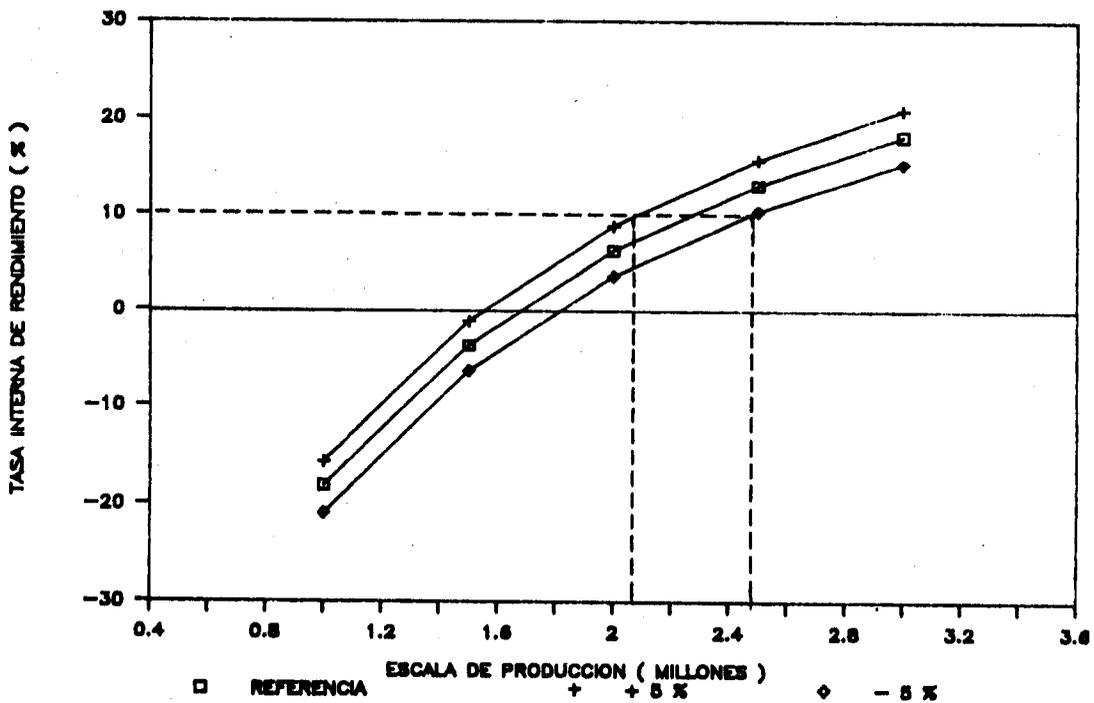


Figura 31. Relaciones TIR - Escala de producción para modificaciones de + 5 % en PC.

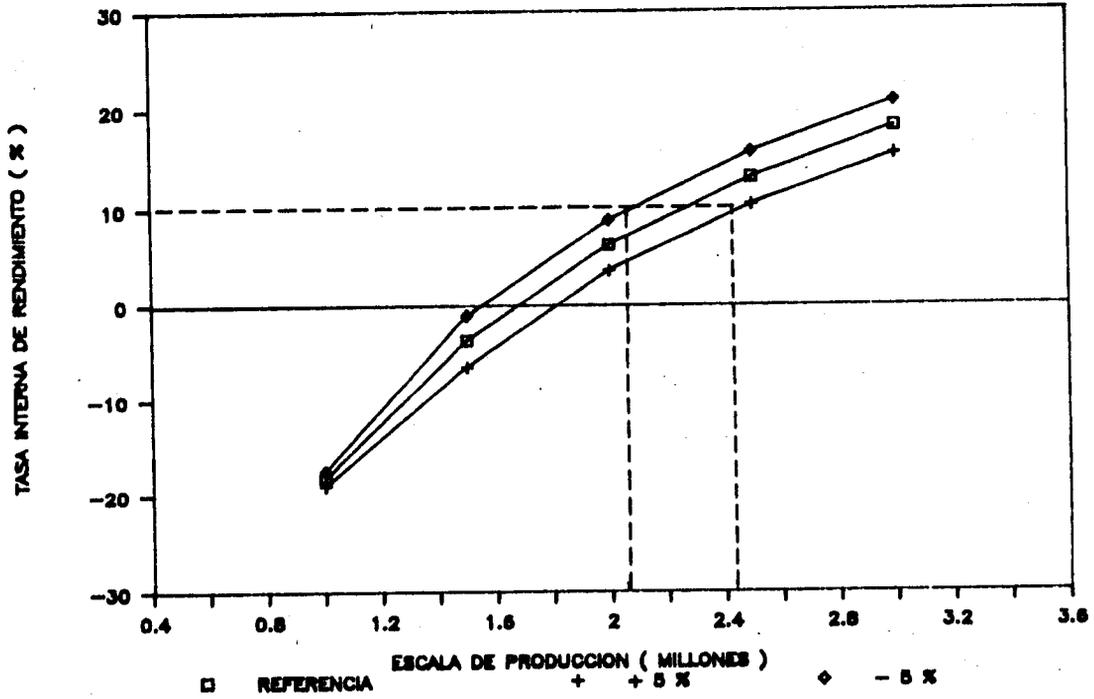


Figura 32. Relaciones TIR - Escala de producción para modificaciones de + 5 % en TIZ.

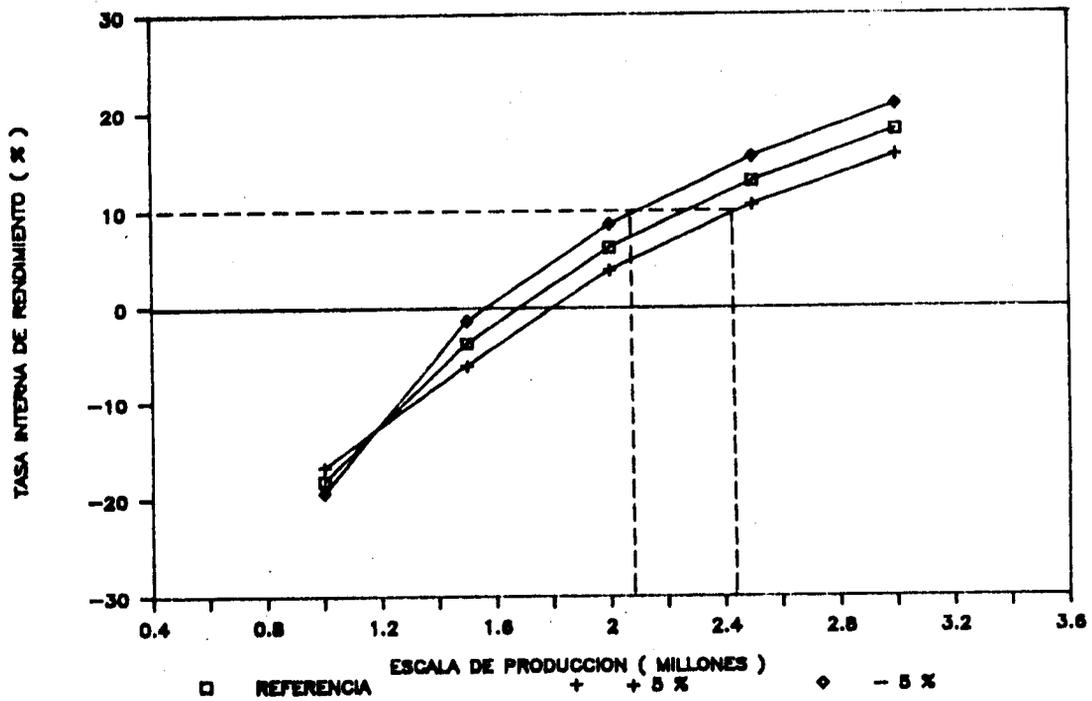


Figura 33. Relaciones TIR - Escala de producción para modificaciones de + 5 % en TIL.

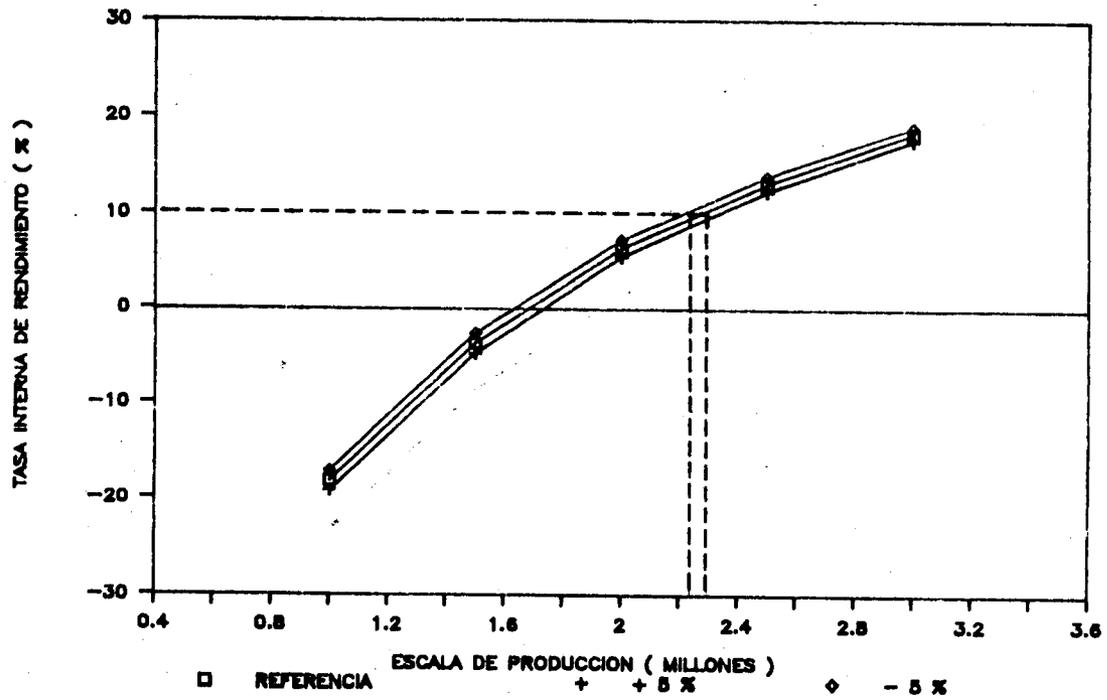


Figura 34. Relaciones TIR - Escala de producción para modificaciones de + 5 % en SPP.

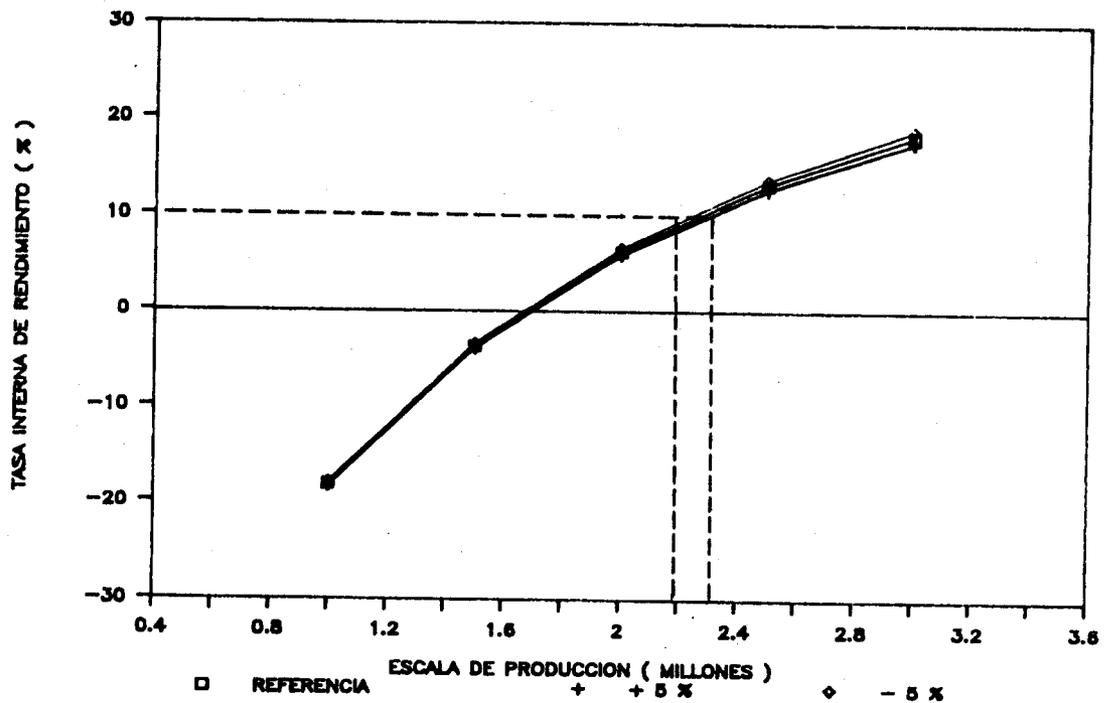


Figura 35. Relaciones TIR - Escala de producción para modificaciones de + 5 % en CUAC.

es cada vez más cercana a la máxima que se predice (a la mayor EP); la simple inspección de las gráficas revela con claridad que, el intervalo de valores de EP que se establezca para compensar las variaciones en los valores de los parámetros necesariamente debe ser más amplio que cualquier otro que hubiera de establecerse para una TIR menor. La decisión de inversión a EP altas, por tanto, deberá enfrentar el problema asociado a una mayor incertidumbre en la definición de la EP apropiada; siempre que, desde luego, la relación TIR - EP presente un comportamiento como el observado en el cultivo que ha servido de ejemplo.

Para finalizar la parte correspondiente a este subcapítulo, a continuación se considerará lo obtenido en el análisis de la respuesta de la TIR y de los valores óptimos de las variables de control a modificaciones diferentes al $\pm 5\%$ inicial en los parámetros seleccionados anteriormente como importantes.

Para este tipo de análisis se seleccionaron dos escalas de producción: 1.3 y 3.0 millones de "semillas". La primera de ellas se incluyó debido a que la sensibilidad de la TIR es mayor para las escalas en que el valor de TIR que se predice es cercano a cero y por el interés que representa analizar el comportamiento del cultivo cerca de los límites en que la inversión puede o no resultar productiva. La EP mayor fue considerada debido al interés particular que representa la operación del cultivo cuando se utiliza al máximo la capacidad de producción, teniendo presente la limitación que imponen los costos fijos proyectados.

Previamente a la presentación y discusión de estos resultados, dmbm hacmrsm una aclaración relativa a la selección de los parámetros importantes para la escala de 1.3 millones, así como del significado de la simulación mediante la modificación de los valores de los términos independientes de las relaciones funcionales propuestas para los parámetros del modelo biológico.

Si bien se ha señalado que existe una tendencia general a que los parámetros de mayor y menor importancia tiendan a ser consistentemente los mismos, también es cierto que en cada EP particular se presentan ciertas modificaciones en el orden de importancia que presentan los parámetros (tabla 10).

Atendiendo a esta particularidad, para la escala de 1.3 millones se incluyó en el análisis el parámetro M de la relación funcional propuesta para el parámetro C de la ecuación de mortalidad y el cual, como ya se ha señalado previamente, permite ubicar el nivel de densidad en que la combinación de los efectos directo e indirecto de la densidad producen una marcada precipitación en la curva de supervivencia de los organismos (como la presente en la densidad experimental 4). Se prefirió incluir este parámetro en vez del costo del vehículo (CV de la tabla 10) debido a la importancia que tiene en la superficie de respuesta de la TIR la combinación de dichos efectos, según se discute en la parte correspondiente a la optimización, y a que el costo del vehículo represento un concepto que difícilmente pudiera ser mejorado sin afectar fuertemente la vida útil del equipo.

El resto de los parametros seleccionados para esta escala y la de 3.0 millones correspondieron a los **parámetros** seleccionados en **párrafos** anteriores, de acuerdo a los criterios **también** discutidos ahí.

En lo que se refiere al significado de las modificaciones en los valores de los **términos** independientes de las relaciones funcionales propuestas entre los parametros del modelo **biológico** y La densidad, se mencionara que con ellas se simulan las situaciones en que la respuesta del **parámetro** en cuestión se ve afectada por igual (como incrementos o decrementos en sus valores) para todos los niveles de densidad. **Gráficamente**, lo anterior puede visualizarse **más** claramente imaginando que las alteraciones de $\pm 5\%$ en el valor de uno de dichos terminos, se representaría como dos curvas que, a la manera de bandas, se ubicaran alrededor de **la curva base de la relación** funcional propuesta para el **parámetro** y la cual **está** representada en alguna de las figuras **13** a la 20.

Es en este sentido que la simulacion en la **variación** en este **término** independiente tiene una **interpretación** directa, pues me **trataría**, en realidad, de la simulacion de modificaciones en los **parámetros** del modelo **biológico**, asumiendo que dicha **alteración** afecta por igual en todos los niveles de densidad (en lo sucesivo, se **usarán** indistintamente "parametro **biológico**" y "termino indspenlente de la **relación** funcional"). La simulacion con el resto de los coeficientes polinomiales no se llevo a cabo debido a que, siendo fundamentalmente **parámetros** de ajuste, la **interpretación** de los resultados que se obtuvieran carecerían de sentido practico.

Son de resaltar, sin embargo, las posibles ventajas que representaría el disponer de relaciones funcionales que incorporaran parametros con interpretaciones titiles para fines de **diseño** y manejo, lo que requeriria la **identificación** y **explicación** adicional de los procesos biologicos que determinan la respuesta de los **parámetros** a la densidad del cultivo (a la manera en que ello se ha intentado para el parametro **C**).

Una **vez** hechas todos estos comentarios y aclaraciones, se procederá **al análisis** de los resultados obtenidos con la **simulación** de modificaciones diferentes al $\pm 5\%$ en los paramteros seleccionados (figuras 36 y 37). De la **observación** de estas, se desprende que la respuesta de l'a TSR a dichas modificaciones es claramente mayor a la EP de 1.5 milones de "semillas" que a la de 3.0 millones.

Este resultado es congruente con lo obtenido en el **análisis** de variancia de la sensibilidad de la TIR para todos los niveles de **producción** y confirmativo de las consideraciones hechas en cuanto a la posibilidad de mejoría **económica** del cultivo y del riesgo de la **inversión**.

En estas figuras se observa que la forma y el arreglo de las

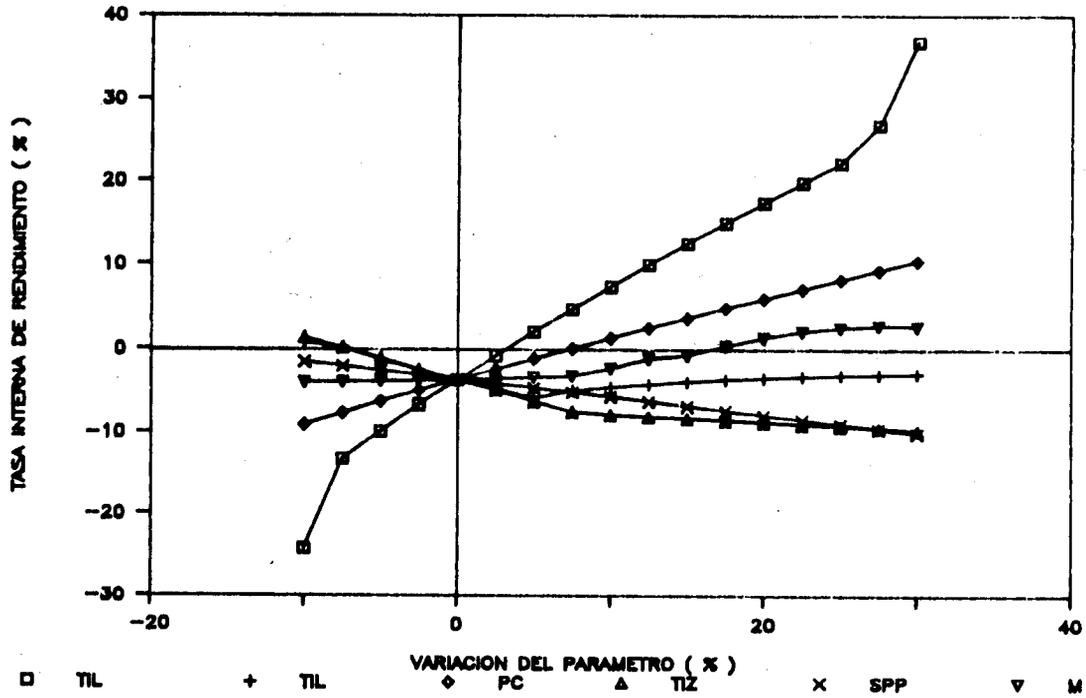


Figura 36. Respuesta de la TIR a variaciones en los valores de los parámetros. Escala de producción: 1.5 millones.

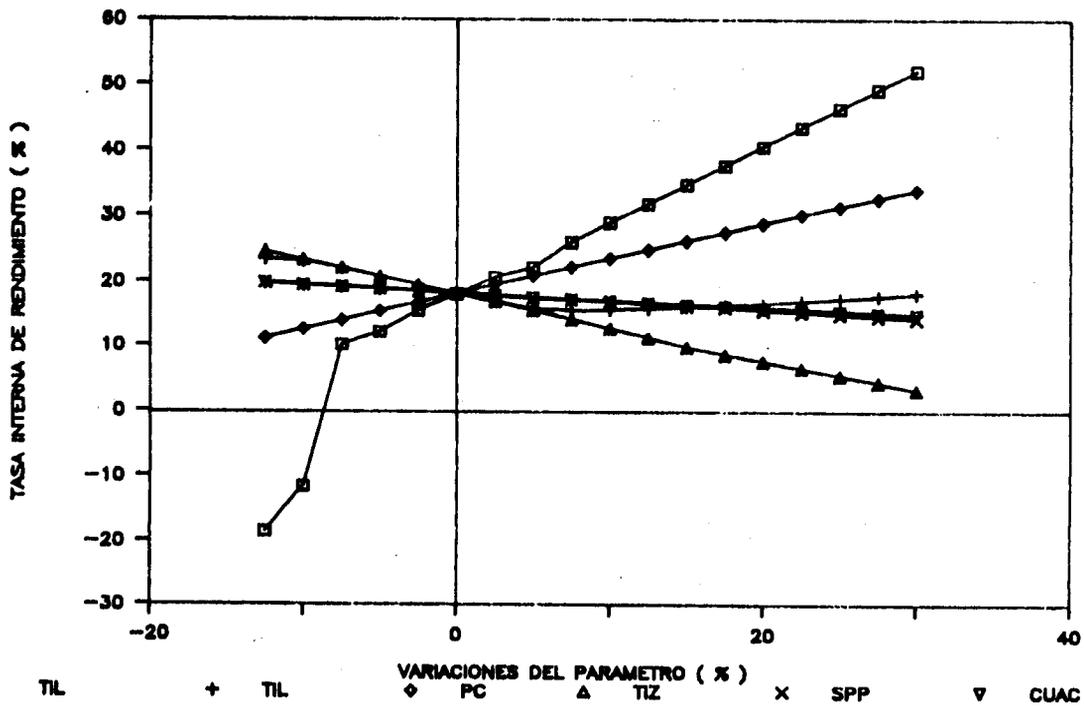


Figura 37. Respuesta de la TIR a variaciones en los valores de los parámetros. Escala de producción: 3.0 millones.

curvas de respuesta de la TIR a los diferentes **parámetros** indica que la dependencia de ella es aproximadamente lineal solo en el caso de los **económicos**. La importancia relativa que guardan entre sí los **parámetros** (dado un cierto porcentaje de **variación común** para todos), por lo tanto, tiende a depender **únicamente** de la influencia de los biológicos, indicando claramente el papel determinante que juegan estos en la **definición** del punto de operación en el cual se ubica el cultivo, así como la necesidad de analizarlos mas detalladamente a fin de disponer de mejores elementos para la toma de decisiones. Por estas razones y considerando, **además**, el hecho de que los valores **óptimos** de las variables de control no se ven afectados por los **parámetros económicos** (como se **verá más** adelante), la **discusión** de los resultados de **este** tipo de **simulación** se centrara fundamentalmente en los obtenidos con los biológicos.

Las inflexiones que se observan en las curvas de respuesta de la TIR a los **parámetros** biológicos **guardan relación** con los cambios en los valores **óptimos** de las variables de control (**figuras 38 a la 41**), los cuales solo se encontraron alterados por las simulaciones de los procesos biológicos (en estas figuras **únicamente** aparecen los resultados **tenidos** con los parámetros que produjeron modificaciones en dichos valores **óptimos**). Sin embargo, puede destacarse que, a pesar de que, los cambios en los valores **óptimos** pueden **ser** muy bruscos y amplios entre porcentajes de **variación** adyacentes, la forma de la curva de respuesta de la TIR no se ve alterada notablemente a los porcentajes correspondientes, indicando la capacidad del cultivo (en **términos** de diseño) de "adaptarse" a modificaciones en las condiciones de operación mediante un **reajuste** en los valores de las variables de control.

La **única excepción** a esta **situación** puede observarse para **TIL**, dado su incremento desde - 10 % . Se observa que, para ambas escalas de **producción**, los valores de TIR se alteran bruscamente **correspondiéndose** con el paso de densidades bajas y tiempos breves a densidades altas y tiempos prolongados (**figuras 36 a la 411**).

Esta fuerte **alteración** de la TIR se explica considerando que el incremento de **TIL**, mencionado hace posible que las tallas de 108 organismos obtenibles a densidades altas y tiempos prolongados **alcancen** la talla comercial por primera vez, en tanto que para valores iguales o inferiores a la **modificación** del -10%, las **tallas** comerciales **sólo** podrían obtenerse a bajas densidades. Se tiene en **este** caso un punto de operación crítico, en el que las condiciones óptimas de **operación** deben cambiar **rápidamente** hasta las que ofrecen mejores resultados cuando los valores de **TIL**, son iguales o cercanos al estimado inicialmente.

Para valores superiores de este **parámetro** y a una EP de 3.0 millones se aprecia que, aunque la densidad optima permanece constante, el cultivo obtiene una mayor ventaja al cosechar al quinto mer, debido a **alzar** altas tallas alcanzadas en ese momento y al ahorro de costos de mano de obra correspondientes (**figuras 39 y 411**).

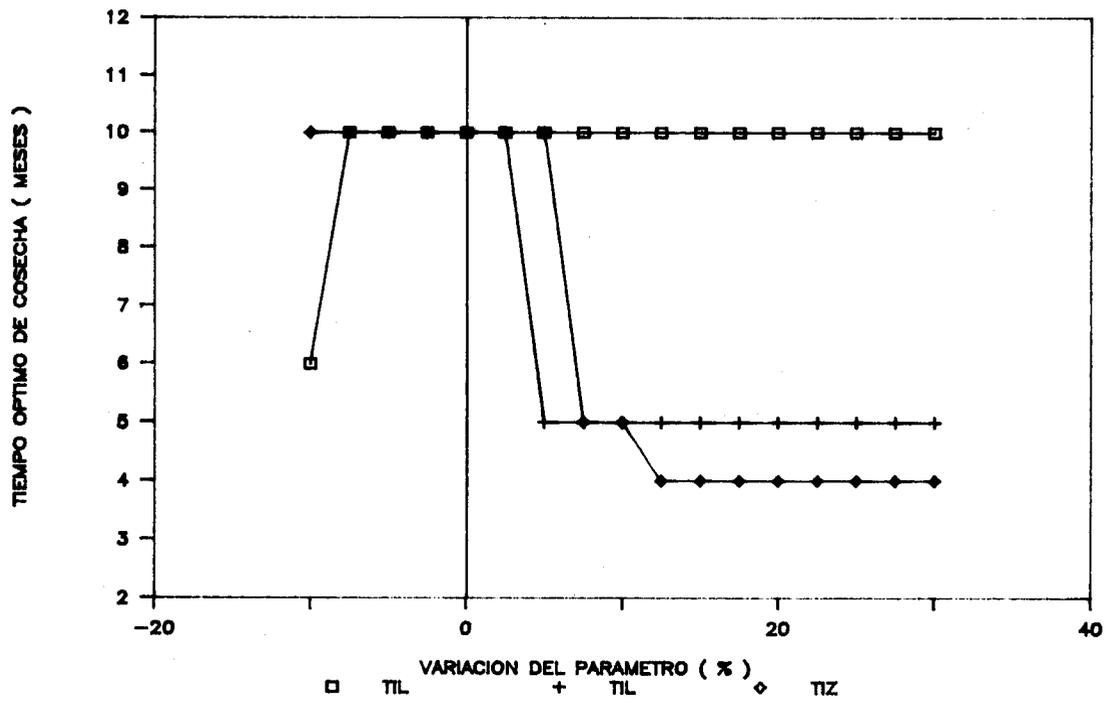


Figura 38. Tiempo óptimo de cosecha para variaciones en los valores de los parámetros. Escala de producción: 1.5 millones.

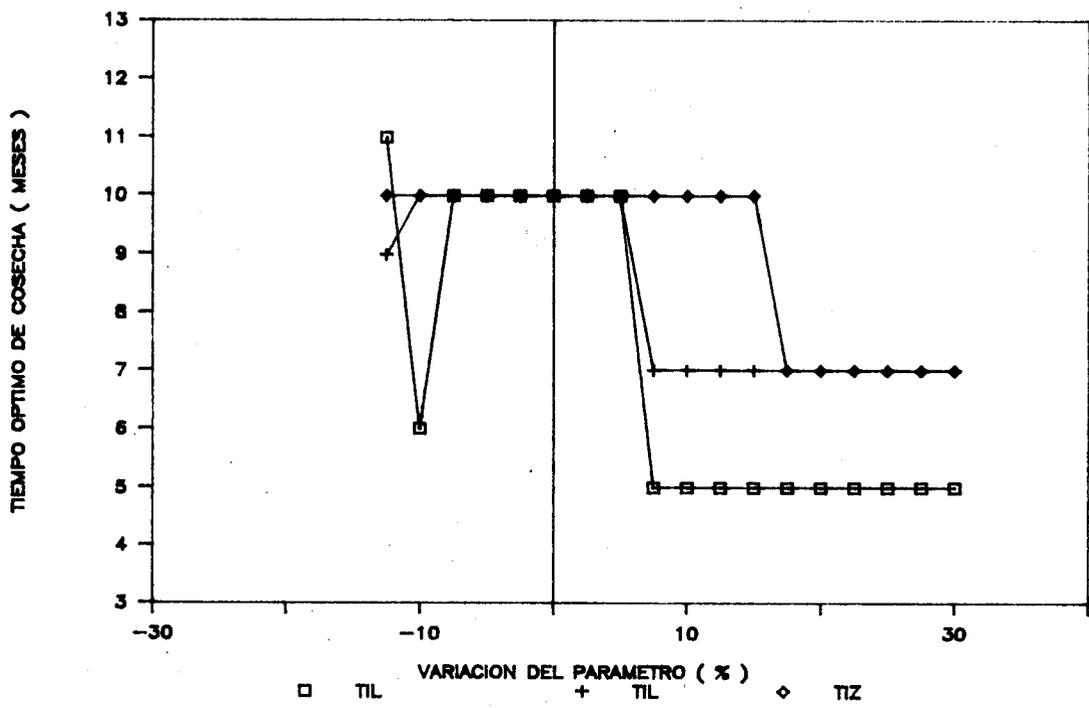


Figura 39. Tiempo óptimo de cosecha para variaciones en los valores de los parámetros. Escala de producción: 3.0 millones.

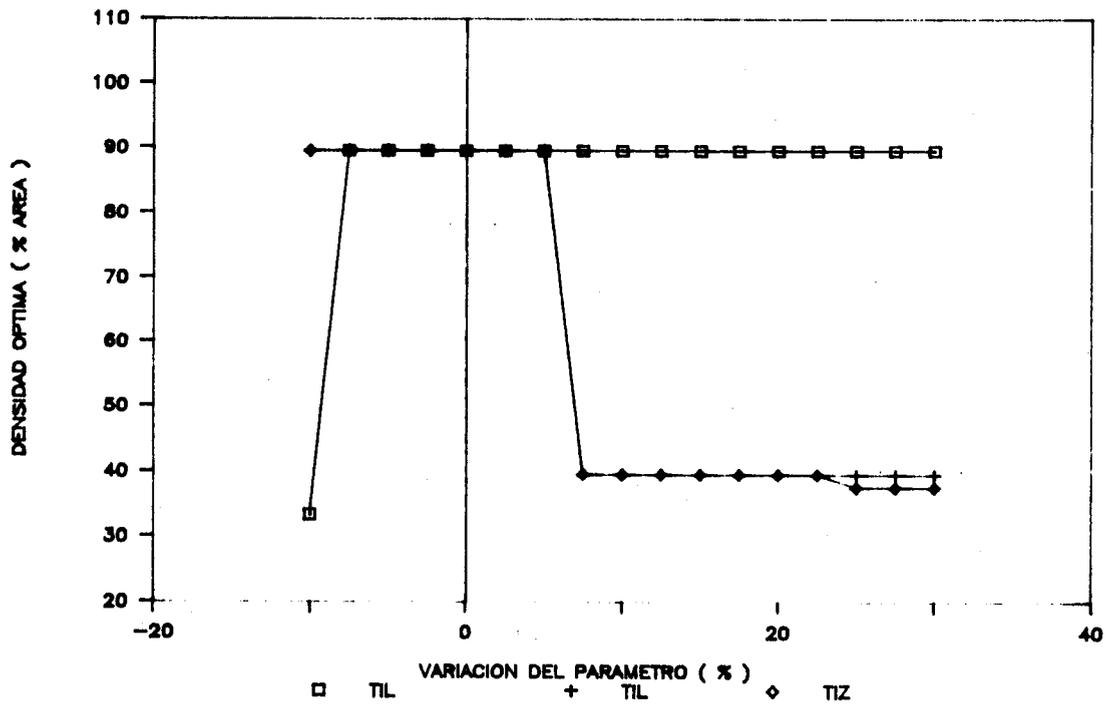


Figura 40. Densidad óptima para variaciones en los valores de los parámetros. Escala de producción: 1.5 millones.

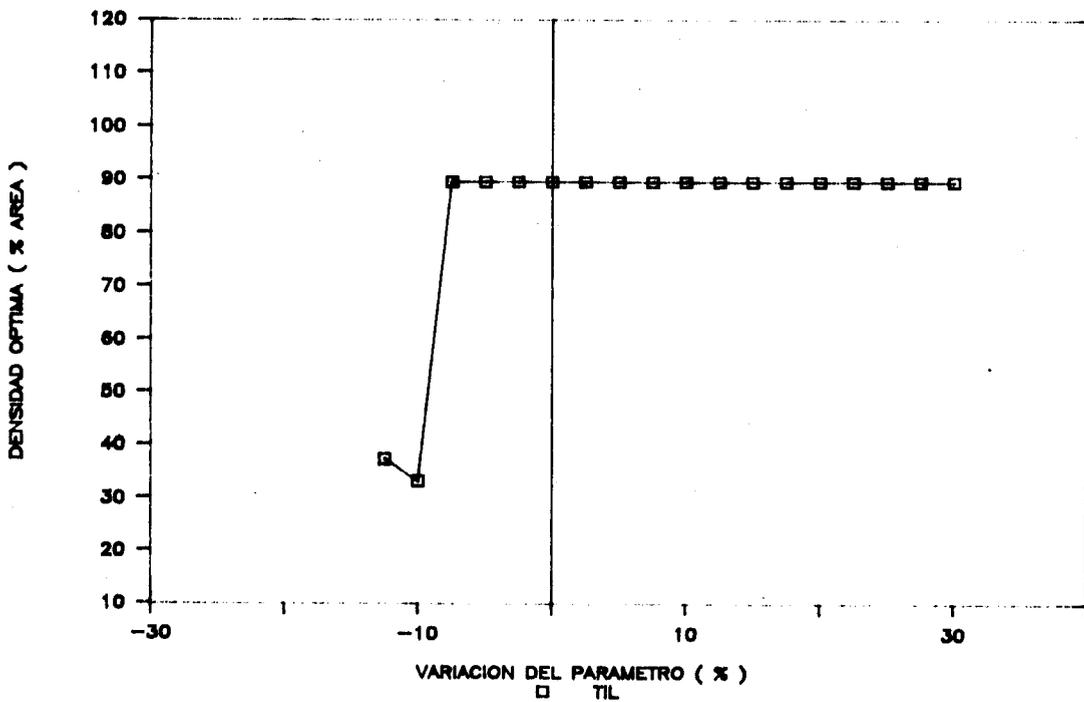


Figura 41. Densidad óptima para variaciones en los valores de los parámetros. Escala de producción: 3.0 millones.

Por otro lado, la explicación del brusco incremento en el tiempo óptimo de cosecha que se observa en la figura 39 para el valor de TIL inferior al -10% se encuentra en que, este valor, es suficientemente bajo para que el cultivo se obligue a esperar hasta el onceavo mes a fin de que los organismos alcancen tallas comerciales, a la vez que a "buscar" pequeños ahorros en costos al incrementar ligeramente la densidad de 33 a 37 % (figura 411).

Este también es un punto de operación crítico para el cultivo a 3.0 millones de "semillas", ya que a valores inferiores de TIL no se encuentra una solución para la TIR. A la escala de 1.5 millones esta misma situación se presenta para valores del parámetro inferiores al -10 %.

La importancia de este parámetro, y por lo tanto, de L, es evidente para el diseño del cultivo. En particular, cabe esperar que el desempeño económico de este sea mejor en otros sitios de cultivo, como algunos de los estudiados por Tripp (1985), y en los que los valores de L reportados en condiciones de cultivo son superiores a los estimados aquí para los diferentes niveles de densidad.

Por lo que respecta al comportamiento de la TIR y de las variables de control cuando se modifican algunos parámetros que intervienen en la descripción del proceso de mortalidad, puede destacarse lo siguiente:

El parámetro TIL produce un efecto especial en los valores de la TIR ya que, según se puede apreciar en las figuras 36 y 37, sus valores presentan incrementos y decrementos a lo largo del intervalo de modificaciones analizados para el parámetro.

Dado que los valores óptimos de densidad se encuentran dentro del intervalo en el que se predice su efecto indirecto sobre el proceso de mortalidad, el parámetro L en estos casos describe principalmente la dominancia o prevalencia, a lo largo del tiempo de cultivo, del efecto del desove en el patrón de mortalidad y, evidentemente, su valor depende de la frecuencia con que se presente el desove durante el cultivo.

El incremento en sus valores significa secuencialmente, una lenta aparición de dicho efecto, una prolongación de éste en el tiempo y por último, una lenta recuperación de la población posterior al desove (y por lo tanto de la recuperación de la estabilidad en el número de sobrevivientes). Sus decrementos, por otro lado, significan que la frecuencia del desove es mayor y por ello, que tanto las bruscas precipitaciones en la supervivencia como las posteriores estabilizaciones de estas sean más frecuentes y rápidas.

Observando los valores de las variables de control de las figuras 38 a la 41 se aprecia que cuando TIL se decrementa hasta un valor inferior al -10 %, únicamente en el caso del tiempo de cosecha a la escala de 3.0 millones se presenta una alteración.

Esto se debe a que, como la estabilización de la supervivencia después del primer desove se presenta cada vez más rápidamente, el posterior repunte en la biomasa a las densidades óptimas correspondiente y por tanto, los ingresos económicos asociados posibles de obtener, se presentan cada vez más tempranamente en el cultivo. Esto último, aunado a la posibilidad de disminuir el tiempo de cultivo y los costos de operación correspondientes resulta en que 106 valores de la TIR se incrementen en ambas EP (figuras 36 y 37).

A 1.5 millones, sin embargo, la anticipación en el repunte de la biomasa asociada a un decremento no inferior al 10 %, no es lo suficientemente grande para provocar el cambio a tiempo de cosecha menores, debido a que al décimo mes de cultivo óptimo inicial, la rapidez en la estabilización de la supervivencia permite que el número de organismos presentes se vea incrementado, manteniéndose como la condición óptima para el cultivo aún en esas condiciones.

Cuando TIL se incrementa, se observa primero un descenso y posteriormente un ascenso en los valores de la TIR en ambas EP (figuras 36 y 37). Cuando 106 incrementos de TIL son pequeños, el cultivo se ve desfavorecido por la prolongación del efecto de mortalidad secuencial al desove, obligándose a cambiar bruscamente de estrategia y cosechar en los primeros meses, antes de que ocurra el primer desove (figuras 38 y 39).

Cuando se prolonga aún más el efecto secuencial del desove, puede resultar también conveniente trabajar a densidades bajas (en el caso de la escala de 1.5 millones de la figura 401, ya que el cosechar a tiempos breves puede ser más ventajoso a esas densidades si lo que se pretende es disponer de mayores rendimientos biológicos (i. e. mayores ingresos) para compensar altos costos fijos (como es el caso del cultivo a la escala de 1.5 millones), según se explicó para el comportamiento de las variables de control frente al escalado de la producción en la parte correspondiente a la optimización. De hecho, esta es también la razón de que la simulación de las modificaciones en la relación TIR - EP de la figura 33, muestre una inversión en el arreglo de las curvas cuando se desciende desde una escala de producción de 1.2 hasta 0.8 millones, pues en esta última, resulta más beneficioso el incremento que el decremento de TIL, dado que los óptimos de las variables de control también corresponden a tiempos breves y densidades bajas (figuras 24 y 25).

Para 106 mayores incrementos de TIL se aprecia una ligera tendencia al ascenso del valor de la TIR debido a que se simula, cada vez, una mayor lentitud en la acción del efecto del desove, provocando que para los tiempos de cosecha y densidades establecidos, el número de organismos que logran sobrevivir sea cada vez superior.

Una explicación similar a la hecha para el comportamiento de la TIR y de las variables de control ante decrementos de TIC es la que pueda hacerse en el caso de las variaciones de TIZ.

Cuando la mortalidad general en el cultivo (descrita por Z) es mayor, el repunte en la biomasa después del primer desove no es tan importante, haciendo conveniente el cosechar a tiempos breves. Después, también resulta mejor pasar a densidades bajas por las razones ya aducidas en párrafos anteriores. Debe observarse, no obstante, que también en este caso el cambio a densidades bajas sólo se presenta a la escala de 1.5 millones debido al fuerte peso relativo de los costos fijos que se tiene a esta EP.

El ultimo de los parametros incluidos en este tipo de simulacion y que de alguna manera afecta el patrón de mortalidad es el parametro M, el cual se empleó inicialmente como un ubicador del nivel de densidad en que el efecto combinado del desove y la densidad produce una brusca precipitación en la supervivencia y un fuerte incremento en el valor del parametro C de la ecuación de mortalidad.

La modificacion de M produce que, hacia valores altos de él, el cultivo se vea beneficiado con incrementos de TIR (figura 36), pero sin afectar las variables de control. No obstante, debe quedar claro que la modificacion de M hacia valores altos no significa la simulacion en la que el máximo efecto combinado desove - densidad se despalce hacia niveles de densidad más altos que el estimado inicialmente. La simulacion de este fenómeno implicaría la modificacion simultanea de todos los parametros de la ecuación de mortalidad y no de solo uno a la vez.

El incremento en M Únicamente simula la situación en que mayores valores de c se presentan a densidades mas altas provocando con ello el que, sin afectar la mortalidad general observada experimentalmente en estas densidades, un brusco descenso en la supervivencia durante un periodo corto se vea compensado por otro prolongado con muy poca mortalidad (i.e. con mucha estabilidad en el numero de supervivientes).

Es debido a esta razón que, a pesar de que los valores de las variables de control no se vean afectados por los cambios en M, sí en cambio, a mayores valores de este, la TIR incrementa progresivamente. En otras palabras, al presentarse una prolongación en el periodo de estabilidad en la supervivencia, resulta también que, para el tiempo de cosecha óptimo establecido, el numero de organismos que logran sobrevivir hasta ese momento es cada vez mayor.

Por todo lo discutido en relación a la simulacion de diferentes comportamientos del proceso de mortalidad de 10% organismos en cultivo, es evidente que el manejo óptimo de este depende fuertemente de las condiciones de operación que definan dichos comportamientos. Ello lleva a concluir que, si bien las modificaciones que se producen en la TIR no son de tanta importancia como las observadas para cambios en otros parametros, lo cierto es que resulta así debido a la capacidad de "adaptación" del cultivo a las modificaciones impuestas a expensas de cambios drásticos en las variables de control.

De hecho, **prácticamente** no parece existir la posibilidad de que el cultivo que aquí se ha estudiado pueda responder optimamente a modificaciones en sus condiciones de **operación** mediante el cambio gradual de las **variables** de control. Esto, desde luego, implica una mayor incertidumbre en el diseño óptimo del cultivo y posteriormente, el enfrentar algunos problemas para la **optimación** de **sus** operaciones.

Las ventajas de tener mayores períodos de **estabilidad** en la Supervivencia (**antes y después** del **desove**) y la presencia del **desove** en períodos cortos (aún cuando el descenso en la supervivencia sea **brusco** y la mortalidad general siga siendo elevada), Sugieren claramente la conveniencia del uso de sitios para el cultivo en que el comportamiento de la supervivencia pueda ser altamente predecible, con **eventos** claramente definidos en el tiempo.

En forma paralela, las posibilidades de **atenuación** de los efectos de la densidad y del **desove así como de la combinación de ambos** puede **buscarse**, de igual manera que en el caso de la mejoría de los **parámetros** de crecimiento, en la **selección** de sitios para el cultivo **más** apropiados desde el punto de vista de los requerimientos biológicos de los organismos. El amortiguamiento de **las** fuertes variaciones en el **patrón** de mortalidad que cupiera esperar ocurriera en **esos sitios** constituye, indudablemente, una de las mejores alternativas para el mejoramiento del desempeño **económico** del cultivo.

La **simulación** con el modelo bioeconómico para el diseño del cultivo permite señalar aquellos aspectos que revisten mayor importancia para la toma de decisiones y el establecimiento de directrices para **investigaciones** posteriores. En ese sentido, puede apuntarse, en Síntesis, que:

i) Debido a la mayor **sensibilidad** de la TIR a EP cercanas a la cual se **predice** para la TIR un valor de cero, la incertidumbre de la **rentabilidad** del cultivo es mayor a dichas escalas, aunque, por otro lado, la mejoría en el diseño del cultivo (vía modificaciones apropiadas en los **valores** de los **parámetros**) es **más fácil** de llevarla a cabo. Para EP distintas a éstas, resulta más conveniente procurar que los **parámetros** no adquieran **valores desfavorables** para el **desempeño** del cultivo, **antes** que intentar modificarlos para mejorar el **diseño** de éste.

ii) La **definición** de una escala mínima rentable se dificulta en la medida en que la **tasa de interés** que se **desea** obtener sea cada vez mayor. Ello se debe a que, la incertidumbre asociada a variaciones en los **parámetros**, adquiere mayor importancia en la medida en que que la **tasa de interés** deseada se encuentre más cerca del punto de "**saturación**" observado en la **relación TIR - EP**.

iii) Los **parámetros** que afectan en forma predominante la TIR tienden a ser los mismos, independientemente del nivel de la EP. Entre ellos **destacan** los **parámetros** biológicos, cuyas variaciones

son las únicas que producen que los valores óptimos de las variables de control se vean modificados respecto a los correspondientes al punto de operación inicial del cultivo.

iv) La simulación de diferentes condiciones de operación indica que, a pesar de que los cambios correspondientes en los valores óptimos de las variables de control son drásticos, las alteraciones observadas en los valores de la TIR son muy pequeñas. Ello, es indicativo de una alta capacidad "adaptativa" del cultivo, pues su desempeño global se ve muy poco alterado a pesar de que se encuentre implicado un reajuste operativo considerable.

v) Las superficies de respuesta de la TIR, en función del tiempo y densidad de cultivo, tienden a ser altamente irregulares, independientemente de la EP. En su configuración y en la determinación de los valores óptimos de las variables de control, el proceso de mortalidad observado en las condiciones de cultivo juega, indudablemente, un papel determinante. Por esta razón, la selección de sitio que reúnan mejores condiciones ambientales para el cultivo de los organismos constituye una de las alternativas que ofrece mejores expectativas desde el punto de vista económico, pues cabe esperar que el efecto del proceso de mortalidad en la respuesta de la TIR se vea considerablemente atenuado, a la vez que se puedan obtener mejoras en los parámetros de crecimiento.

5. CONCLUSION

La conclusión más general e importante que puede hacerse en este trabajo es que, el enfoque metodológico empleado, a la vez que constituir una forma eficaz de abordar el problema representado por la optimización del diseño de un acuicultivo, ofrece una serie de ventajas adicionales para la toma de decisiones.

Lo anterior, obedece a las siguientes consideraciones:

i) La optimización del diseño de un acuicultivo implica una problemática compleja en la que intervienen factores biológicos, tecnológicos y económicos, y su solución es prácticamente imposible sin el auxilio de un modelo del cultivo desarrollado específicamente para el propósito;

ii) Alcanzar el objetivo (implícito en todo diseño) de expresar el estado de conocimiento que se tiene de las diferentes alternativas que ofrece el cultivo en un lenguaje accesible para un tomador de decisiones, sólo puede lograrse mediante la proposición de una medida de desempeño global del cultivo (la TIR en este caso);

iii) El disponer de un instrumento que permita analizar eficientemente la totalidad del campo de respuesta de ciertas variables del cultivo, cuando se consideran factores controlables, permite interpretar con mayor claridad su comportamiento general y ofrecer alternativas para su manejo que se establecen sobre la base de modelos y no, únicamente, sobre datos aislados;

iv) En este mismo sentido, la proposición de las relaciones parámetros biológicos - densidad hecha en este trabajo, es un caso ejemplificativo de la conveniencia de que, en la medida de lo posible, los diseños experimentales en acuicultura se encuentren orientados al establecimiento de relaciones funcionales (modelos), en vez de la simple comparación de resultados mediante, por ejemplo, un análisis de variancia. Allen et al. (1984) han hecho también énfasis particular en que el uso de este tipo de diseños experimentales es una condición deseable para la aplicación eficiente del análisis bioeconómico en la acuicultura;

v) La simulación de diferentes situaciones en las que puede operar un sistema de cultivo real, por otro lado, constituye un instrumento predictivo de gran utilidad para la toma de decisiones, ya que permite introducir un criterio objetivo, de mayor racionalidad, para la elección entre diferentes cursos de acción. La simulación permite detectar aquellos aspectos de mayor relevancia para el mejoramiento del cultivo al mismo tiempo que descartar, sin necesidad de su costosa experimentación en el sistema real, las que ofrezcan posibilidades menos interesantes.

Para concluir este trabajo, es imprescindible destacar también la ventaja del enfoque como instrumento de aprendizaje y trabajo sobre el cultivo.

Esta **afirmación** se sustenta sobre la base de la experiencia **que** adquiere un **diseñador** de este ultimo cuando pretende integrar, en la estructura de un modelo, toda la **información** relevante disponible acerca de el (aprendizaje), **y** se vale de dicho modelo para la **orientación** de **las** actividades futuras que hubieran de realizarse **a** fín de mejorarlo (trabajo). **Después**, al aprender lo **que este** ultimo le **enseña**, se le impone la necesidad de readecuar el diseño hasta un punto en el que el modelo del cultivo este en posibilidad de señalar **nuevas orientaciones**. El resultado de un ejercicio permanente de este tipo conduce, finalmente y de manera interesante, **a** que esta **conjugación** de los conceptos de **aprendizaje y** trabajo haga **su distinción** cada vez mas difícil, aunque **al mismo** tiempo, **también** menos necesaria e importante.

6. BIBLIOGRAFIA

- Adams, C.M., Griffin, W.L., Nichols, J.P. y Brich R.E.. 1980. **Application of a Bioeconomic Equeering Model for Shrimp Mariculture Systems.** Southern J. Agr. Econ. **12(1):** 135 - 141.
- Allen, P.G. y Johnston W.E.. 1976. **Research Direction and Economic Feasibility: an Example of Systems Analysis for Lobster Aquaculture.** Aquaculture **9:155-180.**
- Allen, P.G., Botsford, L.W., Schuur, A.M. y Johnston, W.E. 1984. **Bioeconomics of Aquaculture. Developments in Aquaculture and Fisheries Science,** 13. Elsevier Science Publishers. The Netherlands. **351 pp.**
- Anderson, L.G. 1977. **The Economics of Fisheries Managment.**The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London. 213 PP-
- Baqueiro, E., Peña, I. y Massó, J.A. 1981. **Análisis de una Población Sobreexplotada de Argopecten circularis (Sowerby, 1835) en la Ensenada de La Paz B.C.S., México.** Ciencia Pesq. Inst. Nal. Pesca. Departamento de Pesca. México, **I(2):** 57-45.
- Bertalanffy, L.V. 1968. **Teoría General de Sistemas.** Fondo de Cultura Economico, México. 311 pp.
- Botsford, L.W., Schuur, A.M., y Shleser, R. 1975. **An Economically Optimum Aquaculture Facility.** Proceedings World Mariculture Society **6:407-420.**
- Clark, C. 1974. **Mathematical Bioeconomics. The Optimal Management of Renewable Resources.** Wiley and Sons, New York. 352 pp.
- Coos, R. 1981 **Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión.** LIMUSA S.A. México. 349 pp.
- Draper, N. y Smith H. 1981. **Applied Regression Analysis.** 2nd Ed. John Wiley & Sons, New York. 648 pp.
- Félix, E., Morales, R., Cota, M., Singh, J. y J.L. Verdugo. 1980. **Cultivo Piloto de Almeja Catarina (Argopecten circularis) en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur.** 20. Simposio Latinoamericano de **Acuicultura.** Departamento de Pesca, México. Tomo 1: **829-842.**
- Friedland, E.I. 1977. **Values and Environmental Modeling. Ecosystems Modeling in Theory and Practice.** John Wiley & Sons, New York. **648 pp.**
- Forsythe, G.A., Malcom, M.A. y Moler C.B. 1977. **Computer Methods for Mathematical Computation.** Prentice - Hall, Inc. N.J.

259 pp.

- Griffin, W.L., Hanson, J.S., Erich, R.W. y Johns, M.A. 1981. Bioeconomic Modeling with Stochastic Elements in Shrimp Culture. *Journal World Mariculture Society* 12(1):94-103.
- Hanson, J.J., Griffin, W.L., Richardson, J.W. y Nixon, C.J. 1985. Economic Feasibility of Shrimp Farming in Texas: An Investment Analysis for Semi-intensive pond grow-out. *Journal World Mariculture Society* 16:129 - 150.
- Hatch, U., Sindelar, S., Rouse, D. y Pérez, t-l. 1987. Demonotrating the Use of Risk Programing for Aquaculture Farm Management: the Case of Penaeid Shrimp in Panamá. *Journal of the World Aquaculture Society*. Vol 18, No 4: 260 - 269.
- Hernández, A. 1985. Modelos Simulatorios para el Diseño de Cultivos Piloto - Comerciales. Memorias de la Conferencia Internacional; "Uso y Preservación de los Recursos Biológicos Marinos y de Zonas Aridas". La Paz B.C.S. México: 406 - 410.
- Hornbeck, R.W. 1975. Numerical Methods. Quantum Publishers, Inc. New York. 310 pp.
- Kruskall, W. y Wallis, W. 1953. Use of Ranks in One Criterion Analysis of Variance. *Journal of the American Statistical Association* 47 (1952), 583-621; errata, *ibidem*, 48 (1953), 907-911.
- Marquardt, D.W. 1963. An algorithm for Least Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics* 2:431-441.
- McNown, W. y Seireg, A. 1983. Computer Aided Optimum Design and Control of Staged Aquaculture Systems. *Journal World Mariculturs Society* 14:417-433.
- Milliken, G.A. y DeBruin R.L. 1978. A Procedure to Test Hypotheses for Nonlinear Models. *Commun. Statist. Theory Methods* A7, 65 -79.
- Milliken, G.A. y Johnson D.E. 1989. Analysis of Messy Data. Vol. 2. Nonreplicated Experiments. Van Nostrand Reinhold, New York. 199 pp.
- MINITAB II. 1978. Ryan, J. The Pennsylvania Statu University.
- Negrete, J. 1980. Análisis de Sensibilidad en la Producción Biológica. Ediciones del Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM. México. 77pp.
- Negrete, J. 1983. Biomatemáticas. En "La Biología Contemporánea; La Ciencia en el Siglo XX". Universidad Nacional Autónoma

de México. 222 pp.

Orth, D.J. 1980. Application of Operations Research and Systems Science in Aquaculture. Fisheries, 5:7-9.

Pardy, Ch.R., Griffin, W.L., Johns, M.A. y Lawrence A.L. 1983. A Preliminar-y Economic Analysis of Stocking Strategies for Penaeid Shrimp Culture. Journal of the World Mariculture Society. 14:49-63.

Rauch, H.E., Botsford, L.W. y Shleser, R.A. 1975. Economic Optimization of an Aquaculture Facility. IEEE Transactions on Automatic Control AC-20(3):310-319.

Ratkowsky, D.A. 1983. Nonlinear Regression Modeling. A Unified Practical Approach. Merce! Dekker, Inc. New York and Basel. 276 pp.

Rodríguez, M.C., Cáceres C. y Ruiz C.A. 1987. Resultados Preliminares de la Biología Reproductiva de Araoecten circularis (Sowerby, 1835) en la Ensenada de La Paz. B.C.S. durante el Periodo Septiembre de 1986 - Octubre de 1987. Memorias del Segundo Congreso de la AMAC, La Paz B.C.S. (en prensa).

Snedecor, G.W., y Cochran, W.G. 1980. Statistical Methods. The Iowa State University Press. Ames Iowa.

Sokal, R.R. y Rohlf, F.J. 1981. Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. 2nd. Ed. W.H. Freeman and Company. San Francisco. 854 pp.

Spearman, C. 1904. The Proof and Measurement of Association Between Two Things. American Journal of Psychology, 15: 72-101.

STATGRAPHICS. 1986. Statistical Graphics System, Statistitcal Graphical Corporation. Maryland USA.

Tripp, A. 1987. Aspectos Técnicos y Biológicos para el Cultivo de Araoecten circularis en Bahía Magdalena. Memorias del Simposio sobre Investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México: 155-161.

CIENCIAS MAQUINAS
I. P. N.
1987