

00381

21



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**Bases de Conocimiento y Sistemas
Expertos para el Manejo Acuícola del
Camarón Blanco del Pacífico (*Litopenaeus
vannamei*)**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)**

P R E S E N T A

ALFREDO HERNÁNDEZ LLAMAS

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. FELIPE DE JESÚS LARA ROSANO**

**CODIRECTOR DE TESIS:
DR. HUMBERTO VILLARREAL COLMENARES**

México, D.F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Se propone la construcción de bases de conocimiento y el desarrollo de sistemas expertos como alternativa metodológica para el manejo acuícola del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*). La aplicación de los principios de la ingeniería del conocimiento permitió el desarrollo e implementación de dos sistemas expertos, a saber:

TEMA, que constituye una referencia genérica sobre los principales aspectos relativos a la Tecnología y Manejo del cultivo considerando las modalidades semiintensiva, semiintensiva "alta" e Intensiva. El sistema asesora a sus usuarios a fin de modificar, confirmar o complementar sus conceptos sobre dichos aspectos. Se analiza lo relativo a la descripción de la tecnología para la producción, seguimiento y control de la calidad del agua, alimentación y fertilización, y sistemas de preengorda. La construcción de la base de conocimiento del sistema requirió de la incorporación de 433 reglas. El sistema emite conclusiones y sugerencias sobre todos y cada uno de los aspectos analizados y ofrece, mediante el uso de hipertexto, la posibilidad de presentar en pantalla información que permite sustentar y justificar sus apreciaciones. Se citan trabajos pertinentes referidos en la literatura, y se ofrece la posibilidad de presentar completas las referencias bibliográficas correspondientes. También

Knowledge base and expert system (ES) development is proposed as an alternative for culture management of white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Application of knowledge engineering methods allowed the construction of two expert systems:

TEMA is an ES providing a generic reference relating to TEchnological and MANAGEMENT aspects of shrimp *L. vannamei* farming practices. The software provides assistance to confirm, complement, or modify the information that users of the expert system have on semi-intensive and intensive technologies for grow-out, and management practices for controlling pond water quality, productivity, and feeding. Nursery techniques are also considered. Domain knowledge was represented using 433 rules. Hypertext protocol was employed to present information menus that include the justification of recommendations and conclusions, references from the literature, useful information regarding the specific topic analyzed, support for data entry, and on-screen or printed final reports summarizing the consultation.

CALEN is an ES assisting on water quality management of semi-intensive systems together with pond-side diagnostics of some *L. vannamei* diseases.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	xi
PREFACIO	xiii
RESUMEN	xv
1. INTRODUCCION	1
1.1 SISTEMAS EXPERTOS	7
1.1.1 Concepto de Sistema Experto	8
1.1.2 Representación del conocimiento	9
1.1.3 Adquisición del conocimiento	14
1.2 DESARROLLO BIOTECNOLOGICO DEL CULTIVO DE CAMARONES PENEIDOS	15
1.2.1 Criterios biológicos y ecológicos para el manejo de estanques acuícolas	19
1.2.2 Enfermedades y métodos de diagnóstico	20
2. OBJETIVOS	23
3. METODOLOGIA	25
3.1 Justificación de los sistemas y selección de problemas	25
3.2 Representación del conocimiento mediante reglas	25
3.3 Sistema TEMA	28
3.3.1 Dominio	28
3.3.2 Adquisición y representación del conocimiento	30
3.3.3 Verificación y validación del conocimiento	31
3.4 Sistema CALEN	31
3.4.1. Dominio	31
3.4.2 Adquisición y representación del conocimiento	32
3.4.3 Verificación y validación del conocimiento	33
4. RESULTADOS Y DISCUSION	35
4.1 Sistema TEMA	35
4.1.1 Representación intermedia del conocimiento	35
4.1.2 Representación final del conocimiento	51
4.1.3 Manejo de hipertexto	54
4.1.4 Ejecución de TEMA (ejemplos).....	56
4.1.5 Análisis y desempeño comparativos de TEMA	65
4.2 Sistema CALEN	66
4.2.1 Calidad del agua	66
4.2.1.1 Representación del conocimiento	69
4.2.1.2 Ejecución de CALEN (ejemplo de manejo de calidad del agua)	83
4.2.2 Diagnóstico y tratamiento de enfermedades	88
4.2.2.1 Representación del conocimiento	91
4.2.2.2 Ejecución de CALEN (ejemplo de diagnóstico de enfermedades)	98
4.2.3 Análisis y desempeño comparativos de CALEN	100
5. CONCLUSIONES	105
6. BIBLIOGRAFIA	107
APENDICE 1	117
APENDICE 2	137

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura genérica de un sistema experto	8
Figura 2. Ejemplo de terna Objeto-Atributo-Valor	10
Figura 3. Ejemplo de red semántica	10
Figura 4. Ejemplo de representación mediante marcos	11
Figura 5. Ejemplo de red neuronal	13
Figura 6. Diagrama de flujo de masa de un estanque para acuicultura	18
Figura 7. Concepto de interacción "huésped-patógeno-ambiente"	21
Figura 8. Diagrama "causa-efecto" para la representación intermedia del conocimiento y análisis de biotecnología de cultivo	35
Figura 9. Diagrama "causa-efecto" para la representación intermedia del conocimiento y análisis de la calidad del agua	41
Figura 10 Diagrama "causa-efecto" para la representación intermedia del conocimiento y análisis de la productividad del estanque	44
Figura 11. Diagrama "causa-efecto" para la representación intermedia del conocimiento y análisis de la alimentación balanceada suplementaria	47
Figura 12. Diagrama "causa-efecto" para la representación intermedia del conocimiento y análisis de la etapa de preengorda	50
Figura 13. Ejemplo de edición de reglas como representación final del conocimiento en TEMA	52
Figura 14. Ejemplo de reglas encadenadas hacia atrás para el análisis de la aireación	53
Figura 15. Secuencia gráfica descriptiva de los principales despliegues en pantallas ofrecidos por TEMA	54
Figura 16. Secuencia gráfica descriptiva de los principales despliegues en pantallas ofrecidos por TEMA	55
Figura 17. Ejemplos de pantallas introductorias al inicio de una consulta a TEMA	58
Figura 18. Pantallas para el ingreso de datos mediante respuestas a cuestionarios	59

INDICE DE FIGURAS (CONTINÚA)

Figura 19. Ejemplo de asistencia ofrecida por TEMA. El sistema informa su conclusión sobre la respuesta formulada por el usuario acerca de rendimientos semiintensivos	60
Figura 20. Ejemplo de asistencia ofrecida por TEMA	62
Figura 21. Ejemplo de navegación tipo "red"	63
Figura 22. Reporte final sobre los resultados de la consulta	64
Figura 23. Arbol de decisión para establecer el nivel de la productividad a partir de la profundidad del disco de Secchi	69
Figura 24. Arbol de decisión para la identificación de un nivel de productividad primaria normal	71
Figura 25. Arbol de decisión para la identificación de un nivel de productividad primaria alto	72
Figura 26. Arbol de decisión para la identificación de un nivel de productividad primaria bajo	73
Figura 27. Arbol de decisión para el análisis de factores complementarios y recomendaciones para el manejo de la calidad del agua	75
Figura 28. Arbol de decisión propuesto por France Aquaculture (1988) para el manejo de la calidad del agua	82
Figura 29. Ejemplo de edición de reglas en CALEN para el manejo de la calidad del agua	83
Figura 30. Pantallas introductorias al inicio de la consulta a CALEN	84
Figura 31. Sección inicial de la consulta a CALEN	85
Figura 32. Sección de la consulta en que, a partir de valores de algunos parámetros (a, b), se confirma el nivel de alta productividad (c)	86
Figura 33. Pantallas correspondientes a la parte final de la consulta	87
Figura 34. Arbol de decisión para el análisis de grupos de signos e identificación de enfermedades	92
Figura 35. Signos asociados a la carencia de ácido ascórbico (vitamina C)	93
Figura 36. Signos asociados a la carencia de microsporidiosis	93

INDICE DE FIGURAS (CONTINÚA)

Figura 37. Signos asociados a vibriosis	94
Figura 38. Signos asociados a virosis	96
Figura 39. Ejemplo de edición de reglas en CALEN para el diagnóstico de enfermedades	99
Figura.40. Ejemplo de consulta a CALEN para el diagnostico de vibriosis	99
Figura 41. La posición de las manchas (a), es determinante para discernir entre posible vibriosis y avitaminois (b)	101
Figura 42. Ejemplo de ayuda ofrecida al usuario para el tratamiento de vibriosis ...	102

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de conocimiento "profundo" y valores aceptables y MRR de los factores analizados por TEMA para identificar la tecnología de cultivo	37
Tabla 2. Fuentes de conocimiento "profundo" y valores aceptables y MRR de los factores considerados por TEMA para el análisis del manejo de la calidad del agua ..	42
Tabla 3. Fuentes de conocimiento "profundo" y valores aceptables y MRR de los factores considerados por TEMA para el análisis de la productividad	45
Tabla 4. Fuentes de conocimiento "profundo" y valores aceptables y MRR de los factores considerados por TEMA para el análisis de la alimentación balanceada	47
Tabla 5. Fuentes de conocimiento "profundo" y valores aceptables y MRR de los factores analizados por TEMA para el análisis de la etapa de preengorda	51
Tabla 6. Relación entre niveles de productividad primaria y valores de parámetros de calidad del agua	68
Tabla 7. Significado de las abreviaturas correspondientes a las distintas conclusiones que realiza CALEN	74
Tabla 8. Significado de las abreviaturas utilizadas en la Figura 27 para el manejo de la calidad del agua	76
Tabla 9. Recomendaciones establecidas por Clifford (1992) para el ajuste en la tasa de alimentación	80

AGRADECIMIENTOS

Debo un reconocimiento especial al Dr. Felipe Lara y al Dr. Humberto Villarreal, director y codirector de tesis, así como a la Dra. Guadalupe de la Lanza, integrante del comité tutorial, por sus valiosas orientaciones y asesorías, sin las cuales no hubiera podido llevar a término el presente trabajo. Agradezco a ellos, por todo lo que valen, su excelente disposición, paciencia y confianza.

Agradezco al Biólogo Marcos Quiñónes la aportación de su valiosa experiencia y crítica para la integración de una parte de las bases de conocimiento. Para ambos, el ejercicio ha sido enriquecedor, al facilitarnos el intercambio de conocimientos de una manera novedosa.

Los sinodales Doctores Antonio Calderón, Roberto Civera, Sergio Hernández y Luis Martínez revisaron el trabajo en forma crítica y constructiva. Sus atinadas observaciones permitieron fortalecerlo hasta su versión final. A todos ellos expreso mi agradecimiento por su generosa disposición para ese propósito.

Mi vida académica ha estado influenciada en forma definitiva por el Dr. José Negrete, quien me introdujo a los aspectos formales del manejo acuícola y al campo de sistemas expertos. Sin esas bases, no hubiera podido desarrollar este trabajo. Expreso a él, en forma especial, mi sincero agradecimiento y el reconocimiento de quien ve, en su persona, a un maestro.

El Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. me brindó todas las facilidades para llevar a cabo este trabajo. Agradezco a esa institución y sus autoridades las oportunidades que me han ofrecido para iniciar y consolidar mi carrera como investigador en el campo de la acuicultura.

PREFACIO

El manejo de recursos acuícolas es un campo que despertó mi interés desde los inicios de mi vida profesional. La razón principal por la que decidí dedicarme a un campo de la Biología que puede ser calificado como "aplicado", en vez de a uno "básico", tiene que ver con la forma directa con que la actividad acuícola, basada en el conocimiento empírico y científico, permite modificar el medio ambiente para su aprovechamiento.

Es muy posible que, aunque en forma inconsciente, esa decisión también haya sido influenciada por lo que Walter Pankow afirma en el sentido de que "el hombre sólo puede entenderse a sí mismo entendiendo su ambiente, pero únicamente puede entender su ambiente transformándolo activamente en un mundo, su mundo". La investigación en acuicultura es un campo que contribuye a definir y establecer, con relativa rapidez, interacciones con los recursos acuáticos renovables, y en esa medida, le facilita al investigador identificar y comprender su propia función como diseñador de instrumentos para el manejo de los mismos.

Pero una cosa es la postura que el investigador adopta ante su propia disciplina de trabajo, y otra es la complejidad de la problemática que ésta supone. Como en muchos otros campos, el profundizar en el conocimiento de la acuicultura lleva a comprender, cada vez mejor, que la problemática implicada dista mucho de ser trivial y que por el contrario, el universo de problemas a enfrentar es diverso y complejo.

Los modelos matemáticos han sido, por excelencia, los instrumentos preferidos por la investigación para el manejo de recursos naturales renovables. Sin embargo, su uso ha comenzado a ser cuestionado, como en el caso de la crítica ejercida por la denominada "administración adaptativa" de dichos recursos. Durante varios años he trabajado con modelos bioeconómicos para el diseño y mejoría de sistemas de producción acuícola. La experiencia me ha indicado que, efectivamente, la representación del conocimiento que únicamente toma en cuenta aspectos cuantitativos, presenta fuertes limitaciones para la resolución de cierto tipo de problemas.

Resulta cada vez más claro que la complejidad implicada en el manejo de recursos naturales es tal que, además del modelado matemático, resulta necesaria la utilización de formas de representación del conocimiento alternativas que permitan incorporar conocimiento científico y empírico, así como consideraciones de carácter cualitativo.

* W. Pankow 1976. Openness as self-transcendence. En: Evolution and Consciousness. Editores: E. Jantsch y C.H. Waddington. Addison-Wesley Publishing Company. USA. 259 pp.

Con el presente trabajo de tesis pretendo mostrar que el desarrollo de sistemas expertos, un área importante de la inteligencia artificial, constituye una alternativa metodológica que ofrece esas ventajas adicionales, a efecto de contender con la problemática propia del manejo acuícola. Específicamente, el trabajo presenta la metodología y los resultados obtenidos con el desarrollo e implementación de ese tipo de sistemas para el manejo del cultivo del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), la principal especie cultivada en el continente americano y una de las más importantes en el ámbito mundial. La elección del cultivo no ha sido casual, tiene que ver con la experiencia que he podido adquirir sobre camaronicultura, y con el importante acervo de conocimiento que se encuentra disponible acerca del tema.

En la primera parte del trabajo se analizan los distintos enfoques utilizados para el manejo acuícola y se introducen los principales conceptos relativos a sistemas expertos, así como los conocimientos biológicos y ecológicos que han permitido fundamentar las prácticas del cultivo de camarones. La parte correspondiente a la metodología enfatiza las herramientas de la ingeniería del conocimiento que se emplean para la representación del mismo y para la construcción del componente más importante de un sistema experto: su base de conocimiento. En atención a esa importancia, el trabajo incluye dos apéndices donde se describen a detalle las reglas utilizadas para la integración de dichas bases. Con el objeto de facilitar la comprensión de los resultados del trabajo y la discusión de los mismos, ambos aspectos se abordan en forma simultánea, integrándolos en un solo capítulo.

El ejercicio implicado en este trabajo conduce a la conclusión que los sistemas expertos constituyen un medio eficaz para sistematizar conocimiento, así como para representar pericia que permita resolver problemas de manejo acuícola con base en juicio y experiencia. Por último, y quizás lo más importante, debido a la naturaleza misma de los sistemas expertos, se tiene a favor la gran posibilidad de desarrollar "software" que resulte operativo, de utilidad para usuarios de los sistemas interesados en el manejo de recursos acuícolas, en vez de modelos y programas de cómputo que en muchas ocasiones y en el mejor de los casos, terminan sirviendo exclusivamente para fines académicos.

RESUMEN

Se propone la construcción de bases de conocimiento y el desarrollo de sistemas expertos como alternativa metodológica para el manejo acuícola del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*). La aplicación de los principios de la ingeniería del conocimiento permitió el desarrollo e implementación de dos sistemas expertos, a saber:

TEMA, que constituye una referencia genérica sobre los principales aspectos relativos a la Tecnología y Manejo del cultivo considerando las modalidades semiintensiva, semiintensiva "alta" e intensiva. El sistema asesora a sus usuarios a fin de modificar, confirmar o complementar sus conceptos sobre dichos aspectos. Se analiza lo relativo a la descripción de la tecnología para la producción, seguimiento y control de la calidad del agua, alimentación y fertilización, y sistemas de preengorda. La construcción de la base de conocimiento del sistema requirió de la incorporación de 433 reglas. El sistema emite conclusiones y sugerencias sobre todos y cada uno de los aspectos analizados y ofrece, mediante el uso de hipertexto, la posibilidad de presentar en pantalla información que permite sustentar y justificar sus apreciaciones. Se citan trabajos pertinentes referidos en la literatura, y se ofrece la posibilidad de presentar completas las referencias bibliográficas correspondientes. También se ofrecen ayudas e información complementaria relevante sobre los distintos tópicos. Al final de la consulta y a petición del usuario, el sistema puede presentar en pantalla o impreso, un informe que resume los principales resultados de la consulta, así como una evaluación global de los conocimientos del usuario;

CALEN, que se ha desarrollado para auxiliar en el manejo de la calidad del agua en sistemas de producción semiintensivos, y para el diagnóstico presuntivo de enfermedades comunes de la especie en condiciones de cultivo. Para la calidad del agua el sistema utiliza 185 reglas, considerando el nivel de productividad, los niveles de oxígeno matutino y vespertino, el pH, la temperatura y la tasa de renovación del agua. CALEN establece un diagnóstico sobre la calidad del agua, y de ser el caso, recomienda las acciones pertinentes para restablecer aquellas condiciones que son más favorables para el cultivo de los organismos. Se ofrece explicación al usuario de los pasos con que se conduce el proceso de inferencia y las conclusiones finales y parciales a las que se llega. Las acciones correctivas se refieren a posibles modificaciones a las raciones de alimento, a la tasa de recambio de agua, y a la suspensión o inicio de aplicaciones de fertilizantes. Para el diagnóstico de enfermedades se emplean 79 reglas cuya aplicación permite la identificación de una avitaminosis (carencia de vitamina C), microsporidiosis, vibriosis y virosis (IHHN), con base en los principales signos que presentan los organismos a observación directa. CALEN utiliza hipertexto como interfaz con el usuario para recomendarle y explicarle los tratamientos a que haya lugar, una vez que las enfermedades se han identificado.

Se concluye que los objetivos del trabajo se cumplen en forma satisfactoria y que el desarrollo de sistemas expertos constituye una alternativa metodológica aplicable al manejo acuícola de *L. vannamei*. También se concluye que dicho desarrollo constituye un valioso ejercicio de reflexión sobre pericia –la propia y la ajena–, útil para tomar conciencia de los razonamientos empleados al ejercerla y, en tal virtud, para estar en posibilidad de asumir una actitud crítica a fin de perfeccionarla.

1. INTRODUCCIÓN

La administración - o manejo - de recursos biológicos basado en la investigación científica implica la síntesis y la formalización de conocimientos relevantes para tal propósito. Paradigmas importantes han sido el enfoque de sistemas en ecología (Hall y Day, 1977), la bioeconomía de recursos naturales renovables (Clark, 1976), la economía ambiental (Tisdell, 1993) y la economía ecológica (Prugh et al., 1999).

Por otra parte, el enfoque para la administración adaptativa de los recursos renovables reconoce, como fuente principal de aprendizaje, la experiencia derivada del ejercicio de la propia administración, más que la investigación básica o el desarrollo de una teoría ecológica general. Walters (1988) ha señalado que el uso de modelos matemáticos no ha sido particularmente exitoso para los propósitos de ese tipo de administración.

En sus consideraciones sobre la evolución del método científico, Maney y Schmidt (1976) han señalado, como una de las necesidades del prototipo emergente de dicho método, la de contar con representaciones complementarias de determinantes sustantivos (vs. valorativos) del comportamiento de los sistemas. En un contexto como el señalado, se debe prestar atención por igual a aspectos cualitativos y cuantitativos del conocimiento, así como a las metodologías que permiten su adecuada representación.

En el caso particular del manejo de recursos acuícolas, la mayor parte de las veces se ha recurrido al uso exclusivo de modelos matemáticos. Con ellos se han considerado, desde aspectos biológicos (Huang et al., 1976; Polovina y Brown, 1978), hasta aquéllos relativos a la tecnología, ingeniería y economía (Allen et al. 1984). Leung y El-Gayar (1997) han ponderado la relevancia que tienen los modelos de sistemas acuícolas para el manejo y planeación sostenible de la actividad, y refieren 55 modelos bioeconómicos para acuicultura, mismos que han sido publicados en la literatura durante el período 1974-1994.

Cacho (1997), por otra parte, ha hecho una revisión sobre los modelos bioeconómicos en acuicultura, destacando la necesidad de mejorar las técnicas actuales mediante la incorporación de programación orientada a objetos, algoritmos genéticos y el uso de sistemas "inteligentes". Para este último caso, se habla de la necesidad de mejorar el manejo de los recursos acuícolas ocupando elementos propios de la Inteligencia Artificial.

De acuerdo con la clasificación de sistemas computacionales propuesta por Ignizio (1991), la gran mayoría de los sistemas que se han utilizado para el manejo acuícola pueden considerarse como Sistemas para el Apoyo en la Toma de Decisiones, los cuales utilizan algoritmos para la búsqueda de soluciones óptimas (como los implicados en el uso de modelos matemáticos). Los denominados sistemas

expertos (SE), por otra parte, constituyen un campo importante dentro de la Inteligencia Artificial, y hacen uso de la heurística* para la búsqueda de soluciones satisfactorias (o aceptables), no necesariamente óptimas. Según Ignizio (1991), el uso de los SE es preferible, sobre el de Sistemas para el Apoyo a la Toma de Decisiones, en aquellos casos en que la resolución del problema requiere de intuición, juicio y experiencia (de reglas heurísticas).

Un SE pretende emular las capacidades de un experto humano. El desarrollo y uso difundido de los SE se debe a la posibilidad actual de:

- Representar conocimiento experto (pericia) en bases de conocimiento
- Contar con procedimientos de inferencia para el manejo y control de los conocimientos contenidos en dicha base, a fin de alcanzar conclusiones o recomendaciones adecuadas
- Implementarlos en computadoras personales

Las ventajas de los SE son múltiples pudiendo destacarse, para fines del presente trabajo, el que permiten una representación formal y sistemática del conocimiento, y que constituyen un vehículo idóneo para ubicar pericia en diversos sitios y momentos, con independencia de la presencia de personas expertas.

Wartofsky (1973), en su disertación sobre sistemas formales y representación de los hechos, plantea que una buena parte de la investigación científica comienza donde la observación deja de actuar e intenta ordenar los hechos mediante una representación coherente y sistemática, dentro de la estructura articulada de cierto lenguaje. En tal sentido, es importante destacar que la base de conocimientos de un sistema experto y una teoría científica son análogas, en tanto que ambas pueden formularse como teorías lógicas de primer orden, constituidas por enunciados que cumplen una función semántica similar (González, 1992). En ambos casos se tienen enunciados que cumplen la función de observaciones (datos en memoria y enunciados observacionales) y enunciados generales (reglas y leyes).

No obstante las ventajas que pudiera representar el uso de SE en acuicultura, su aplicación es aún muy incipiente. Ernst y Nath (1998) han preparado una lista de sistemas computacionales para acuicultura que se encuentran actualmente disponibles en el mercado. Entre ellos, los únicos referidos como SE son:

* De acuerdo con Russel y Norvig (1996) el término "heurística" se deriva del griego *heuriskien* que significa "encontrar" o "descubrir", y a lo largo de la historia de la inteligencia artificial ha adoptado diversas connotaciones. En el presente trabajo se refiere, esencialmente, al uso de "reglas prácticas" utilizadas por los expertos para generar buenas soluciones sin tener que embarcarse en exhaustivas búsquedas, según lo refieren esos mismos autores.

- HAMES, sistema que ofrece asistencia y diagnóstico de enfermedades que se manifiestan en el cultivo de especies de peces del género tilapia. HAMES es producto del trabajo conjunto del Programa de Desarrollo de la Acuicultura en el estado de Hawái y de la Universidad de Hawái
- REGIS, que contiene información regional sobre la Acuicultura en África

El-Goyar (1997) ha realizado una revisión sobre el uso de la tecnología informática para el manejo de recursos acuícolas, encontrando aplicaciones en:

- Instrumentación y control de procesos
- Manejo de datos
- Modelos computacionales
- Sistemas de apoyo a la toma de decisiones
- Procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones
- Sistemas de información geográfica
- Centros de información y redes
- Inteligencia artificial y sistemas expertos

El mismo autor destaca que las aplicaciones de Inteligencia Artificial en acuicultura apenas están surgiendo, señalando los siguientes SE y autores:

- RIAX, prototipo para monitoreo y control de sistemas intensivos con recirculación (Padala, 1991)
- Sistema para la automatización de la recirculación de agua. El SE integra el manejo del sistema de producción con el de filtración (Lee, 1993)
- AQUASITE, para la evaluación de sitios (Stokoe y Gray, 1990)
- Sistema para la evaluación de impactos por la emisión de nutrientes por cultivos en jaulas (Haakanson y Wallin, 1991)
- Sistema para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades de mero (Bossu, Mantoni y Saroglia, 1989).
- REGIS (descrito en párrafos anteriores)

El-Gayar concluye que, en general, el uso de la Inteligencia Artificial en acuicultura tiene un futuro muy prometedor con mucho que ofrecer, particularmente, para los aspectos relativos a su manejo.

Además de las referencias antes mencionadas, pueden mencionarse:

- Whitson, Lawrence y Grant (1989), quienes refieren la construcción de un "shell" (o sistema "vacío") para la predicción de tiempos óptimos de cosecha en el cultivo de camarón
- Brune y Drapcho (1991), los cuales mencionan el inicio de trabajos de investigación para el desarrollo de un SE de ayuda para la modelación del impacto de descargas de estantería en la demanda biológica de oxígeno

Más recientemente se han publicado los siguientes trabajos:

- Hernandez-Llamas y Villarreal-Colmenares (1999), quienes informan sobre el desarrollo de TEMA, sistema experto producto del presente trabajo de tesis.
- Zeldin y Prescott (2000) donde se describe Fish-Vet, desarrollado para auxiliar en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades de peces. El sistema considera los síntomas de las enfermedades, calidad del agua y parámetros nutricionales
- Lee et al. (2000), autores que presentan un ejemplo de aplicaciones de lógica difusa en la resolución de problemas de control de un biorreactor para la denitrificación en sistemas de acuicultura.

Por lo que se refiere al manejo acuícola de especies de camarones cabe destacar que, prácticamente la totalidad de los trabajos reportados en la literatura, se refieren al desarrollo y utilización de modelos bioeconómicos. De acuerdo con Leung y El-Gayar (1997), se han realizado 11 trabajos para distintas especies de camarones peneidos, cubriendo diversos objetivos tales como: control óptimo y programación dinámica, evaluación de riesgo, proyección económica y financiera, etc. En el caso de México únicamente se conoce la investigación realizada, por el autor del presente trabajo de tesis, para el análisis bioeconómico del cultivo de *Litopenaeus stylirostris* en condiciones representativas de la costa del Pacífico de la península de Baja California (Hernández-Llamas y Magallón-Barajas, 1991).

Litopenaeus vannamei es la especie que ha sostenido prácticamente en su totalidad la producción camaronera por cultivo en México. Sin embargo, a pesar de su importancia, no se conocen estudios que hagan uso de instrumentos formales para su manejo. Sin lugar a dudas, la carencia de bases de datos adecuadas ha limitado, en gran medida, que se puedan hacer investigaciones para tal efecto. Los principales esfuerzos para la modelación bioeconómica de este recurso, representando condiciones regionales o nacionales, se encuentran en desarrollo como parte de

investigaciones conducentes a la obtención de postgrados en instituciones ubicadas en el noroeste del país (Martínez de la Torre, Com. Pers.; Gonzalez Becerril, Com. Pers.), o en el extranjero (Martínez-Cordero, Com. Pers.).

Hopkins y Villalón (1992), en su análisis de la problemática que enfrenta el cultivo de camarón a escala mundial señalan que, si bien la disponibilidad de tecnologías para el cultivo no se identifica como una limitante, sí lo constituye la calidad en la aplicación y manejo de las mismas.

Por otra parte, existen trabajos importantes que se han realizado a fin de identificar la problemática que enfrenta el cultivo de camarón en México. Tal es el caso del Diagnóstico Integral de las Granjas Acuícolas Camaroneras en el Estado de Sinaloa (FAO, 1991), y el diagnóstico sobre debilidades, fortalezas y oportunidades de la camaronicultura en el noroeste del país (BANCOMEXT, 1998). Ambos documentos expresan, claramente, que la problemática que enfrenta el cultivo de camarón es muy compleja y diversa destacando, entre otros asuntos:

- Carencia de sistematización de la experiencia
- Insuficiencia de recursos humanos capacitados para las distintas fases de la actividad y renuencia a la contratación de expertos
- Poco conocimiento técnico sobre aspectos fisicoquímicos del agua y sobre fertilización, para los cuales raramente se realiza una aplicación sistemática, implicando relaciones técnico-operativas poco confiables
- Un interés cada vez mayor, por parte de los técnicos responsables, sobre el manejo de información para análisis y toma de decisiones. Se destaca la nueva valoración que tiene este campo de conocimiento por parte de las granjas, lo que se ha traducido en designación de personal para actividades de programación, supervisión y administración con el apoyo de sistemas computacionales
- Fuertes problemas por la elevada rotación de personal técnico, carencia de capacitación, y toma de decisiones sin fundamento por el área técnica
- Que los componentes de un sistema tecnológico viable son, personal capacitado en los diversos niveles (especialmente técnicos), equipos e instituciones de investigación, bibliotecas y servicios de documentación, publicaciones y reuniones de carácter científico y tecnológico, servicios de planificación y consulta, y una capacidad suficiente de financiación y gestión

Es importante destacar que, en sentido similar a las consideraciones anteriores, el Proyecto para el Desarrollo de la Acuicultura en México, preparado por el Banco

Mundial (The World Bank, 1997) identifica, como los principales factores que han limitado la productividad de la acuicultura en nuestro país:

- Inadecuado conocimiento técnico (en particular del sector social)
- Riesgos por enfermedades
- Servicios de apoyo limitados (investigación y laboratorios para diagnóstico)

Tomando en consideración lo expuesto en los párrafos anteriores, en relación con las limitaciones que presentan las metodologías tradicionales para la formalización y sistematización del conocimiento necesario para la administración de recursos biológicos (y en particular, los acuícolas), y la problemática biotécnica que enfrenta el desarrollo del cultivo de camarón, el presente trabajo de investigación propone el desarrollo de sistemas expertos como una alternativa metodológica para auxiliar el manejo acuícola de *L. vannamei*, y contribuir así a resolver el problema relativo a la escasez de pericia para dicho manejo.

Se determinó conveniente desarrollar sistemas que contemplen distintos ámbitos del manejo del recurso. Por una parte, resulta necesario contar con una perspectiva general e integradora de las prácticas de cultivo de la especie a escala mundial. Para dicho propósito se desarrolló el sistema TEMA, el cual se concibió como una ayuda para aquellas personas que requieren disponer de una referencia amplia, a fin de confirmar, complementar o modificar sus bases conceptuales acerca de las variantes biotecnológicas más comunes para el cultivo y manejo de la especie.

Por otro lado, en un ámbito más específico relacionado con el conocimiento de los fundamentos biológicos y ecológicos del cultivo de camarón en estanques, se concibió el desarrollo del sistema CALEN. En este caso se busca que el sistema computacional auxilie en dos temas críticos:

- Manejo de la calidad del agua en estanques para cultivo semiintensivo, mediante el seguimiento y control de la productividad primaria, de la alimentación suplementaria y de la renovación del agua
- Diagnóstico presuntivo de algunas de las enfermedades de la especie que comúnmente se observan en condiciones de cultivo

Con el objeto de clarificar los fundamentos metodológicos que sustentan el presente trabajo de investigación se incluyen, a continuación, subcapítulos introductorios donde se tratan los principales aspectos relativos al desarrollo de sistemas expertos, así como los fundamentos biológicos y biotecnológicos que permiten el manejo de la producción de camarón con base en su cultivo.

1.1 SISTEMAS EXPERTOS

Los SE (o sistemas basados en el conocimiento) constituyen uno de los campos más importantes dentro de lo que actualmente suele llamarse Inteligencia Artificial (González, 1992).

En general, se reconoce que la Inteligencia Artificial, como campo de investigación científica, tuvo formalmente su inicio a partir de la Conferencia de Dartmouth llevada a cabo en 1956 (Ignizio, 1991). El objetivo fundamental establecido para la Conferencia fue el de trabajar sobre la conjetura: "todos los aspectos del aprendizaje o de cualquier otra característica de la inteligencia pueden, en principio, ser descritos con tal precisión que es posible construir una máquina para simularlos".

Después de un inicio incierto, rebasado por las ambiciosas expectativas generadas a partir de la Conferencia, la investigación y el desarrollo en Inteligencia Artificial hubieron de ser replanteados en términos y objetivos más modestos, mejor orientados y dirigidos a ámbitos más estrechos y precisos de la pericia (en vez de a una inteligencia global y general). Este campo de la Inteligencia Artificial se denominó Sistemas Expertos y permitió obtener los primeros resultados positivos. Actualmente se entiende por sistema experto, un sistema informático que es capaz de emular exitosamente las capacidades de un experto humano (Cuenca, 1986).

DENDRAL es el primer SE reconocido como tal, y fue desarrollado durante la segunda mitad de la década de los sesenta en la Universidad de Stanford por Joshua Lederberg, Edward Feigenbaum y Bruce Buchanan (Lindsay et al., 1980). Puesto en operación durante los primeros años de la década de los setenta, el sistema realiza la identificación de la estructura molecular de compuestos desconocidos y actualmente todavía es utilizado en la investigación química.

Algunos otros SE pioneros han sido: HEARSAY I y HEARSAY II, para el reconocimiento de voz (Reddy et al., 1973); INTERNIST/CADUCEUS que constituye dos versiones de un SE en medicina interna (Pople, 1984); y MYCIN, para el diagnóstico y tratamiento de meningitis y enfermedades infecciosas, se considera el sistema más ampliamente conocido de todos los que se han desarrollado a la fecha. MYCIN, desprovisto de su base de conocimiento, dio origen al "sistema vacío" EMYCIN, precursor del concepto actual de los "shells" (o "sistemas vacíos") y a los que, al dotárseles de bases de conocimiento asociados a un dominio específico, se constituyen en nuevos SE en tal dominio.

1.1.1 Concepto de Sistema Experto

De acuerdo con Ignizio (1991) los componentes de un SE genérico son (Figura 1):

Base de conocimiento

Constituye la parte fundamental del SE y contiene hechos y reglas. Los hechos son aspectos específicos conocidos con anticipación a la consulta del sistema. La reglas son la representación del procedimiento heurístico mediante el cual el experto formula la solución a un problema.

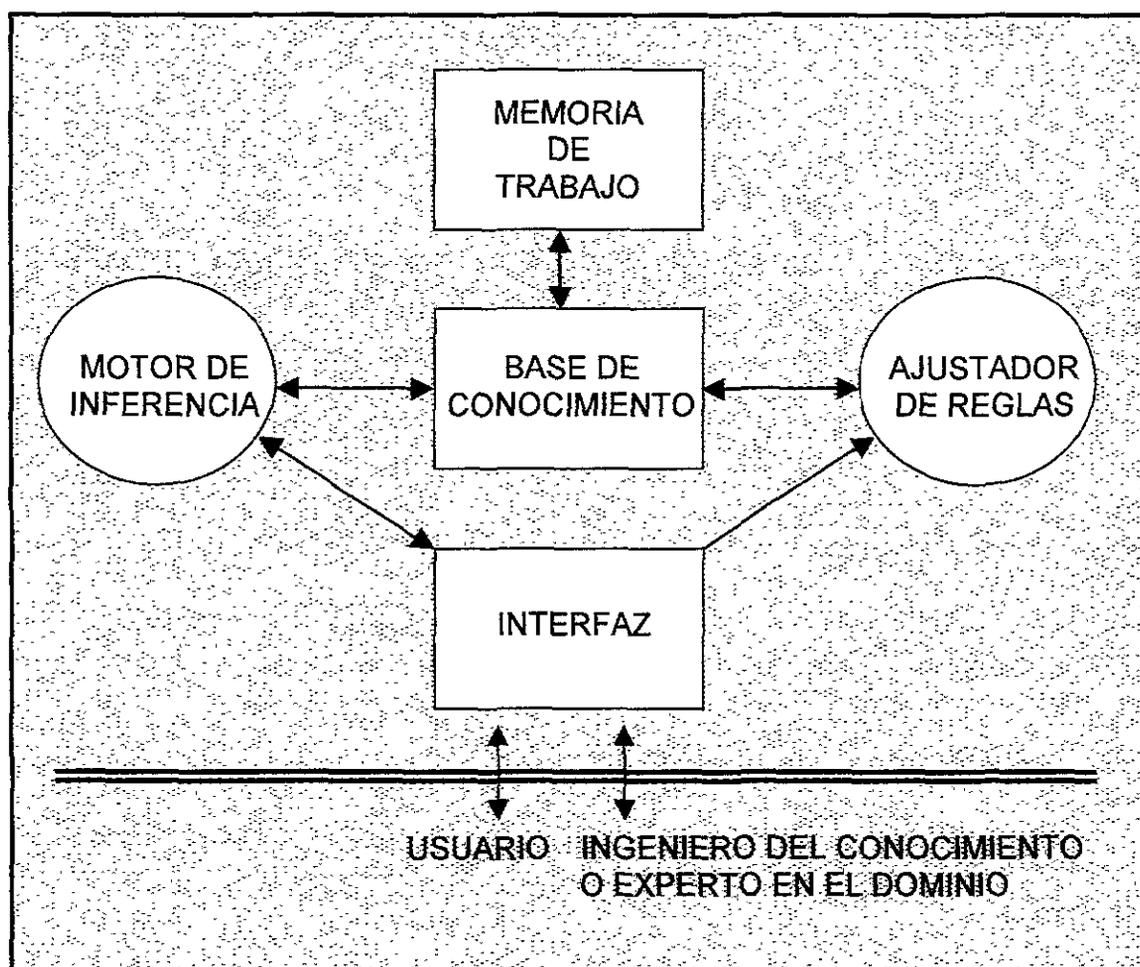


Figura 1. Arquitectura genérica de un Sistema Experto (según Ignizio, 1991)

Memoria de trabajo

Forma parte de la base de conocimiento y contiene los hechos que, a diferencia de aquéllos que se conocen al inicio de la consulta, se establecen como tales a partir de las conclusiones inferidas durante la consulta.

Motor de inferencia

Durante la consulta el motor de inferencia realiza dos tareas básicas. La primera consiste en revisar continuamente el estado de la base de conocimiento -y de la memoria de trabajo-, para determinar cuales hechos se tienen por conocidos, y para añadir los nuevos hechos que se establecen a partir de las conclusiones que resulten de aplicar el proceso de inferencia. La segunda tarea consiste en controlar el orden en que este proceso se lleva a cabo.

Ajustador de reglas

Generalmente sirve como editor de reglas durante la integración de la base de conocimiento en la fase de desarrollo del sistema. Asimismo, es de utilidad para la verificación de las mismas.

Interfaz

Auxilia en el manejo de las entradas y salidas al sistema, tanto en la fase de desarrollo como durante las consultas al sistema.

1.1.2 Representación del conocimiento

La representación del conocimiento, en conjunto con su adquisición, constituyen la función esencial del ingeniero del conocimiento (Hart, 1992). La constitución de la base de conocimiento requiere de la representación de este último mediante algunos de los medios que se explican a continuación (Ignizio, 1991).

Ternas objeto-atributo-valor

Cada terna se refiere a un determinado objeto (o entidad), que tiene asociado un conjunto de atributos que sirven para caracterizar el objeto. A su vez, para cada atributo, corresponde un valor o conjunto de valores. La terna se puede representar mediante una red constituida por nodos y conectores (Figura 2).



Figura 2. Ejemplo de terna objeto-atributo-valor

Redes semánticas

Pueden considerarse como constituidas por múltiples ternas objeto-atributo-valor. Sin embargo, en este caso, además de poderse representar más de un objeto, también es posible señalar más de un atributo por objeto (Figura 3).

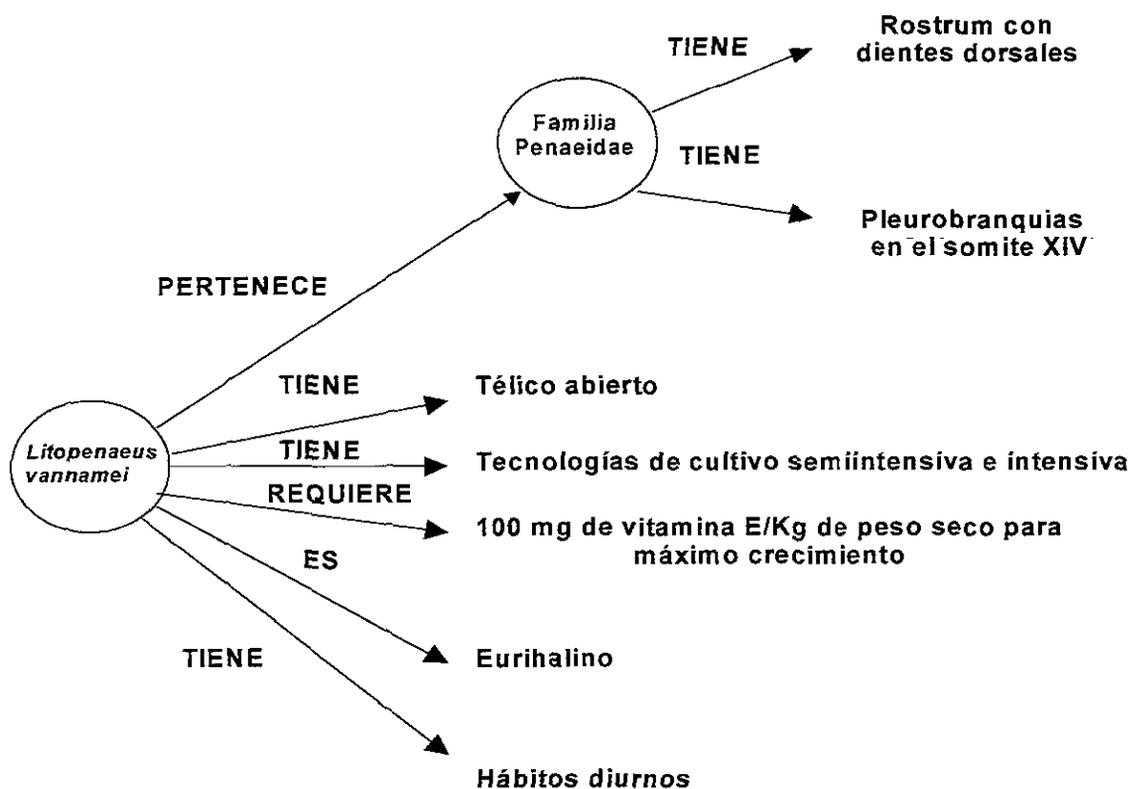


Figura 3. Ejemplo de red semántica

Una característica fundamental en este tipo de representación se refiere a la "heredabilidad" de las propiedades asociadas a los atributos, lo que permite una reducción significativa en los requerimientos de memoria. Así, en el ejemplo no es necesario almacenar en el nodo *Litopenaeus vannamei*, el hecho que tenga rostrum con dientes dorsales, ni el que tenga pleurobranquias en el somite XIV, pues estas características las "hereda" por pertenecer a la familia Penaeidae.

Marcos

Reúnen las características de las redes semánticas y otras adicionales. Es un método robusto de representación del conocimiento. Un marco contiene un objeto y "rendijas" para el manejo de la información relativa al mismo. El contenido de las rendijas son atributos, valores de éstos (preestablecidos o no), apuntadores hacia otros "marcos" y reglas que pueden ser implementadas (Figura 4).

Los marcos constituyen un poderoso instrumento de representación, pero su manejo es complejo y requiere de un entrenamiento riguroso.

LARVA	Etapa	Mysis I
	Duración	24 horas
	Talla	3.8 mm
	Alimentación	Artemia y fitoplancton
	Nado	Si desconocido, proceder a analizar
	Especie	<i>L. vannamei</i>
	Origen	Preestablecido: domesticación

Figura 4. Ejemplo de representación mediante marcos

Afirmaciones lógicas

La forma más común de la lógica es la lógica proposicional. Una proposición, a su vez, es una afirmación que puede ser verdadera o falsa. Las proposiciones pueden ser ligadas mediante operadores lógicos tales como: Y, O y NO, constituyéndose en proposiciones compuestas.

Así, para las afirmaciones A (verdadera), B (verdadera) y C (falsa), se puede concluir:

A Y B es verdadera y A Y C es falsa. El operador Y obliga a que ambas afirmaciones sean verdaderas para que la conclusión también lo sea.

A O C es verdadera y A O C es verdadera. El operador O requiere que una sola afirmación sea verdadera para que la conclusión también lo sea.

NO C es verdadera. La negación de una afirmación falsa debe ser verdadera.

El cálculo de predicados es una extensión de la lógica proposicional. Los elementos básicos del cálculo son el objeto y el predicado, el cual es una afirmación sobre el objeto o una relación que éste posee. Algunos ejemplos son:

Teoría_lógica (base_de_conocimiento). Que se lee: Una base de conocimiento puede formularse como una teoría lógica de primer orden

Teoría_lógica (teoría_científica). Que se lee: Una teoría científica puede formularse como una teoría lógica de primer orden

Télico_cerrado (L. vannamei). Que se lee: *L. vannamei* tiene télico cerrado

De estos ejemplos, los dos primeros son ciertos y el tercero es falso.

El cálculo de predicados se puede utilizar en la construcción de reglas (ver el apartado *Reglas*, más adelante) tales como:

Aumento (variación_oxígeno) Si
Aumento (productividad_primaria)

la cual se refiere al fenómeno conocido en ecología de sistemas acuáticos consistente en que, la variación diaria en el nivel de oxígeno disuelto en el agua, se incrementa en la medida en que la productividad primaria del sistema también aumenta.

Redes neuronales

Constituyen un modesto intento de replicación de la estructura neuronal del cerebro humano mediante computadoras. En sentido similar al funcionamiento de las neuronas cerebrales, los nodos de una red neuronal son capaces de recibir impulsos (entradas), que una vez sumadas y comparadas con un umbral, pueden disparar nuevos impulsos a otros nodos. Una característica fundamental es que las interconexiones que se establecen mediante estos impulsos, pueden variar entre sí en función de su intensidad.

Una red neuronal se "entrena" mediante la presentación de casos resueltos por un experto, de manera que la red "capture" la pericia de la persona a través del establecimiento de conexiones en la red que conduce a impulsos terminales (o salidas) correspondientes a respuestas correctas.

En la Figura 5 se presenta un ejemplo hipotético y sencillo de una red "entrenada" para recomendar el incremento, la disminución o el mantenimiento del esfuerzo pesquero ejercido sobre un recurso.

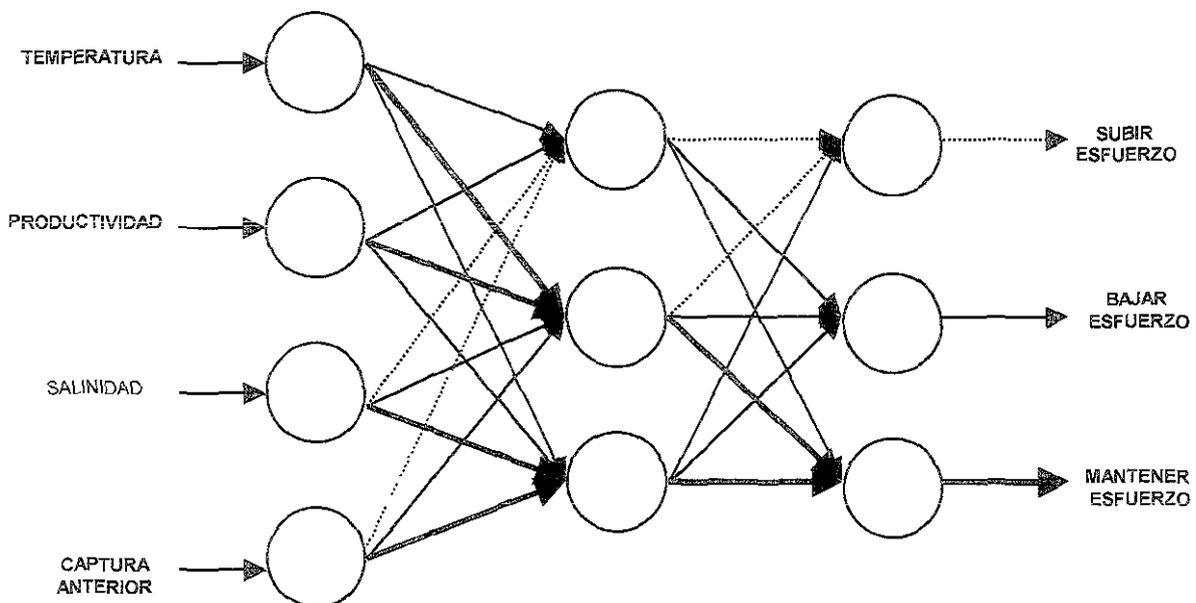


Figura 5. Ejemplo de red neuronal

La red se concibe constituida por una capa de nodos de entrada, una de salida y una "oculta". La red se entrena "premiando" o "castigando" la intensidad de los impulsos asociados a las posibles interconexiones que se dan entre los nodos. Aquéllas que conducen a las respuesta correctas se ponderan

favorablemente, mientras que las que conducen a respuestas incorrectas disminuyen su intensidad (Harmon, 1992). Después del análisis de un número de casos apropiado, el resultado del entrenamiento puede representarse como interconexiones más robustas (líneas más gruesas en la figura) las que conducen a las respuestas correctas, y de adelgazamiento (líneas interrumpidas) las que conducen a respuestas incorrectas.

Existen procedimientos bien establecidos para el entrenamiento de los distintos tipos de redes que pueden desarrollarse (Freeman y Skapura, 1993).

Reglas

La representación mediante reglas es, sin duda, el recurso más utilizado para la construcción de SE. Aunque no en todos los casos puede constituir la mejor opción de representación, generalmente así resulta, tomando en cuenta que ofrece las siguientes ventajas:

- La disponibilidad de "sistemas vacíos" existentes con base en reglas permite que el desarrollo se centre en la construcción de la base de conocimiento, que es la parte fundamental de todo SE
- Las reglas de tipo: Si... entonces..., son una forma natural de representación del conocimiento, facilitan la explicación del razonamiento utilizado y también se pueden modificar fácilmente
- La validación de los sistemas es una tarea relativamente simple

El proceso de inferencia se realiza mediante el encadenamiento hacia adelante o hacia atrás de las reglas. En el primer caso se parte de premisas para llegar a conclusiones, en tanto que en el segundo se parte de una conclusión hipotética y se busca en las premisas la evidencia que permita rechazarla (o en su defecto, aceptarla).

En la parte correspondiente a la Metodología del presente trabajo se dará una explicación detallada y las reglas de inferencia de la lógica formal en los que se basan ambos tipos de encadenamiento

1.1.3 Adquisición del conocimiento

El proceso de adquisición del conocimiento es una actividad complementaria a la de su representación. En general, se está de acuerdo que constituye la fase más crítica y difícil de cubrir durante el desarrollo de un SE. El ingeniero del conocimiento debe ser capaz de adquirir y representar el conocimiento experto a efecto de integrar la base de conocimiento, situación

muy difícil de lograr, tomando en cuenta que normalmente no se encuentra familiarizado con el campo de dominio del experto, así como las dificultades adicionales que pueda tener el experto para comunicar su propia pericia.

Existen diferentes técnicas auxiliares para la adquisición del conocimiento. Los trabajos de Kidd (1987) y Hart (1992) constituyen excelentes referencias en las que puede estudiarse dichas técnicas, de entre las cuales pueden destacarse: entrevistas (estructuradas o no); estudios de casos; observación de interacciones; análisis de protocolos, barajado de cartas de soluciones, examen de registros; algoritmos de inducción, etc.

Alternativamente, Ignizio (1991) ha destacado la posibilidad de que los expertos en dominios específicos adquieran capacidades propias de un ingeniero del conocimiento para facilitar la comunicación con este último, o inclusive, para desarrollar SE prescindiendo de él. Negrete (1990) ha enfatizado la importancia que reviste el hecho implicado en el desarrollo de un SE para la introspección de lo que el experto sabe sobre su propio campo de dominio y, en consecuencia, para su autoperfeccionamiento.

El desarrollo del presente trabajo de tesis se inscribe como una aportación dentro de la posibilidad señalada por Ignizio. El autor recurre a los instrumentos formales que provee la ingeniería del conocimiento, así como a su experiencia, conocimiento del dominio público y colaboración de personas experimentadas, a fin de construir bases de conocimiento y sistemas expertos para el manejo acuícola de *L. vannamei*.

1.2 DESARROLLO BIOTECNOLOGICO DEL CULTIVO DE CAMARONES PENEIDOS

De acuerdo con Ling (1997) los antecedentes del cultivo de camarones se remontan al siglo XV en Indonesia, donde se utilizaban métodos extensivos para el cultivo de dichos organismos en conjunto con peces y otras especies en estanques abastecidos por acción de la marea. El conocimiento requerido para el manejo de esos sistemas de producción es reducido y en la actualidad aún se utilizan en muchas partes del mundo.

La adquisición de un mayor conocimiento de aspectos biológicos básicos de las especies de camarón, y de la dinámica productiva de los estanques, sentó las bases para la intensificación de los sistemas de producción. Tal adquisición de conocimiento permitió ejercer mayor control sobre el sistema productivo a través de ajustes en la carga de biomasa de camarón (densidad de cultivo), aplicación de fertilizantes y alimentos balanceados suplementarios, renovación de agua mediante sistemas de bombeo, control de depredadores, uso de aireadores, etc.

El concepto moderno del cultivo de camarón tiene sus bases científicas y tecnológicas en el conocimiento generado por el investigador japonés Motosaku Fujinaga entre 1935 y 1942. El conocimiento de la biología reproductiva y de las primeras etapas del desarrollo de *Penaeus japonicus* permitió a dicho investigador, a partir de hembras silvestres sexualmente maduras, la producción de postlarvas aptas para su posterior engorda en estanques (Fast, 1992). El perfeccionamiento de la técnica de Fujinaga permitió, hacia 1967, la operación de 20 granjas las cuales produjeron 4000 toneladas de camarón en aproximadamente 8500 hectáreas (Martínez, 1993).

De acuerdo con Hirono (1983) el primer estanque para cultivo comercial de *L. vannamei* operó en 1969 en Ecuador. Sin embargo, la tecnología para la engorda semiintensiva y la producción masiva de postlarvas de esa especie no se consolidó sino hasta 1974, cuando la empresa Ralston Purina se estableció en Centro América (Arredondo, 1990). En México, los primeros trabajos de cultivo de esta especie se realizaron por parte del Instituto Nacional de la Pesca durante 1972 (Arredondo, 1990).

Es importante destacar que la intensificación del cultivo de camarón, hasta llegar al nivel de tecnificación actual, sólo pudo llevarse a cabo gracias al dominio de tecnologías de producción de semilla en condiciones de criadero, una vez que se tuvo el conocimiento biológico adecuado y el perfeccionamiento de las técnicas de Fujinaga, así como el control de la maduración de hembras mediante técnicas de ablación del pedúnculo ocular (Fast, 1992). El abastecimiento seguro de postlarvas provenientes de criadero permitió manejar un intervalo mucho más amplio de cargas de biomasa de camarón en los sistemas de engorda, y establecer programas de producción confiables que permitieron el desarrollo de operaciones a escala comercial.

El cultivo desde la etapa de postlarvas hasta tallas para comercialización se lleva a cabo fundamentalmente en estanques. De acuerdo con Fast (1992), la visión moderna de la dinámica de producción de los estanques de acuicultura está basada en principios de ecología acuática y limnología. El autor señala que los procesos que ocurren en un estanque para cultivo, así como sus efectos sobre las comunidades biológicas que viven en él, se encuentran en un estado de flujo continuo y son todos interdependientes. Por ello, los cambios en dirección y amplitud de un proceso dado pueden influir sobre otros procesos que ocurren en el estanque y, a su vez, los cambios en los patrones de los procesos pueden efectuar cambios en el crecimiento y composición de la comunidad biológica en el estanque, incluyendo las especies objeto de cultivo. Fast concluye mencionando que, por todo lo anterior, es apropiado considerar los estanques para cultivo como ecosistemas acuáticos, y que el estudio de sus procesos debe hacerse tomando en consideración su influencia sobre el sistema en su conjunto.

Existe un importante acervo de conocimiento científico que ha proporcionado la base para el desarrollo de herramientas que faciliten el manejo de estanques. Por su relevancia, caben destacar, entre otros:

- El trabajo clásico de Huet (1972) sobre cultivo de peces en estanques, en donde se destaca la importancia del control de la productividad primaria y la determinación de las capacidades de carga
- El trabajo de Arrignon (1976) en el que, con claridad, se establece la concepción de la acuicultura en estanques como un caso particular de manejo de ecosistemas acuáticos
- La colección de trabajos sobre principios y prácticas de acuicultura en estanques editada por Lannan, O'neal y Tchobanoglous donde se tratan, a profundidad, los principios biológicos básicos, la dinámica de nutrientes y de poblaciones bacterianas, bentos y sedimentos, fitoplancton y macrofitas, zooplancton y especies cultivadas (Anónimo, 1986)
- Más recientemente, Piedrahita y Giovannini (1991) han destacado la importancia de la formalización del conocimiento acerca de la dinámica productiva de los estanques, en relación con sus distintos niveles de intensificación

Por su importancia, es particularmente digno de destacar el acervo de conocimiento generado por el programa de investigación denominado Dinámica de Estanques ("Pond Dynamics"), a cargo de la Universidad Estatal de Oregon, EUA. Este programa ha realizado experimentos en distintas partes del mundo desde 1982, sujetas a un protocolo que ha conducido a la generación de una importante base de datos y modelos matemáticos, que permiten caracterizar la dinámica productiva de los estanques bajo diferentes esquemas de manejo y condiciones climáticas regionales y locales. La sistematización de este conocimiento experimental ha permitido la creación del sistema de cómputo "POND".

No obstante lo anterior, es conveniente aclarar que "POND" es del tipo referido, previamente en este trabajo, como Sistema para el Apoyo a la Toma de Decisiones, basado en el uso de modelos matemáticos, en vez de la representación de conocimiento experto. "POND" utiliza un enfoque cuantitativo a fin de predecir, mediante simulaciones, el efecto que tienen distintos esquemas de manejo sobre los rendimientos de producción y proyecciones económicas de cultivos en estanques para diferentes especies. Los modelos al interior del sistema se encuentran organizados jerárquicamente, desde los más simples a los más complejos con un número creciente de variables de estado,

tales como: crecimiento de los organismos cultivados, temperatura, volumen del estanque, dinámica del fitoplancton, zooplancton, poblaciones bacterianas y calidad del agua y del sedimento (Bolthe y Nath, 1999).

Un estanque para acuicultura es un ecosistema complejo. El crecimiento y la supervivencia de los organismos que viven en él (fitoplancton, zooplancton, bacterias, bentos y los organismos cultivados), son determinados por las características físicas y químicas del agua (i.e. por su calidad). A su vez, esta calidad depende, por un lado, de los procesos bioquímicos que ocurren en dichos organismos para la incorporación de nutrientes, la alimentación, la respiración y la excreción; y por otro, de factores externos al propio estanque. Para la caracterización y modelación matemática de los flujos de masa y energía que ocurren en un estanque generalmente se recurre a representaciones conceptuales como la presentada en la Figura 6.

El manejo acuícola de un estanque implica la adición de nutrientes, mediante la aplicación de fertilizantes, que añaden elementos a las rutas fotoautotróficas (nutrientes inorgánicos) o heterotróficas (nutrientes orgánicos).

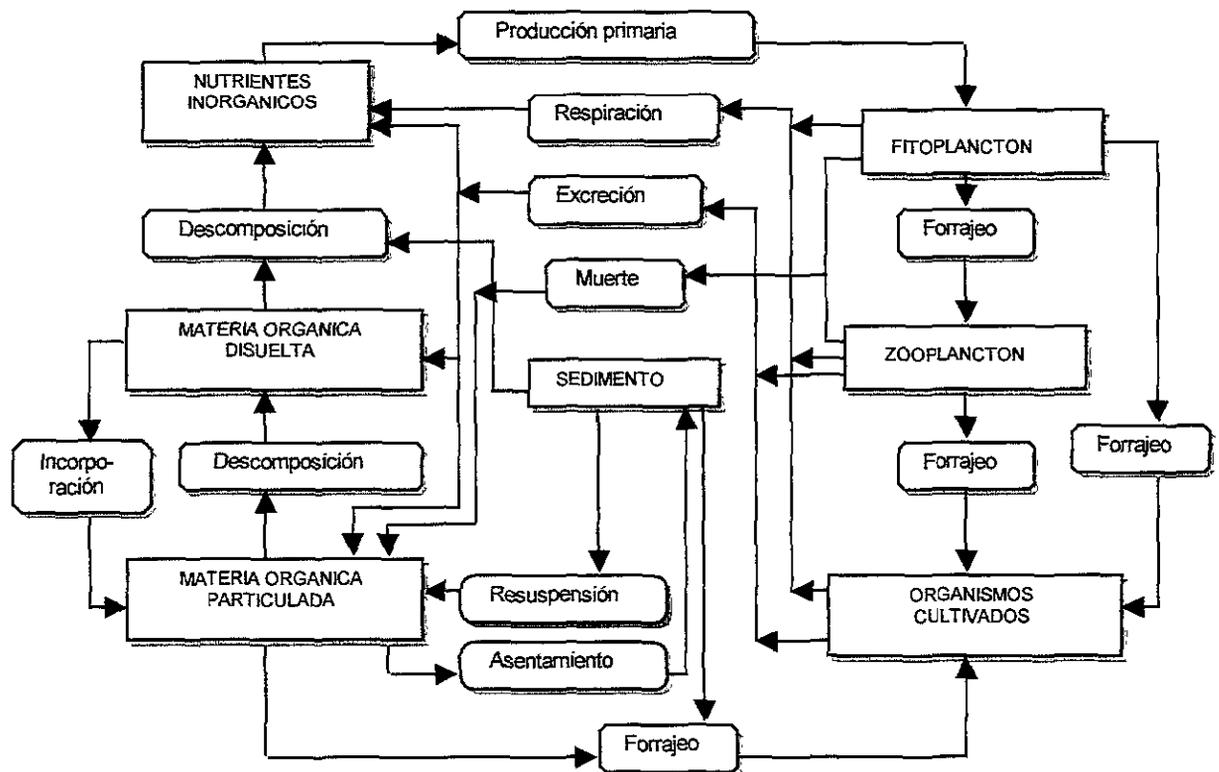


Figura 6. Diagrama de flujo de masa en un estanque para acuicultura (adaptado de Piedrahita, 1988)

El organismo animal objeto del cultivo se alimenta de los productos de las rutas fotoautotróficas, de las heterotróficas (del detritus), o bien consume directamente los nutrientes orgánicos. El manejo del ecosistema, en este caso, implica incrementar la productividad del estanque mediante prácticas de "alimentación del estanque" (Fast y Lannan, 1992).

El incrementar la capacidad de carga de un sistema como el descrito requiere la aplicación de alimentación balanceada suplementaria para consumo directo por el organismo cultivado. En este caso se hace referencia al manejo orientado a la "alimentación del organismo" (Fast y Lannan, 1992). No obstante, el alimento balanceado que no es consumido por los organismos en cultivo se degrada, liberando nutrientes y aportando materia orgánica, los cuales son procesados a través de las rutas autotróficas y heterotróficas antes mencionadas. En esos casos, el alimento balanceado se constituye también en un fertilizante para el estanque. Desde el punto de vista del ecosistema, la intensificación del sistema de producción acuícola implica pasar, de un esquema en que la mayor parte de la materia y la energía se procesa a través de las rutas autotróficas, hacia otros en que las rutas más importantes tienden a ser las heterotróficas (Fast y Lannan, 1992).

La intensificación en el manejo de los estanques ha implicado, históricamente, ir incorporando a un conocimiento empírico (que en ocasiones se asocia a un "arte" de cultivar) mayor conocimiento científico. Ese hecho es de particular importancia para el presente trabajo de tesis, tomando en cuenta la naturaleza del enfoque empleado para el desarrollo de los sistemas computacionales propuestos, en el que se combinan conocimientos empíricos y científicos.

1.2.1 Criterios biológicos y ecológicos para el manejo de estanques acuícolas

Para fines de acuicultura, un estanque se define como tal mientras los procesos que ocurren en la columna de agua determinen la calidad de su agua, y por lo tanto, su productividad (Brune y Drapcho, 1991).

El manejo acuícola de un ecosistema constituido por un estanque se ha ido perfeccionando sobre la base del conocimiento generado por la experiencia práctica y el aportado por la investigación científica. Derivado de ello, los factores relevantes que se eligen para el manejo de sistemas acuícolas son aquéllos que cumplen dos condiciones básicas:

- Se ha determinado que son importantes (de manera directa o indirecta) para la respuesta biológica de los organismos
- Sus mediciones resultan prácticas mediante métodos y rutinas fácilmente implementables en sistemas de producción a escala comercial

De acuerdo con Tomasso (1996), las respuestas biológicas pueden ser fisiológicas, o bien, "integradas". Las primeras incluyen medición en plasma de glucosa, proteína, cortisol, lactato y pH. Las segundas corresponden a parámetros más agregados, como el crecimiento, la supervivencia e índices de reproducción. Estos parámetros son consecuencia de la agregación de la influencia de muchos factores. Por razones prácticas, la toma de decisiones para el manejo en cultivos comerciales se lleva a cabo con base en respuestas "integradas", y en el conocimiento de la dependencia que éstas tienen de determinados factores ambientales. Estos factores pueden clasificarse como primarios o secundarios, dependiendo de si ejercen una influencia directa o indirecta sobre los organismos, respectivamente. En muchas ocasiones un factor primario es, a su vez, dependiente en alguna medida de otro secundario y su valor se controla a través del manejo de este último (v.g. el manejo de la productividad de un estanque determina, en gran medida, la concentración del oxígeno disuelto, el cual, a su vez, ejerce una influencia directa sobre los organismos).

Los factores ambientales asociados a la calidad del agua corresponden a factores primarios. Las respuestas biológicas típicas a esos factores muestran que existen valores de los parámetros para los que se presentan respuestas óptimas. De fundamental importancia resultan las interacciones que ocurren entre los propios parámetros, mismas que producen que las respuestas sean considerablemente complejas.

Es importante destacar que, de acuerdo, con Tomasso (1996), la mayoría de los sistemas acuícolas pueden ser considerados subóptimos, en tanto que los organismos cultivados no alcanzan a desarrollarse en ellos a su máxima capacidad. El costo de obtener esta última, normalmente es prohibitivo, razón por la cual se opera en condiciones de calidad del agua en que, algunos parámetros, generan respuestas subóptimas. En consecuencia, si bien la calidad del agua que se recomienda es la que ofrece una mejor relación costo/beneficio, la producción no alcanza su máximo potencial biológico y los organismos se encuentran sujetos a diversos niveles de estrés ambiental que los hacen más susceptibles a agentes patógenos, incrementándose el riesgo de tener pérdidas (en ocasiones prácticamente totales) debidas a enfermedades.

1.2.2 Enfermedades y métodos de diagnóstico

Desde los orígenes de la industria del cultivo de camarón se ha reconocido que las enfermedades constituyen una seria amenaza biológica, causante de severas pérdidas productivas y económicas.

Se entiende por enfermedad "cualquier alteración del estado normal de salud" (Lightner y Redman, 1998). Las enfermedades del camarón pueden ser causadas por agentes infecciosos y no infecciosos y resultan de una compleja interacción del camarón con el ambiente y con el agente patógeno.

En la Figura 7 se presenta el concepto de la interacción huésped-patógeno-ambiente que determinan la presencia de una enfermedad. De acuerdo con el concepto, el resultado de la interacción entre los agentes se encuentra determinado por los cambios que ocurren en cualquiera de los propios agentes (esferas en la figura). La severidad de una enfermedad depende del grado en que cada uno de ellos interactúa con el resto para propiciar condiciones que favorecen el surgimiento de la enfermedad. La susceptibilidad a enfermedades es distinta entre las diferentes especies de camarón. En ciertas condiciones el huésped y el patógeno pueden coexistir sin que se presente un estado patológico. Sin embargo, una modificación en el ambiente que provoque estrés en el huésped puede derivar hacia un cuadro patológico.

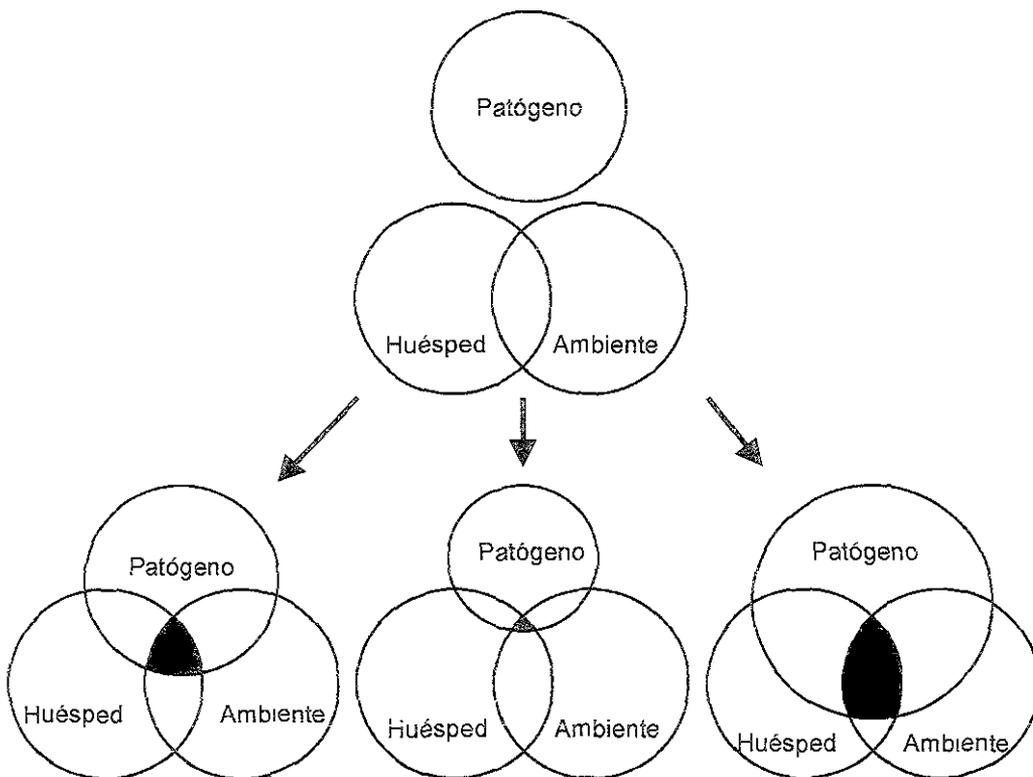


Figura 7. Concepto de la interacción "huésped-patógeno-ambiente"

La patología de camarones peneidos, como ciencia y profesión en apoyo de la acuicultura de camarón, tuvo sus orígenes hace más de 30 años (Lightner y Redman, 1998). Los primeros artículos científicos reportan el uso de métodos simples para el diagnóstico, tales como el examen de montajes "frescos" de tejidos utilizando microscopía de luz directa, de fases, o de campo brillante, y métodos microbiológicos clásicos. Posteriormente, la microscopía de transmisión electrónica y los exámenes histológicos se incorporaron como valiosas herramientas para el establecimiento de diagnósticos. La microscopía electrónica permitió -por primera vez, y después en forma rutinaria- la identificación de virus patógenos, mientras que los métodos histológicos se utilizan para la descripción de infecciones por microsporidios, así como otras enfermedades debidas a hongos, bacterias, parásitos y condiciones neoplásicas (Brock y Lightner 1990).

En la actualidad existen métodos avanzados para la detección de patógenos y el diagnóstico de enfermedades de camarones peneidos. Tal es el caso de los métodos serológicos que utilizan anticuerpos monoclonales y policlonales y, más recientemente, los moleculares que se basan en el uso de sondas genéticas y amplificación de DNA utilizando la reacción en cadena de polimerasa (PCR, por sus siglas en inglés). Estos métodos han probado ser confiables y fácilmente estandarizables, especialmente para la identificación de virus (Lightner y Redman, 1998).

No obstante, los expertos en diagnóstico continúan apoyándose, en forma determinante, en los métodos clásicos, de entre los cuales, los correspondientes al análisis de signos gruesos y clínicos (lesiones visibles, comportamiento, retraso en el crecimiento, eficiencia de conversión alimenticia, etc.) son de importancia fundamental.

2. OBJETIVOS

A partir de los argumentos presentados en la introducción del presente trabajo, se establecen para éste los siguientes objetivos principales:

- Sistematizar conocimiento para el manejo acuícola del camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* mediante el desarrollo de sistemas expertos, lo que implica el uso de una metodología para la representación de tal conocimiento, distinta de la utilizada hasta ahora para el propósito
- A partir de la sistematización antes indicada, representar pericia para el manejo acuícola del recurso, y de esa manera, contribuir a resolver el problema relativo a la escasez de la misma

Como objetivos específicos se tienen:

- Construcción de una base de conocimiento y desarrollo de un SE para el análisis de los aspectos TECNOLÓGICOS y de MANEJO para el cultivo de *L. vannamei*, tomando en consideración las características biotécnicas del cultivo y el manejo correspondiente (sistema TEMA)
- Construcción de una base de conocimiento y desarrollo de un SE para el control de la CALIDAD del agua y el diagnóstico presuntivo de ENFERMEDADES en sistemas de cultivo semiintensivo de *L. vannamei* (sistema CALEN)

3. METODOLOGIA

Se utilizó la metodología general existente para el desarrollo e implementación de SE, así como la metodología de la ingeniería del conocimiento para la elucidación y representación de éste en computadoras (Kidd, 1987; Ignizio, 1991; Hart, 1992).

3.1 Justificación de los sistemas y selección de problemas

De acuerdo con los criterios establecidos por Ignizio (1991) para la justificación del desarrollo de SE, en el presente trabajo se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Existen problemas derivados de la falta conocimiento biotécnico fundamental relativo a los sistemas de cultivo y de sus correspondientes esquemas de manejo; así como falta de pericia en el manejo de la calidad del agua e identificación presuntiva de enfermedades
- Existen personas responsables de tomar decisiones sobre esos aspectos en granjas camaroneras, entidades de gobierno, empresas consultoras, bancos, agencias de seguros, universidades y centros de investigación, etc.
- Existe la necesidad de resolver los problemas en dicha toma de decisiones. Conceptos y decisiones erróneos pueden conducir a juicios sin fundamento biotécnico consistente, pérdidas en la producción y en los ingresos económicos de las granjas, etc.
- Existen alternativas para solucionar los problemas. Una de ellas consiste en contar con la asesoría de personas expertas en su solución. Otra más implica crear los cuadros de expertos necesarios, si no se les tiene disponibles. El presente trabajo se propone la creación de SE que ayuden a resolver los problemas mencionados

3.2 Representación del conocimiento mediante reglas

La representación del conocimiento se hizo mediante reglas utilizando la herramienta para el desarrollo de sistemas expertos denominada "1st-Class HT", la cual ofrece la posibilidad de integrar sistemas expertos y protocolo de hipertexto (Thomas y Hapgood, 1989).

Se utilizaron encadenamientos de las reglas hacia adelante y hacia atrás para conducir los procesos de inferencia. A continuación se describen las bases metodológicas formales en que se sustentan dichas inferencias.

El encadenamiento hacia adelante, guiado por los datos o deductivo está basado en la regla de inferencia denominada "modus ponens" de la lógica formal; mientras que el encadenamiento hacia atrás, guiado por los objetivos o inductivo, tiene su fundamento en la regla de inferencia denominada "modus tolens" (Frost, 1989; Sánchez y Beltrán, 1990)

En lo que sigue, la notación significa: & (y), \vee (o), \neg (no es) y \rightarrow (implica). Supóngase que $A \rightarrow B$; en consecuencia, los valores que pueden adquirir todas las posibles implicaciones son los presentados en la siguiente tabla de verdad:

		B	
		Verdadero	Falso
A	Verdadero	Verdadero	Falso
	Falso	Verdadero	Verdadero

Todas las implicaciones parecen claras, a excepción de aquella que afirma que la expresión es verdadera cuando la premisa (A) es falsa y la conclusión (B) es verdadera. Una creencia difundida es que las premisas falsas deben conducir lógicamente a proposiciones falsas. Este es un error provocado probablemente por una confusión con el principio verdadero de que si las consecuencias son falsas, las premisas también deben serlo (Cohen y Nagel, 1968).

El siguiente ejemplo permite demostrar el error en cuestión:

A: Si *L. vannamei* no tiene desarrollo larvario
y los animales que no tienen desarrollo larvario son crustáceos

entonces:

B: *L. vannamei* es un crustáceo

De una premisa falsa (A,) se ha concluido algo verdadero (B).

Los cuatro valores contenidos en la tabla de verdad también pueden producirse a consecuencia de aplicar la expresión $\neg A \vee B$. Por lo tanto, $A \rightarrow B$ puede ser sustituido por $\neg A \vee B$ (Winston, 1992).

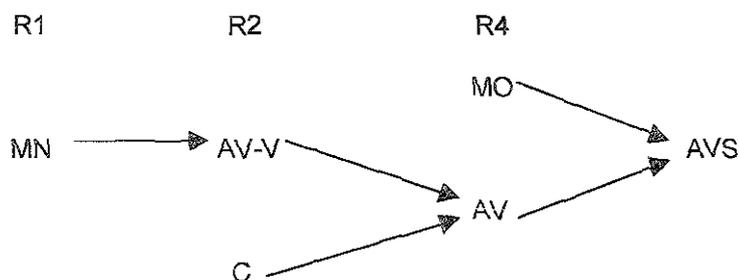
Formalmente, de acuerdo con la regla modus ponens, si se conocen los axiomas A y $A \rightarrow B$, entonces B se infiere en forma directa. Para demostrarlo, basta sustituir el axioma $A \rightarrow B$ por $\neg A \vee B$, lo que permite la cancelación del axioma A y de $\neg A$, y la obtención de B como resultado de la inferencia.

En el caso de la regla modus tolens se tiene que si $A \rightarrow B$ y se conoce $\neg B$, entonces se concluye $\neg A$. Para demostrarlo, se sustituye de nuevo $A \rightarrow B$ por $\neg A \vee B$, resultando la cancelación de B y $\neg B$ y la obtención de $\neg A$.

De un hecho deducido mediante la regla modus ponens se puede asegurar su "verdad". Por ejemplo considérese el siguiente grupo de reglas aplicables para la identificación de enfermedades en *L. vannamei*.

- R1 Si hay manchas negras (MN) \rightarrow posibles avitaminosis o vibriosis (AV-V)
- R2 Si AV-V y MN en la cutícula(C) \rightarrow avitaminosis (AV)
- R3 Si AV-V y MN en el músculo (M) \rightarrow vibriosis (V)
- R4 Si AV y músculo opaco (MO) \rightarrow avitaminosis severa (AVS)
- R5 Si AV y músculo no opaco(MNO) \rightarrow avitaminosis leve (AVL)

Supóngase que se conocen como ciertos los hechos MN, C y MO. Aplicando las reglas R1, R2 y R4 de esta base de conocimiento se puede concluir que AVS también es cierto. El sistema de reglas se ha encadenado hacia adelante de la siguiente manera:

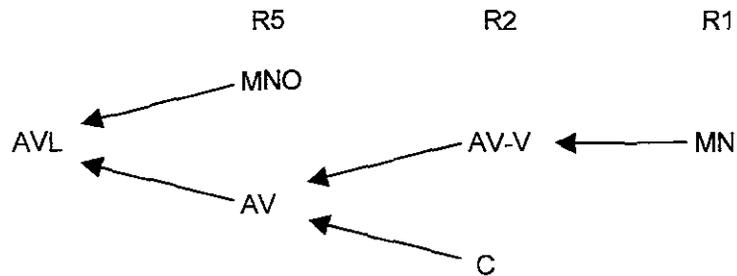


Nótese que AV-V y AV son hechos que no se conocen al principio de la inferencia, sino que se establecen a consecuencia de la aplicación de las reglas. Constituyen conclusiones intermedias que, a su vez, son tomadas como premisas aplicables en las reglas a las cuales se encuentran encadenadas.

Por otra parte, mediante la aplicación del modus tolens puede decirse que si no es posible demostrar la falsedad de las conclusiones, entonces puede afirmarse la "no falsedad" de las mismas.

Siguiendo el ejemplo anterior, supóngase que se intenta demostrar la hipótesis de que la enfermedad consiste en avitaminosis leve:

La inferencia se conduce conforme al siguiente esquema:



Se establece como hipótesis alternativa que no hay presencia de avitaminosis leve, y con base en la regla modus tolens, se busca evidencia en las premisas que permita afirmarlo (i.e. que a partir de la ausencia de la enfermedad, pueda inferirse la ausencia de los síntomas correspondientes). En este caso el sistema solicita información acerca de la posible presencia de MN, C y MNO. Si el universo de hechos permite afirmar que estos tres síntomas están presentes, entonces mediante la aplicación de las reglas R5, R2 y R1 se concluye que no hay evidencia para afirmar que la enfermedad se encuentra ausente. La hipótesis original que contempla la existencia de avitaminosis leve se considera, en consecuencia, que "no es falsa".

Ambos tipos de encadenamiento se asocian a formas de inferencia diferentes: la deducción (hacia adelante), y la inducción (hacia atrás). La deducción no se ocupa de la verdad o falsedad de sus premisas, mientras que la esencia de la inducción consiste, justamente, en ocuparse de ello (Cohen y Nagel, 1968). El verdadero contraste, en consecuencia, no se plantea entre la inferencia deductiva y la inductiva, sino entre inferencias necesarias e inferencias probables. Así concebido y de acuerdo con Sánchez y Beltrán (1990), el encadenamiento hacia atrás se puede asociar al proceso de contrastación del Método Científico.

3.3 Sistema TEMA

3.3.1 Dominio

Este sistema fue concebido para constituir una referencia general sobre los métodos de cultivo más comunes en el ámbito mundial. Debido a su carácter genérico, se decidió que el sistema no debería considerar preferencias locales o regionales, ni problemas asociados a zonas geográficas específicas.

La incorporación de pericia en el sistema implicó que éste fuera capaz de realizar un análisis crítico de las bases conceptuales de sus usuarios. Se decidió que los aspectos que TEMA debiera analizar fueran:

- Sistemas y métodos de cultivo
- Seguimiento y control de la calidad del agua
- Seguimiento y control de la productividad primaria
- Suministro de alimentación balanceada
- Sistemas y métodos de precría (o preengorda).

Las principales especies de camarones que se cultivan en el ámbito mundial, en términos de volúmenes de producción, son: *Penaeus monodon*, *Fenneropenaeus chinensis* y *L. vannamei* (Weidner et al., 1992). Las dos primeras especies son asiáticas y la última es nativa de América. El cultivo de *F. chinensis* se tiene poco documentado en cuanto a la descripción de tecnologías. Se destaca, en cambio, la tolerancia de la especie a aguas frías, lo cual ha sido analizado detalladamente (Liu, 1990). *P. monodon* es la especie más importante y para la que se han desarrollado originalmente las tecnologías de más intensificación. Las técnicas y detalles de su cultivo son bastante conocidas y ampliamente difundidas (v.g. Kong y Co, 1988; Chen y Ramos, 1989).

Existen varias clasificaciones de las tecnologías para el cultivo de camarones peneidos. Lawrence (1985) y Rosenberry (1992) consideran tres tipos básicos: extensivo, semiintensivo e intensivo. Clifford (1990) señala que no existen límites claros entre ellos. Autores como Sandifer et al. (1989) incluyen el tipo semiextensivo y el "muy intensivo", o hiperintensivo.

Se juzgó conveniente que las variantes a ser analizadas por el sistema fueran: semiintensiva, semiintensiva "alta" e intensiva. La primera se caracterizó conforme a lo que se conoce de su práctica en México, Centro y Sudamérica, y la semiintensiva "alta" y la intensiva, conforme a las modalidades "semiintensiva" e intensiva -respectivamente- desarrolladas y practicadas en Estados Unidos, según las describe Hirono (1992). Debe destacarse que en México las modalidades semiintensiva "alta" e intensiva se practican en muy pocas granjas, siendo el modelo semiintensivo el más común. Por otra parte, el término semiintensivo "alto", si bien no es de uso generalizado, resulta apropiado para describir una tecnología de mayor intensificación, intermedia hacia el modelo netamente intensivo.

El modelo intensivo que se practica en Estados Unidos con *L. vannamei* es una adaptación de la tecnología intensiva desarrollada en Taiwan para el cultivo de *P. monodon* (Sandifer et al. 1987; Sandifer et al. 1988). El cultivo intensivo que se practica en México y en Latinoamérica tiene, en su origen, mucha similitud con ambos. La característica básica de este tipo de cultivo consiste en el

uso de estanques con pisos de tierra y aireadores de "paleta". Existen sistemas semiintensivos que utilizan tanques y/o canales de corriente rápida ("raceways") aunque su uso a escala comercial es mucho menos difundido (Rosenberry, 1997).

El sistema extensivo no se consideró, tomando en cuenta que el desarrollo tecnológico implicado es mínimo. El manejo extensivo se realiza en estanques de dimensiones muy grandes o en cuerpos de agua naturales utilizando densidades de "cultivo" muy bajas. No existen características distintivas en términos de seguimiento y control del cultivo, pues dichas actividades prácticamente no se realizan.

Por otra parte, si bien se tiene conocimientos de la existencia de sistema hiperintensivos, estos no fueron considerados debido a que han tenido solo un éxito comercial marginal (Rosenberry, 1997).

3.3.2 Adquisición y representación del conocimiento

De acuerdo con Ignizio (1991) existen dos fuentes de conocimiento útiles para el desarrollo de sistema expertos: el denominado conocimiento "superficial" (o "somero") asociado a la pericia de los expertos y; el llamado conocimiento "profundo" el cual se encuentra disponible a través del estudio formal, o en el dominio público.

En TEMA se utilizó conocimiento "superficial" con dos fines: por un lado, para la definición de factores críticos que permitan caracterizar los distintos tipos de cultivo, así como los correspondientes esquemas de manejo y; por otra parte, para la construcción de un proceso de inferencia para el análisis crítico de esos aspectos.

El conocimiento "profundo" se utilizó como apoyo en la definición de valores de los factores posibles de obtener en la práctica, los que a su vez se utilizaron para definir dos tipos de perfiles para los sistemas de cultivo y los esquemas de manejo, a saber: un perfil aceptable y un perfil que mejor representa, o que resulta recomendable (MRR), siendo el segundo un caso particular del primer tipo de perfil. TEMA realiza un análisis crítico de los conceptos del usuario contrastándolos con ambos tipos de perfiles.

La capacidad de llevar a cabo críticamente dicho análisis requiere la identificación de inconsistencias en los conceptos relativos al sistema de cultivo y a los esquemas de manejo. Para ello se utilizaron diagramas "causa-efecto" de Ishikawa (Schell, 1990) como forma de representación intermedia del conocimiento. Ese tipo de diagramas permite que los problemas potenciales generadores de dicha inconsistencias puedan dividirse en subproblemas y agruparse en conjuntos de factores relacionados entre sí.

La representación final del conocimiento se hizo mediante reglas, según se explicó con anterioridad. En TEMA el usuario del sistema propone el tipo de cultivo que desea analizar y el sistema procede a recabar la evidencia, mediante encadenamiento hacia atrás, que permita afirmar si el tipo de cultivo y el manejo correspondiente son correctos.

3.3.3 Verificación y validación del conocimiento

Ambas tareas se realizaron en paralelo durante el desarrollo del sistema. Después de que un conjunto de reglas se incorporó a la base de conocimiento, éstas se verificaron y validaron mediante la comparación de las conclusiones alcanzadas con los valores aceptables y recomendables preestablecidos para los distintos factores, de conformidad con cada tipo de cultivo.

TEMA se utiliza actualmente para apoyar funciones de asesoría como parte de un programa de postgrado en acuicultura. Por otra parte, una versión modificada del sistema (SAECAM) ha sido utilizada para un programa de capacitación de cuarenta administradores de granjas camaroneras. El sistema se usó para auxiliar a los administradores en la realización de auto evaluaciones y auto diagnósticos de propuestas de granjas, o de granjas en operación. SAECAM enfatiza el análisis de las tecnologías y manejo del cultivo en un contexto de evaluación de propuestas de granjas y ha sido adquirido y utilizado por una institución financiera, para sus propios fines.

3.4 Sistema CALEN

3.4.1. Dominio

Este sistema fue concebido para auxiliar en la toma de decisiones relativas al manejo de la calidad del agua en estanques semiintensivos, así como para el diagnóstico y tratamiento de algunas enfermedades comunes de *L. vannamei*.

Las recomendaciones para el manejo de la calidad del agua se hacen tomando en cuenta los parámetros básicos que permiten el seguimiento de la misma en condiciones semiintensivas, a saber:

- Profundidad de disco de Secchi
- Oxígeno disuelto
- Temperatura
- pH
- Tasa de renovación del agua

La identificación de enfermedades se basa en el análisis de signos gruesos y clínicos a pie de estanque. Las enfermedades consideradas son:

- Avitaminosis (carencia de vitamina C)
- Vibriosis
- Microsporidiosis
- Virosis (IHHN)

CALEN no se concibió como un sistema experto en patología de *L. vannamei*, por lo que los signos utilizados se limitan a los referidos y la diversidad de enfermedades conocidas a diagnosticar no es exhaustiva.

3.4.2 Adquisición y representación del conocimiento

La base de conocimiento de CALEN correspondiente al manejo de la calidad del agua se estableció a partir de la experiencia del autor del presente trabajo de tesis, complementándola con algunas recomendaciones hechas por otros autores y que se encuentran referidas en la literatura especializada.

La representación del conocimiento para el manejo de la calidad del agua se hizo mediante la construcción de árboles de decisión (Hart, 1992). La representación final se hizo con reglas haciendo uso del sistema "vacío" o "shell" denominado "1st-Class HT", según se refirió anteriormente.

La conducción de la inferencia se realizó combinando encadenamientos hacia adelante y hacia atrás de las reglas. Se usó un enfoque deductivo, con encadenamiento hacia adelante para, a partir de la profundidad del disco de Secchi, concluir acerca del nivel de productividad primaria en el estanque. Enseguida, dicho nivel de productividad se asumió como hipótesis a ser confirmada o rechazada, dependiendo de la evidencia que se recabara mediante encadenamiento hacia atrás. La confirmación o rechazo de la hipótesis se realizó con base en indicadores de la calidad del agua que se encuentran correlacionados con el nivel de la productividad primaria. Una vez confirmado el nivel de productividad, mediante encadenamiento hacia adelante se procedió a analizar otros criterios de la calidad del agua y de manejo que permitieran hacer las recomendaciones finales correspondientes.

Por lo que se refiere a la identificación de enfermedades, el conocimiento correspondiente se obtuvo a partir de la experiencia del personal encargado de la operación de los estanques para cultivo de camarón del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.. Las enfermedades analizadas por CALEN corresponden a casos observados y tratados en forma exitosa por dicho personal. Para la elucidación del conocimiento se trabajó mediante entrevistas con el personal, quien participó directamente en la definición de un proceso de

inferencia para el diagnóstico, así como para recomendar tratamientos correctivos.

Se utilizó encadenamiento hacia adelante para, a partir de signos característicos de cada enfermedad, conducir la inferencia en el recabado de otros signos asociados que permitieran concluir sobre la presencia de algún padecimiento y la severidad del mismo.

Se utilizaron menús para llevar a cabo las identificaciones de las distintas enfermedades, presentando grupos de síntomas característicos de cada una de ellas. El reconocimiento de un síntoma asociado a una enfermedad en particular, permitió conducir la inferencia hacia la identificación de más síntomas de esa única enfermedad, abandonando la consulta a través de menús. La conclusión final correspondiente se obtendría una vez que se hubiera intentado agotar el reconocimiento de todos los síntomas asociados a la enfermedad.

Los tratamientos de las distintas enfermedades se presentaron al final de la consulta, una vez establecido el diagnóstico presuntivo.

3.4.3 Verificación y validación del conocimiento

La validación de CALEN se efectuó una vez que se tuvo completo el sistema. Para el manejo de la calidad del agua se validó que el sistema fuera congruente con los valores de los parámetros de calidad propuestos por France Aquaculture (1988), así como con los casos de manejo contemplados y representados, mediante un árbol de decisiones, por esos mismos autores.

También se validó que las recomendaciones derivadas de valores de temperatura y del pH para los ajustes en la tasa de alimentación correspondieran a los criterios manejados por Clifford (1992).

Por lo que se refiere al diagnóstico de enfermedades, el sistema se validó mediante la participación y opinión de personal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. con experiencia en la resolución de este tipo de problemas. El personal participó en la definición de los grupos de síntomas más característicos, los complementarios, y las conclusiones y tratamientos a realizar. La validación se hizo, tanto durante la fase de desarrollo del sistema, como a la conclusión del mismo. Durante la primera, el personal se incorporó directamente para el establecimiento de reglas y su edición en el "shell" descrito previamente. A la conclusión del sistema, el mismo personal validó su funcionamiento, con base en su propia experiencia.

En apoyo al ejercicio de validación, se hizo una evaluación del funcionamiento de CALEN contrastándolo con el conocimiento sobre patología de peneidos reportado en la literatura especializada. Se revisaron los trabajos de

Lightner (1983), Lightner (1985), Brock (1986), Johnson (1989), Brock y Lightner (1990) y Lightner (1996). No se encontraron discrepancias relevantes entre lo señalado por el sistema y lo informado en dichos trabajos.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Sistema TEMA

4.1.1 Representación intermedia del conocimiento

Análisis de los sistemas de cultivo

En las Figura 8 se presentan los resultados obtenidos con la representación intermedia del conocimiento (diagramas de Ishikawa) sobre los factores que permiten identificar y analizar los distintos sistemas de cultivo, a saber:

- Rendimiento en biomasa
- Densidad de cultivo
- Peso y supervivencia finales
- Tamaño de los estanques
- Nivel de aireación
- Tamaño de la granja
- Duración del cultivo

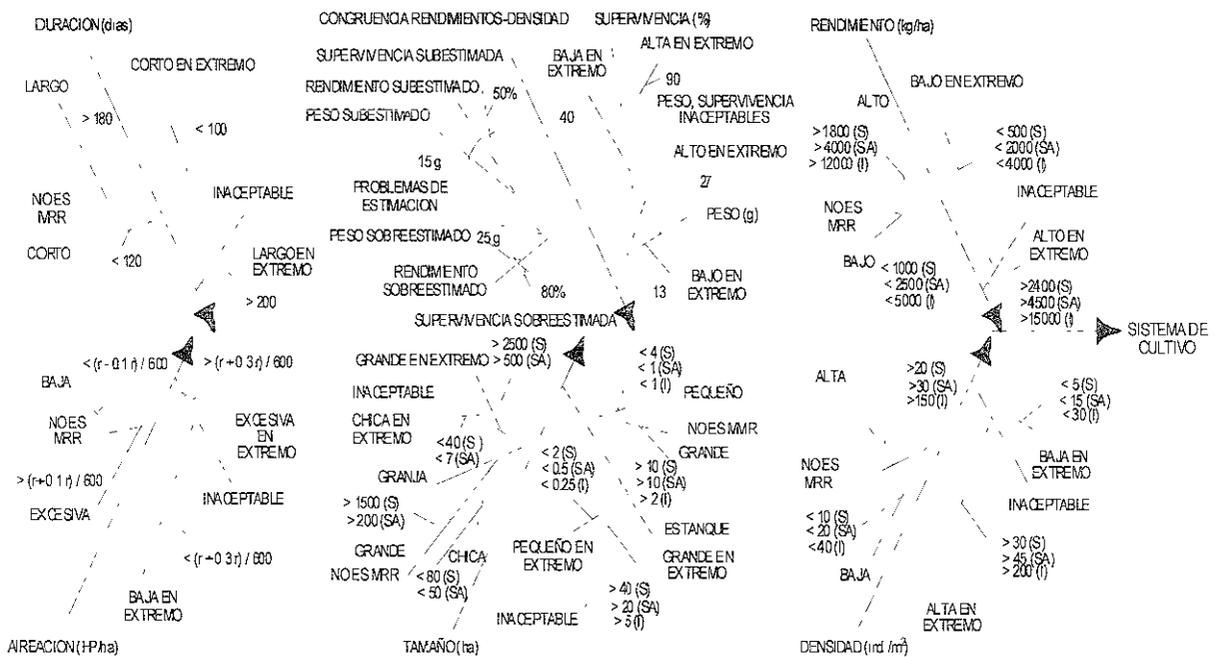


Figura 8. Diagrama causa-efecto para la representación intermedia del conocimiento y análisis de biotecnología de cultivo. Los significados de las abreviaturas son semiintensivo (S), semiintensivo "alto" (SA), intensivo (I), rendimiento (r), y mejor representativo o recomendable (MRR).

En la Tabla 1 se presentan las fuentes de conocimiento "profundo" que se utilizaron para ayudar a definir los valores de los factores. El conocimiento existente indica que los dos primeros, en conjunto con el uso de sistemas de aireación, son los principales factores para la determinación del tipo de tecnología de cultivo.

Existe evidencia de que el límite entre los sistemas extensivos y semiintensivos se encuentra cercano a los 500 kg/ha (Hirono, 1983; Hernandez-Llamas *et al.*, 1993). El límite entre los sistemas semiintensivo y el semiintensivo "alto" e "intensivo" está asociado al uso, en el caso de estos dos últimos, de sistemas de aireación. La aireación se requiere, fundamentalmente, a fin de soportar la carga adicional de biomasa de camarón que implica el manejo más intensivo y mayores densidades de cultivo. De acuerdo con Fujimura (1989) rendimientos de más de 2000 kg/ha requieren del uso de sistemas de aireación. No obstante, la FAO (1991) y Clifford (1994) mencionan que es posible obtener rendimientos tan elevados como 2500 y 2800 kg/ha sin el uso de aireación.

El semiintensivo "alto" implica un nivel intermedio de intensificación, con requerimientos moderados de aireación. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, corresponde al tipo "semiintensivo" que se practica en Estados Unidos, según lo ha descrito Hirono (1992). De acuerdo con ese autor, el límite de producción entre dicho sistema y el intensivo se ubica entre los 4000 y 5000 kg/ha. Entre los rendimientos máximos referidos para el nivel intensivo se tienen hasta 21300 kg/ha (Sandifer *et al.*, 1993). Hirono (1992) destaca, sin embargo, que el límite máximo que de manera consistente se obtiene a escala comercial se encuentra alrededor de los 12,000 kg/ha. El cultivo intensivo se practica principalmente en los Estados Unidos para los que se tienen referidos rendimientos que varían entre 9400 y 11300 kg/ha (Rosenberry, 1997).

En virtud de que no existe un límite preciso en los rendimientos por hectárea que se pueden obtener entre los distintos tipos de cultivo, TEMA admite cierta sobreposición entre los valores de los mismos.

La densidad de cultivo puede variar entre 5 ind./m² -como límite inferior del sistema semiintensivo (Hirono, 1983; Lawrence, 1985)- hasta niveles tan elevados como 200 ind./m² para el sistema intensivo (Sandifer *et al.*, 1991). Hopkins y Villalon (1992) determinaron, para una muestra de 23 granjas extensivas, semiintensivas e intensivas en el ámbito mundial, que existe una relación directa y significativa entre la densidad y los rendimientos de producción. En consecuencia y al igual que en el caso de los rendimientos, TEMA admite cierta sobreposición entre los valores de densidad asociados a los distintos tipos de cultivo.

Tabla 1. Fuentes de conocimiento "profundo" y valores aceptables y MRR de los factores analizados por TEMA para identificar la tecnología de cultivo. S, SA e I significan semiintensivo, semiintensivo "alto" e intensivo, respectivamente.

Factor	Sistema de cultivo	Referido	Fuente	Aceptable	MRR		
Rendimiento (kg/ha)	S SA I	500-2500	FAO (1991)	500-2400	1000-1800		
		650	Tom y Garmendia(1991)				
		1800	Villalon (1991)				
		500-1800	Hirono (1992)				
		1100	Weidner et al (1992)				
		2477	Sandifer et al (1993)				
		1800-2800	Clifford (1994)				
		1000	Viacava (1995)				
		2000-4000	Hirono (1992)			2000-4500	2500-4000
		5331-21300	Sandifer et al. (1991)			4000-15000	5000-12000
5000-12000	Hirono (1992)						
7187	Sandifer et al (1993)						
9400-11300	Rosenberry (1997)						
Densidad (ind / m ²)	S SA I	5-15	Sandifer et al (1989)	5-30	10-20		
		4-21	Villalon (1991)				
		5-20	FAO (1991)				
		5-30	Hirono (1992)				
		12	Sandifer et al. (1993)				
		18-22	Clifford (1994)				
		10-20	Viacava (1995)				
		18-40	Hirono (1992)				
		40-45	Sandifer et al. (1987)			15-45	20-30
		20-100	Sandifer et al. (1988)			30-200	40-150
40-200	Sandifer et al. (1991)						
25-60	FAO (1991)						
40-200	Hirono (1992)						
60	Sandifer et al. (1993)						
Peso final (g)	S I	13.4-19.7	Sandifer et al. (1991)	13-27	15-25		
		23	Villalon (1991)				
		15-20	FAO (1991)				
		19.7	Sandifer et al. (1993)				
		18.5	Clifford (1994)				
		14-16	Viacava (1995)				
		13.7-19.6	Sandifer et al. (1991)			13-27	15-25
15-20	FAO (1991)						
16.2-17.9	Sandifer et al. (1993)						
Supervivencia (%)	S I	65	Villalon (1991)	40-90	50-80		
		70-80	FAO (1991)				
		63	Clifford (1994)				
		58.7-86.1	Sandifer et al. (1991)			40-90	50-80
		70-80	FAO (1991)				
55.1-83.8	Sandifer et al. (1993)						
Tamaño de Estanques (ha)	S SA I	10-40	Sandifer et al. (1989)	2-40	4-10		
		10-20	Clifford (1990)				
		7	FAO (1991)				
		5-25	Rosenberry (1992)				
		2-40	Hirono (1992)				
		2-12	Viacava (1995)				
		0.4-17.5	Hirono (1992)			0.5-20	1-10
		>0.25	Sandifer et al (1989)			0.25-5	1-2
		0.1-1.1	Clifford (1990)				
		2.0	FAO (1991)				
0.8-5	Rosenberry (1992)						
0.5-4	Hirono (1992)						

Tabla 1. Continúa.

Factor	Sistema de cultivo	Referido	Fuente	Aceptable	MRR
Tamaño de granja (ha)	S	100 50-2500	FAO (1991) Hirono (1992)	40-2500	80-1500
	SA	6.5-185	Hirono (1992)	7-500	50-200
Duración (días)	S	100-180	Hirono (1992)	100-200	120-180
		154	Sandifer <i>et al.</i> (1993)		
		120	Viacava (1995)		
	SA	140-180	Hirono (1992)	100-200	120-180
I	<180	Hirono (1992)	100-200	120-180	
	165	Sandifer <i>et al.</i> (1993)			
Aireación (HP/ha)	SA	4.5	Wyban <i>et al.</i> (1989)	*	*
		2-4	Hirono (1992)		
	I	>10	Sandifer <i>et al.</i> (1987)		
		10-24	Sandifer <i>et al.</i> (1991)		
		10-20	Hirono (1992)		
>10	Sandifer <i>et al.</i> (1993)				

- Se utiliza la regla empírica descrita por Hopkins *et al.* (1991) (ver texto). La ecuación para el cálculo de la aireación es: $a = \text{rendimiento}/600$. La aireación aceptable y la recomendable se encuentran dentro los intervalos, $a \pm 0.3a$ y $a \pm 0.1a$, respectivamente

El peso y la supervivencia finales son analizados por TEMA, sólo en caso que se determine que existe una sobre o sub estimación de los rendimientos a partir de la densidad de cultivo propuesta y de valores máximo y mínimo de peso y supervivencia recomendables.

En relación con estos aspectos es importante destacar que, en general, se reconoce que el peso y la supervivencia finales son variables que dependen de múltiples factores. Entre los más importantes pueden mencionarse la densidad de cultivo, la duración del ciclo de producción, así como la pericia que se tenga para el manejo del cultivo.

El efecto "puro" de la densidad ha sido demostrado para diferentes especies de camarones en condiciones de cultivo (Pardy *et al.*, 1983, Hernandez-Llamas *et al.*, 1993). El efecto de la duración del ciclo normalmente se determina mediante análisis de regresión haciendo uso de modelos de crecimiento individual y de mortalidad (Hernandez-Llamas *et al.* 1993; Hernandez-Llamas *et al.*, 1995). Hanson (1979), utilizando el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, determinó el efecto simultáneo de parámetros de calidad del agua como la temperatura, la salinidad y el oxígeno disuelto sobre el crecimiento individual de *L. vannamei*. Más recientemente, Tian y Leung (1993) evaluaron diferentes modelos de crecimiento incorporando el efecto combinado de la temperatura y la densidad en condiciones de cultivo intensivo. La pericia para el manejo del cultivo, por su parte, es un factor difícil de analizar desde el punto de vista cuantitativo y no se conoce ningún estudio que permita relacionarla, de alguna manera, con las tallas y supervivencias finales que se obtienen. No obstante, resulta razonable suponer que el nivel de pericia requerido es

mayor en la medida en que el nivel de intensificación del cultivo también lo es, pues la cantidad y complejidad de decisiones que deben tomarse para manejarlos en apropiadamente se incrementa en forma considerable.

La revisión del conocimiento llevada a cabo para la integración de la base de conocimiento de TEMA, no arrojó evidencia clara de que el peso y supervivencia finales de *L. vannamei* sean diferentes dependiendo de los distintos sistemas de cultivo. Ello puede atribuirse a la multiplicidad de factores que intervienen en su determinación y coincide con los resultados obtenidos por Hopkins y Villalón (1992) quienes señalan, para una muestra a escala mundial de 23 granjas camaroneras, que la relación entre las tallas de cosecha y el nivel de producción (es decir, de intensificación) es escasamente discernible.

Por otra parte, Sandifer *et al.* (1991) han indicado que no hay una tendencia evidente del valor del peso final de *L. vannamei* frente a la densidad de siembra, dentro de un intervalo tan amplio como 20-200 organismos/m² (tallas finales de 13.4 y 18.8 g, respectivamente). Estos mismos autores consideran que las variaciones climáticas anuales, la supervivencia y en particular, el origen de las postlarvas, parecen afectar de manera más importante la talla final que la propia densidad de siembra.

La evidencia actual permite afirmar que al nivel de la industria del cultivo de *L. vannamei*, el efecto "puro" -y frecuentemente esperado- de la densidad de cultivo sobre el peso y la supervivencia finales se encuentra encubierto por otros factores, entre los cuales, la pericia asociada a diferentes niveles de intensificación tienen una influencia determinante. En tal virtud, TEMA utiliza los mismos valores aceptables y recomendables de peso y supervivencia, independientemente del tipo de cultivo que se analice.

El tamaño de los estanques es otro factor que resulta útil para la identificación del tipo de cultivo. Típicamente, los niveles de mayor intensificación requieren estanques de menor tamaño, pues las exigencias de manejo y control son mayores y éstos se facilitan cuando las unidades de producción son pequeñas. Aún así, se presenta alguna sobreposición de valores de este factor entre los distintos tipos de cultivo.

El uso y nivel de aireación son analizados con especial cuidado por TEMA. El sistema de aireación considerado es el aireador de "paleta" el cual es el más común y efectivo (Engle y Hatch, 1988; Clifford, 1992). La experiencia del cultivo asiático con *P. monodon* ha permitido establecer una regla empírica que Hopkins *et al.* (1991) han demostrado también es aplicable a *L. vannamei*. De acuerdo con dicha regla, TEMA establece que es necesario utilizar un caballo de fuerza en el equipo de aireación por cada 600 kg de biomasa en pie de camarón. Se decidió establecer, como criterio

para definir límites aceptables y recomendables, valores entre $\pm 30\%$ y $\pm 10\%$ del nivel de aireación que se determinara aplicando la regla para el rendimiento en biomasa propuesto.

El tamaño de la granja es un factor que se encontró de utilidad sólo para distinguir los casos en que la propuesta se refiere a granjas semiintensivas grandes (mayores que 500 ha). Si bien se acepta que, por el monto de la inversión, las granjas intensivas debieran ser más pequeñas que las semiintensivas, no se encontró evidencia consistente que permitiera definir valores aceptables para las primeras.

La duración del período de cultivo no es un factor determinante para la identificación de tipos de cultivo. Sin embargo, resulta ser un factor importante para el análisis, en tanto que considera la posibilidad de obtener determinadas tallas y supervivencias finales en períodos de tiempo cuya factibilidad es reconocida.

Seguimiento y Control de la Calidad del Agua

En la Figura 9 se presenta el diagrama "causa - efecto" que permite la representación del conocimiento necesario para el análisis y control de la calidad del agua.

El número de parámetros que se registran para fines de seguimiento y control de la calidad del agua es muy variable. No obstante, existen cuatro parámetros que, por lo general, son atendidos en las granjas, a saber: oxígeno disuelto, temperatura, salinidad y pH. En la Tabla 2 se presentan los valores referidos para estos parámetros, así como los que TEMA considera aceptables y recomendables.

El nivel del oxígeno disuelto es particularmente importante durante las madrugadas, en las que la respiración de la biomasa del camarón y las otras especies presentes en el estanque, pueden abatir drásticamente el nivel y provocar mortalidades. El nivel mínimo de oxígeno en la madrugada generalmente es recomendable mantenerlo por arriba de 3 mg/l. Para algunos sistemas semiintensivos, sin embargo, se han considerado aceptables niveles un poco menores.

En la literatura revisada se encontró, invariablemente, que el oxígeno es un parámetro que debe registrarse diariamente. TEMA se programó para que considerara como indispensable el registro diario de este parámetro.

La temperatura es un factor importante pues los procesos bioquímicos son directamente dependientes de ella. Existe un intervalo de valores de temperatura en el que se presentan tasas de crecimiento máximas. Las tem-

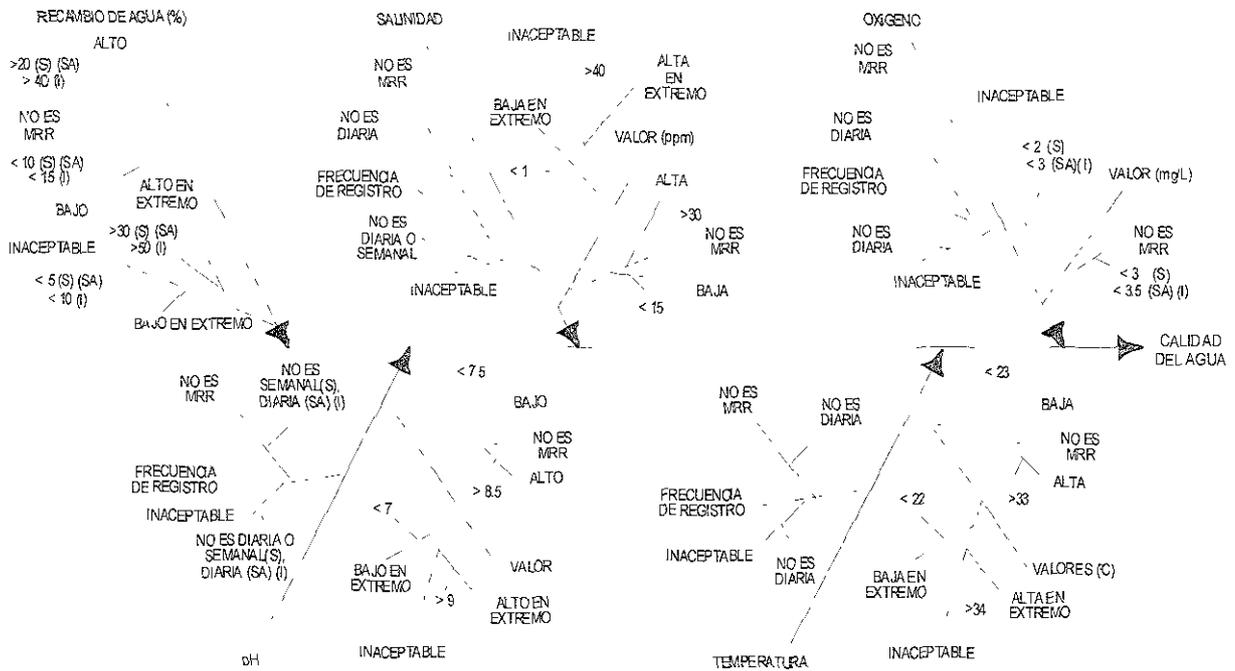


Figura 9. Diagrama "causa-efecto" para la representación intermedia del conocimiento y análisis de la calidad del agua. Los significados de las abreviaturas son semiintensivo (S), semiintensivo "alto" (SA), intensivo (I), y mejor representativo o recomendable (MRR).

peraturas inconvenientemente altas son indeseables, particularmente debido a la estratificación térmica de la columna de agua del estanque que pueden provocar y a su baja capacidad de disolución del oxígeno. Las temperaturas bajas en exceso, por otro lado, son inconvenientes porque disminuyen la tasa de crecimiento del camarón.

Las temperaturas que analiza TEMA se refieren a las máximas y mínimas que se esperan registrar durante el ciclo de mayores rendimientos de producción. Los intervalos aceptables y recomendables son 22 - 30 °C y 23 - 28 °C para la temperatura mínima; y para la máxima: 25 - 34 °C y 28 - 33 °C, respectivamente.

Adicionalmente, TEMA analiza la diferencia entre la temperatura máxima y mínima, a fin de verificar congruencia entre sus magnitudes y para que la diferencia sea de por lo menos 2 °C. De otra forma, TEMA solicita se explique y justifique la razón para la que se espera esa estabilidad térmica durante todo el ciclo de cultivo.

La diferencia mínima de tres grados se determinó con base en los datos referidos por Boyd (1990) para estanques ubicados en Ecuador, en los que se estima que durante el período de mayor estabilidad térmica y para un ciclo de producción de 150 días se registra una diferencia mínima aproxima-

Tabla 2. Fuentes de conocimiento "profundo" y valores aceptables y MRR de los factores considerados por TEMA para el análisis del manejo de la calidad del agua. S, SA e I significan semiintensivo, semiintensivo alto e intensivo, respectivamente.

Factor	Sistema de cultivo	Referido	Fuente	Aceptable	MRR
Oxígeno (mg/l)	S	>3 2-3 >3 >2.8	Lawrence (1985) Clifford (1990) Villalon (1991) Hirono (1992)	>2	>3
	SA,I	>3.5	Hirono (1992)	>3	>3.5
Frecuencia De registro	S	Diario	Villalon (1991)	Diario	Diario
	SA,I	Diario	Hirono (1992)	Diario	Diario
Temperatura (°C)	Todos	23-32 25-32*	Lawrence (1985) Hirono (1992)	22-34	23-33
	S	23-34 <33 28-30*	Clifford (1990) Villalon (1991) Clifford (1994)		
Frecuencia De registro	Todos	Diario	Hirono (1992)	Diario	Diario
	S	Diario	Villalon (1991)		
Salinidad (‰)	Todos	10-30 15-25	Lawrence (1985) Boyd (1989)	1-40	15-30
	S	0-40 15-25*	Hirono (1992) Clifford (1990) Clifford (1994)		
Frecuencia De registro	I	15-30	Sandifer <i>et al.</i> (1991)		
	Todos	Diario, Semanal	Hirono (1992)	Diario, semanal	Diario
PH	Todos	8 6-9 6.6-9 7-9	Lawrence (1985) Boyd (1989) Boyd (1990) Hirono (1992)	7-9	7.5-8.5
	S	7-11 7.4-8.5 8 1-9	Clifford (1990) Villalon (1991) Clifford (1994)		
Frecuencia De registro	I	6-9	Sandifer <i>et al.</i> (1989)		
	S	Semanal	Hirono (1992)	Diario, semanal	Semanal
Recambio de agua (%/día)	SA,I	Diario	Hirono (1992)	Diario	Diario
	S	5-20 10 5-20 16 8-16 16-24 40-50 25	Hirono (1992) Viacava (1995) Hirono (1992) Sandifer <i>et al.</i> (1987) Sandifer <i>et al.</i> (1988) Sandifer <i>et al.</i> (1991) Hopkins y Villalon (1992) Hopkins <i>et al.</i> (1993)	5-30 5-30 10-50	10-20 10-20 15-40

da de 2 °C.

Prácticamente en la totalidad de los trabajos revisados que hacen referencia a la frecuencia con que debe registrarse la temperatura, se señala que es diaria. TEMA acepta y recomienda dicha frecuencia.

Los camarones peneidos son organismos eurihalinos cuya adaptación a una amplia gama de concentraciones salinas en el agua ha sido

destacada por Doroshov et al. (1979) para fines de manejo acuícola. Al igual que la temperatura, este parámetro tiene un efecto sobre el crecimiento y la supervivencia del camarón que no depende del nivel de intensificación del cultivo.

Para los valores máximo y mínimo de salinidad, TEMA considera valores aceptables entre 1 y 40 ‰; y recomendables entre 15 y 30 ‰. La mayoría de los trabajos revisados recomiendan que la salinidad se registre diariamente. TEMA hace lo mismo aceptando, inclusive, una frecuencia de registro semanal, pero haciendo la observación correspondiente.

Por lo que se refiere al pH, TEMA analiza el valor alrededor del cual se tiene contemplado mantenerlo durante el ciclo de producción; aceptando valores entre 7.0 y 9.0 y señalando como más recomendables los superiores a 7.5 hasta 9.0.

Hirono (1992) indica que las granjas en el continente americano registran el pH semanalmente cuando el sistema usado es semiintensivo, y diariamente cuando el sistema es intensivo. TEMA recomienda dichas frecuencias para los sistemas de cultivo señalados.

El recambio de agua se efectúa para mantener en buen estado la calidad del agua. Existe la suposición general que las granjas intensivas efectúan un mayor recambio. No obstante, Hopkins y Villalon (1992) determinaron que, en el caso del cultivo del camarón, la correlación entre la cantidad de agua utilizada por unidad de biomasa de producto y el nivel de intensificación es baja. Más aún, las tendencias actuales apuntan hacia que el nivel de intensificación no sea tan dependiente del uso creciente del recambio de agua, sino del uso eficiente de la aireación y del aprovechamiento del contenido proteico de los alimentos balanceados (Hopkins et al., 1993; Chamberlain y Hopkins, 1994; Martinez-Cordova et al., 1997).

Con base en lo anterior, se juzgó más conveniente que TEMA manejara este factor como criterio para el control de calidad del agua, que como factor distintivo del tipo de cultivo durante la primera parte de la consulta.

Para los sistemas intensivo y semiintensivo "alto", TEMA acepta recambios superiores al 5 y hasta 30 %, considerando lo más adecuado entre 10 y 20 %. Valores inferiores a 5 % o superiores al 30 % los considera inaceptables. Para el sistema intensivo acepta desde 10 % hasta 50 %, recomendado el intervalo del 15 al 40 %.

Seguimiento y Control de la Productividad Primaria

La importancia de la inducción y del control de la productividad primaria en estanques para cultivo de camarón es fundamental. Anderson et al. (1987) han demostrado la función que desempeña la productividad para la alimentación del camarón y la forma en que el incremento de la misma, mediante el uso de fertilizantes, mejora el crecimiento y los rendimientos de producción. En la figura 10 y la Tabla 3 se presentan los resultados de la representación intermedia del conocimiento y las fuentes de conocimiento "profundo" utilizadas para el análisis del seguimiento y control de la productividad.

Existen dos tipos básicos de fertilizantes: los orgánicos y los químicos. En la actualidad los primeros prácticamente no se utilizan, además de que su uso no se considera los más recomendable, por lo que TEMA analiza a detalle únicamente los del segundo tipo. Existe una gran diversidad de esquemas de fertilización, la mayoría de los cuales se ha establecido empíricamente por los productores en respuesta a las condiciones particulares de sus granjas.

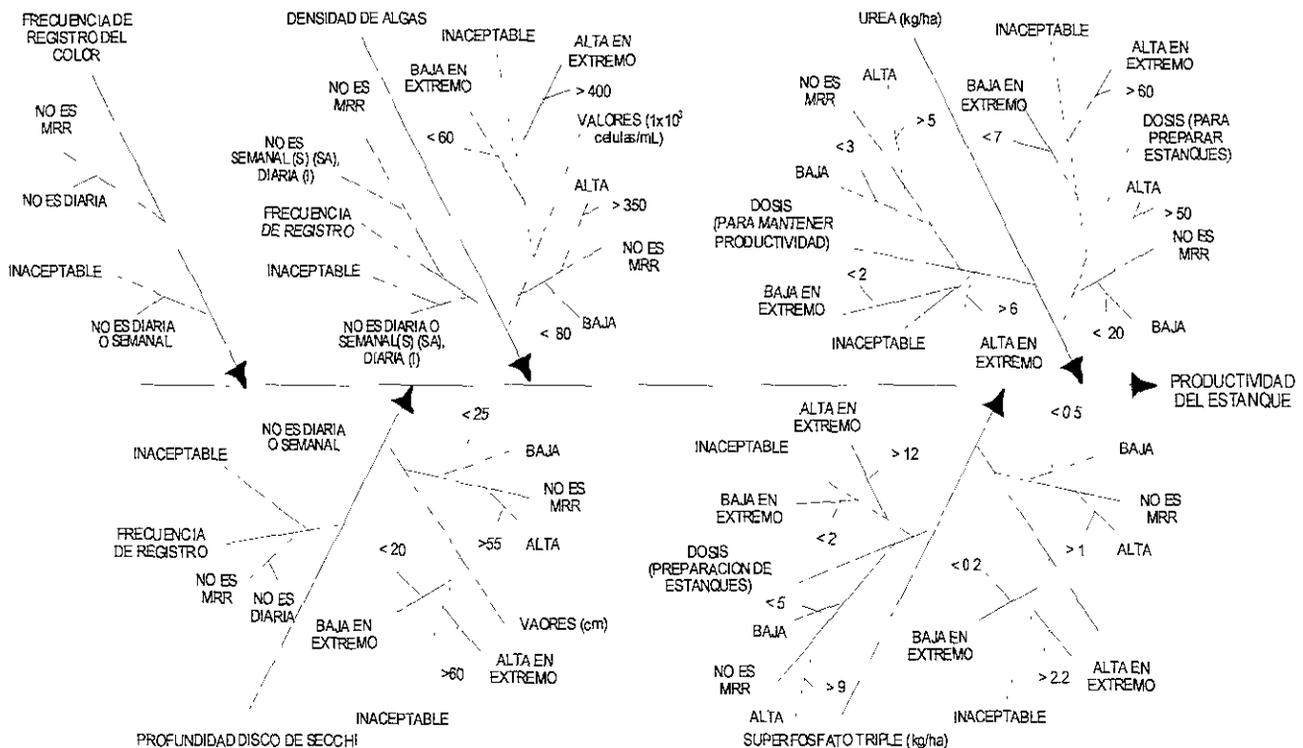


Figura 10. Diagrama "causa-efecto" para la representación intermedia del conocimiento y análisis de la productividad del estanque. Los significados de las abreviaturas son semiintensivo (S), semiintensivo "alto" (SA), intensivo (I), y mejor representativo o recomendable (MRR).

Tabla 3. Fuentes de conocimiento "profundo" y valores aceptables y MRR de los factores considerados por TEMA para el análisis de la productividad. Los significados de las abreviaturas son: PE, preparación del estanque; SP, sostenimiento de la productividad; SFT, Super Fosfato Triple.

Factor	Sistema De Cultivo	Referido	Fuente	Aceptable	MRR
Urea (kg/ha)* (PE)	Todos	15-35	Arredondo (1991)	7-80	20-50
		7.9	Cook (1991)		
		16	Hirono (1992)		
		28	Cook y Clifford (1998)		
	S	52.8	Villalon (1991)		
		60	Clifford (1994)		
(SP)	Todos	5-6	Arredondo (1991)	2-6	3-5
		2.5	Cook (1991)		
		2.4	Cook y Clifford (1998)		
	S	1.8	Villalon (1991)		
		4.3	Clifford (1994)		
SFT (kg/ha)* (PE)	Todos	5-12	Arredondo (1991)	2-12	5-9
		2.6	Cook (1991)		
		8	Hirono (1992)		
	S	5.3	Villalon (1991)		
		3	Clifford (1994)		
(SP)	Todos	2.2	Arredondo (1991)	0.2-2.2	0.5-1
		0.5	Cook (1991)		
	S	0.2	Villalon (1991)		
		0.3	Clifford (1994)		
Densidad de algas (1×10^3 células/ml)	Todos	80-400	Hirono (1992)	60-400	80-350
		>80-100	Jory (1995)		
	S	80-120	Clifford (1992)		
		80-300	Clifford (1994)		
Frecuencia de registro	S,SA	Diario,	Hirono (1992)	Diario,	Semanal
		Semanal		Semanal	
	I	Diario	Hirono (1992)	Diario,	Diario
				Semanal	
Profundidad de Secchi (cm)	Todos	25-35	Villalon (1991)	20-60	25-55
		25-55	Hirono (1992)		
		20-55	Clifford (1994)		
Frecuencia de registro	Todos	Diario,	Hirono (1992)	Diario,	Diario
		Semanal		semanal	
Frecuencia de registro de color del agua	Todos	Diario	Hirono (1992)	Diario,	Diario
				semanal	

(*) es preferible ajustarlo a las condiciones del sitio

Tomando en cuenta lo anterior, TEMA acepta cantidades de fertilizantes (en kg/ha) dentro de intervalos amplios, aunque recomienda dosificaciones que se aproximan a las más comúnmente usadas. TEMA maneja para fertilización inicial: 7 - 80 de urea como aceptables y 15 - 60 como recomendables; 1 - 15 de Super Fosfato Triple como aceptables, y 1.8 - 10 como recomendables. Para sostenimiento: 2 - 30 de urea como

aceptables y 5 - 15 como recomendables; 0.1 - 17 de Super Fosfato Triple como aceptables y 0.2 - 5.0 como recomendables.

La medición de la profundidad del disco de Secchi y la cuenta de microalgas son los métodos prácticos más utilizados para estimar la productividad de los estanques. La observación del color del agua, por su parte, aporta elementos cualitativos importantes para el control de la productividad y la identificación de problemas potenciales.

Los sistemas de cultivo que producen mayor biomasa de camarón pueden requerir una mayor concentración de fitoplancton (Wyban y Sweeney, 1991). No obstante, no se dispone de evidencia consistente que permita identificar densidades adecuadas para los sistemas más intensivos. Por lo general e independientemente del nivel de intensificación, se acepta que debe manejarse un mínimo de 80,000 células/ml (Clifford, 1992; Jory, 1995). En contraste, no existe consenso respecto a la densidad máxima permisible. Hirono (1992) reporta densidades tan altas como 400,000 células/ml para sistemas semiintensivos.

El intervalo de profundidades del disco de Secchi se tiene más claramente establecido (entre 20 y 55 cm). En general, puede decirse que no existe una diferencia entre las densidades y profundidades recomendables para los distintos sistemas de cultivo de camarón. En tal virtud, TEMA maneja valores aceptables y recomendables de ambos factores en común para todos los tipos de tecnologías.

Se reconoce la conveniencia de registrar diariamente los indicadores de productividad (incluyendo la observación del color del agua); con excepción de la densidad de células para sistemas semiintensivos, en el que el recuento semanal resulta más práctico.

Alimentación

La alimentación balanceada suplementaria adquiere importancia, en conjunto con la fertilización, en la medida en que la productividad de los estanques empieza a ser limitativa para la capacidad de carga de la biomasa de camarón. Por otra parte, destaca también el hecho de que la alimentación constituye el componente principal de los costos de producción (cerca del 50%, tanto en sistemas semiintensivos como intensivos Hatch et al., 1987; Lambregts et al., 1993).

En la Figura 11 y la Tabla 4 se presentan el diagrama "causa-efecto" para el análisis de la alimentación, así como los factores involucrados en el mismo en conjunto con sus valores referidos, aceptables y recomendables.

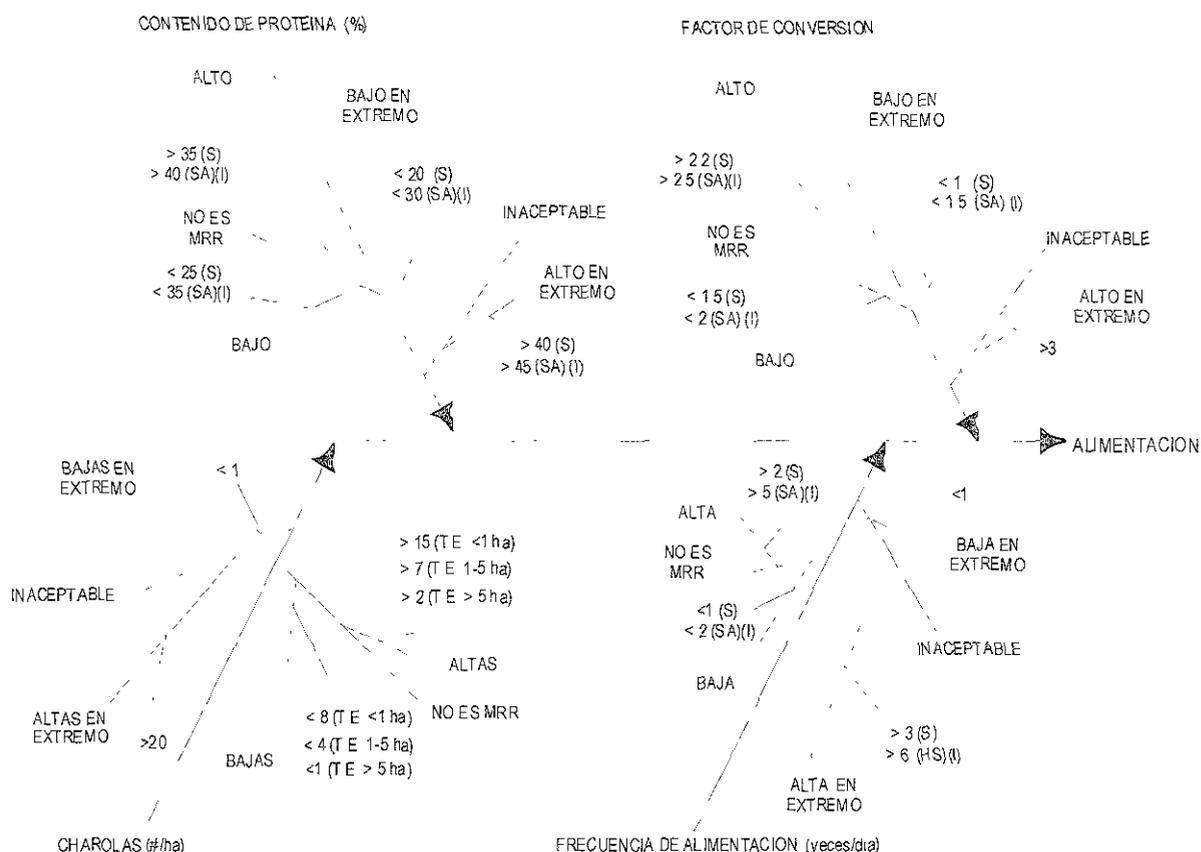


Figura 11. Diagrama "causa-efecto" para la representación intermedia del conocimiento y análisis de la alimentación balanceada suplementaria. T.E., S, SA , I y MRR significan tamaño del estanque, semiintensivo, semiintensivo alto, intensivo y mejor representativo o recomendable, respectivamente.

Tabla 4. Fuentes de conocimiento "profundo" y valores aceptables y MRR de los factores considerados por TEMA para el análisis de la alimentación balanceada. S, SA e I significan semiintensivo, semiintensivo alto e intensivo, respectivamente.

Factor	Sistema De Cultivo	Referido	Fuente	Aceptable	MRR
Factor de Conversión	S	1.5-2.5	FAO (1991)	1-3	1.5-2.2
		2.5	Villalon (1991)		
		2	Hopkins y Villalon (1992)		
	SA,I	1-1.5*	Clifford (1992)	1.5-3	2-2.5
		0.5-1.6	Clifford (1994)		
		1.7	Viacava (1995)		
S	2-2.5	FAO (1991)	1-3	1-2	
	2	Hopkins y Villalon (1992)			
	1.5-2*	Clifford (1992)			
Frecuencia de alimentación (veces/día)	S	1	Villalon (1991)	1-3	1-2
		1-2	Jory (1995)		
	SA,I	>3	Clifford (1992)	1-6	2-5
		1-5	Hopkins y Villalon (1992)		

Tabla 4. Continúa.

Factor	Sistema de Cultivo	Referido	Fuente	Aceptable	MRR
Contenido de proteína (%)	S	20-25	Villalon (1991)	20-40	25-35
	SA, I	25	Sandifer <i>et al.</i> (1993)	30-45	35-40
		40	Sandifer <i>et al.</i> (1993)		
		35-40	J Zendejas (com., pers., 1997)		
	Todos	35-40	A. Flores (com., pers., 1997)		
	Todos	25-35	Tacon (1990)		
Charolas (#/ha)					
Estanque:					
<1 ha		8-14	Abesamis (1989)	1-20	8-15
		10-15	Jory (1996)		
1-5 ha				1-20	4-7
>5 ha		1-2	Clifford (1992)	1-20	1-2
		1-2	Jory (1996)		

Los factores de conversión alimenticia generalmente son más altos en sistemas intensivos (FAO, 1991; Clifford, 1992). También se acepta que una mayor frecuencia de alimentación mejora el factor de conversión (Clifford, 1992). La mayor frecuencia de alimentación que se reporta para los sistemas intensivos (Hopkins y Villalon, 1992) se puede interpretar como una consecuencia del esfuerzo para reducir el factor de conversión.

TEMA analiza el FCA y la frecuencia de alimentación correspondiente al método de alimentación al boleó en forma manual o automática, sin supervisión del consumo efectivo mediante el uso de "charolas alimentadoras". Por lo tanto, valores correspondientes a FCA altamente eficientes (<1.5) se considera que son consecuencia de un manejo muy bueno de cultivo (como el que se basa en el uso de ese tipo de charolas).

El uso de "charolas alimentadoras" es probablemente la mejor opción para el manejo y ajuste de raciones, y para evitar sub o sobrealimentación (Jory, 1995, Jory, 1996). El método se ha venido difundiendo dentro las granjas y, en consideración a su importancia creciente, TEMA recomienda su utilización y ofrece la posibilidad de consultar algunos aspectos básicos sobre su uso. Se ha determinado que el número de charolas por unidad de área debe ser mayor cuando se usan estanques pequeños (y por lo tanto cuando la intensificación es mayor). TEMA analiza el factor de conversión y la frecuencia de alimentación tomando en cuenta la dependencia de ambos respecto al nivel de intensificación; en tanto que el número de charolas por hectárea se analiza, a su vez, dependiendo del tamaño de los estanques, de acuerdo con lo referido en la literatura.

En ciertas regiones las "charolas alimentadoras" se han venido utilizando para suministrar la totalidad del alimento, en vez de servir únicamente para verificar su consumo (Viacava, 1995; Jory, 1996, Cook y Clifford, 1998). No obstante, a pesar de ser una práctica reconocida como altamente eficiente, su uso es apenas reciente y muy restringido. TEMA no analiza este método de alimentación.

Por lo que se refiere al contenido de proteína, Tacon (1990) refiere que normalmente varía entre 25 y 35% y que la proteína es el principal factor limitante para el crecimiento de los organismos, una vez que se alcanza la capacidad de carga de un estanque. Sandifer et al. (1993), por otra parte, han utilizado 25 % para el cultivo semiintensivo y 35 % para el cultivo intensivo de *L. vannamei*. Los fabricantes de alimentos balanceados para el cultivo de camarón (v.g. RALSTON PURINA, PIASA) recomiendan dietas con mayor proteínico cuando el manejo es semiintensivo alto o intensivo (35-40%). TEMA toma en cuenta este tipo de recomendaciones y sugiere contenidos de proteína más altos para los sistemas de mayor intensificación.

TEMA enfatiza particularmente la conveniencia de que los parámetros de la alimentación se encuentren bien estimados, en atención a la importancia que esta actividad reviste en términos de costos de producción.

La incorporación en TEMA de la capacidad de análisis de los métodos de alimentación constituyó un problema particularmente difícil de resolver. Por una parte, la cantidad de variantes de los métodos básicos que las granjas han adoptado, para adaptarlos a sus necesidades, es considerable. En un estudio para la evaluación de un alimento balanceado comercial que incorporó una muestra de 174 granjas comerciales, Jory (1996) indica que, debido a esa amplia gama de variantes, el FCA varió ampliamente entre 1 y 2.61. Por otro lado, los métodos de alimentación están cambiando rápidamente en búsqueda de mayor eficiencia y de disminuir al mínimo el impacto que las granjas tienen en los cuerpos de agua receptores de sus descargas. Debido a ello, resulta evidente que una tarea fundamental a realizar consistirá en la actualización permanente de TEMA a fin de incorporar los cambios en las prácticas de alimentación, así como en los posibles resultados derivados de su aplicación.

Preengorda

Las ventajas y desventajas de llevar a cabo una etapa de preengorda han sido analizadas por diversos autores como Clifford (1985), Fast (1991), Sturmer et al. (1992), Stern y Letelier (1992), y Samocha y Lawrence (1992). TEMA proporciona explicación sobre dichas ventajas y desventajas de acuerdo con las consideraciones hechas por los autores referidos.

Tabla 5. Fuentes de conocimiento "profundo" y valores aceptables y MRR de los factores analizados por TEMA para el análisis de la etapa de preengorda. PL significa postlarva.

Factor	Referido	Fuente	Aceptable	MRR
Supervivencia (%)	84	Parker <i>et al.</i> (1974)	50-90	70-85
	70	Hirono (1989)		
	80-90	Wyban <i>et al.</i> (1991)		
	67-75	Villalon (1991)		
	60-80	Stern y Letelier (1992)		
Duración (días)	32	Parker <i>et al.</i> (1974)	15-55	25-45
	45	Hirono (1989)		
	30-50	Wyban <i>et al.</i> (1991)		
	45	Villalon (1991)		
	15-45	Stern y Letelier (1992)		
Contenido de Proteína (%)	35	Villalon (1991)	25-50	30-45
	35-45	Stern y Letelier (1992)		
	30-45	Rosenberry (1997)		
Frecuencia de Alimentación (veces/día)	2	Villalon (1991)	1-4	2-3
	1	Stern y Letelier (1992)		
	2-3	Samocho y Lawrence (1992)		
Densidad Estanques (PL/m ²)	200	Parker <i>et al.</i> (1974)	50-200	100-150
	150-200	Duenas <i>et al.</i> (1983)		
	50-200	Aquacop (1985)		
	150-200	Villalon (1991)		
	50-150	Stern y Letelier (1992)		
"Raceways" (PL/l)	150-200	Rosenberry (1997)	25-45	30-40
	30-40	Stern y Letelier (1992)		
Tamaño Estanques (Ha)	0.05	Parker <i>et al.</i> (1974)	0.02-2	0.25-1.5
	0.9-1.9	Duenas <i>et al.</i> (1983)		
	0.25-1	Aquacop (1985)		
	0.6-0.8	Villalon (1991)		
	0.5-1.5	Stern y Letelier (1992)		
"Raceways" (t)	20-60	Stern y Letelier (1992)	5-100	20-60
Area de Preengorda (%)	5-10	Stern y Letelier (1992)	2-20	5-10

4.1.2 Representación final del conocimiento

De conformidad con lo explicado en la parte correspondiente a la Metodología, la representación final con reglas se hizo mediante la edición de árboles de decisión, recurriendo a las facilidades ofrecidas por el sistema "vacío" 1st-Class. La representación final permitió obtener como resultado una base de conocimiento constituida por un total de 433 reglas. El encadenamiento de las reglas se hizo hacia atrás en un sentido opuesto al indicado por las flechas de los diagramas "causa-efecto" presentados en las figuras 8 a la 12. En el Apéndice 1 se presentan las reglas que constituyen la base de conocimiento de TEMA.

En la Figura 13 se presenta, a manera de ejemplo, la edición que se llevó a cabo para el encadenamiento hacia atrás de las reglas utilizadas para el análisis de un cultivo intensivo. Se establece como hipótesis que el cultivo no es intensivo, la cual es aceptada o rechazada dependiendo de la evidencia que el sistema recaba a partir de la información proporcionada por el usuario y de sus propias conclusiones.

```

Edit, Mark, Print, Import, Stats, Text, Goto_chain, Return
Files Definitions Examples Methods Rule Advisor line: 7
[F9=Help] [F10=Intensiv] [F9=Methods] [F10=Advisor]
---- start of rule ----
#RENDIMIEN??
#adecuado:#DENSIDAD??
#adecuada:#CONGRUENCI??
#<0.:NO??
#:#PESO??
#correcto:#SUPERVIVEN??
#correcta:#BIOMASA??
#FALSE:ERROR_CALC??
#regresa:_____GOTO_1
#continua:_____GOTO_11
#TRUE:#TAM_EST??
#correcto:#DURACION??
#adecuada:#AIREACION??
#suficiente:_____conclusion1
#excesiva:_____conclusion2
#baja:_____conclusion3
#inaceptable:_____conclusion4
#long:#AIREACION??
#suficiente:_____conclusion5
#excesiva:_____conclusion6
{Z = (@TRUNC(DENS*10000*SUPER/100*(PESO/1000)))}

```

Figura 13. Ejemplo de edición de reglas como representación final del conocimiento en TEMA. El encadenamiento de reglas hacia atrás para el análisis de los distintos factores se indica con el símbolo “#”.

Los factores considerados para la caracterización de los sistemas de cultivo se analizan, uno a uno, mediante la aplicación de reglas encadenadas hacia atrás (indicadas con el símbolo #). TEMA avanza en el análisis en la medida en que no se encuentra evidencia para rechazar que el cultivo es intensivo. Según se explicó con anterioridad, el peso y supervivencia finales se verifican cuando se identifica que existe un problema de estimación en los rendimientos. Asimismo, TEMA analiza la corrección del cálculo de la biomasa en función del peso, la supervivencia y la densidad al inicio del cultivo. En caso de que se detecte un error en el cálculo, la consulta regresa al análisis de los valores de rendimiento, solicitándosele al usuario que ingrese nuevos valores.

En la Figura 14 se presenta un ejemplo de reglas encadenadas hacia atrás para el análisis de los factores (aireación, en este caso). Cuando el

usuario establece que los sistemas intensivo o semiintensivo alto no requieren un sistema de aireación, TEMA determina la existencia de una incongruencia inaceptable y concluye la consulta. El sistema utiliza una regla encadenada hacia adelante para concluir la consulta en casos como el referido (regla "#fin" en la figura). Antes de concluir la consulta, se solicita al usuario que confirme o modifique su respuesta.

En las reglas que se presenta en la Figura 14, la tasa de aireación se analiza utilizando límites de valores aceptables y MRR derivados de la aplicación

```

Edit  Mark  Print  Import  Stats  Text  goto_chain  Return
Files  Definitions  Examples  Methods  Rule  Advisor  line: 6
[File=help]  File = aireacio  [F9=Methods]  [F10=Advisor]
---- start of rule ----
AIREACION??
s:TASA??
L:LIMITE1??
  <0.:ERROR1??
    L:CONFIRMAR??
      s:_____ #fin
      n:_____ GOTO_2
    =0.:LIMITE2??
      <0.:ERROR2??
        L:_____ GOTO_5
      =0.:LIMITE3??
        <0.:_____ baja
        =0.:LIMITE4??
          <0.:_____ excesiva
          =0.:_____ adecuada
      n:ERROR??
        L:CONFIRMAR??
          s:_____ #fin
          n:_____ GOTO_1
  == end of rule ==
Values:--Results

```

Figura 14. Ejemplo de reglas encadenadas hacia atrás para el análisis de la aireación. TEMA encadena estas reglas a partir del factor "#aireación" en la Figura 13.

de la regla empírica descrita previamente. De la misma manera que para el caso del sistema de aireación, las respuestas incorrectas requieren ser confirmadas antes de concluir la consulta; o corregidas, para cuyo efecto se solicita al usuario ingresar de nuevo los datos. Algunos valores, aunque aceptables, pueden conducir a la conclusión que la tasa de aireación es baja o excesiva. No obstante, algunos valores aceptables pueden ser MRR, indicando que la tasa es adecuada. Una vez que TEMA ha hecho el análisis correspondiente a la tasa de aireación y concluido lo correspondiente, la secuencia de encadenamiento de las reglas regresa a la regla que se presenta en la Figura 13.

Es destacable que TEMA es un sistema amable con el usuario en lo relativo al manejo de la información que éste ingresa para el análisis. El usuario puede tener escasos conocimientos sobre el cultivo de *L. vannamei* y, aun así, recibe la asistencia necesaria para que ingrese valores aceptables y recomendables y pueda avanzar en el proceso de consulta.

4.1.3 Manejo de hipertexto

En las figuras 15 y 16 se muestra, en forma resumida, la manera en que TEMA conduce el proceso de consulta, así como las facilidades de hipertexto que ofrece durante la misma. En las figuras, las flechas indican la ruta principal que el sistema sigue durante la consulta, según la define el encadenamiento de las reglas contenida en su base de conocimiento. Las flechas conectan las secciones superiores de los cuadros, mismas que corresponden a pantallas que el sistema experto controla directamente a fin de presentar o solicitar información al usuario. Las secciones inferiores de los cuadros corresponden a "botones" que permiten el acceso a tarjetas de hipertexto.

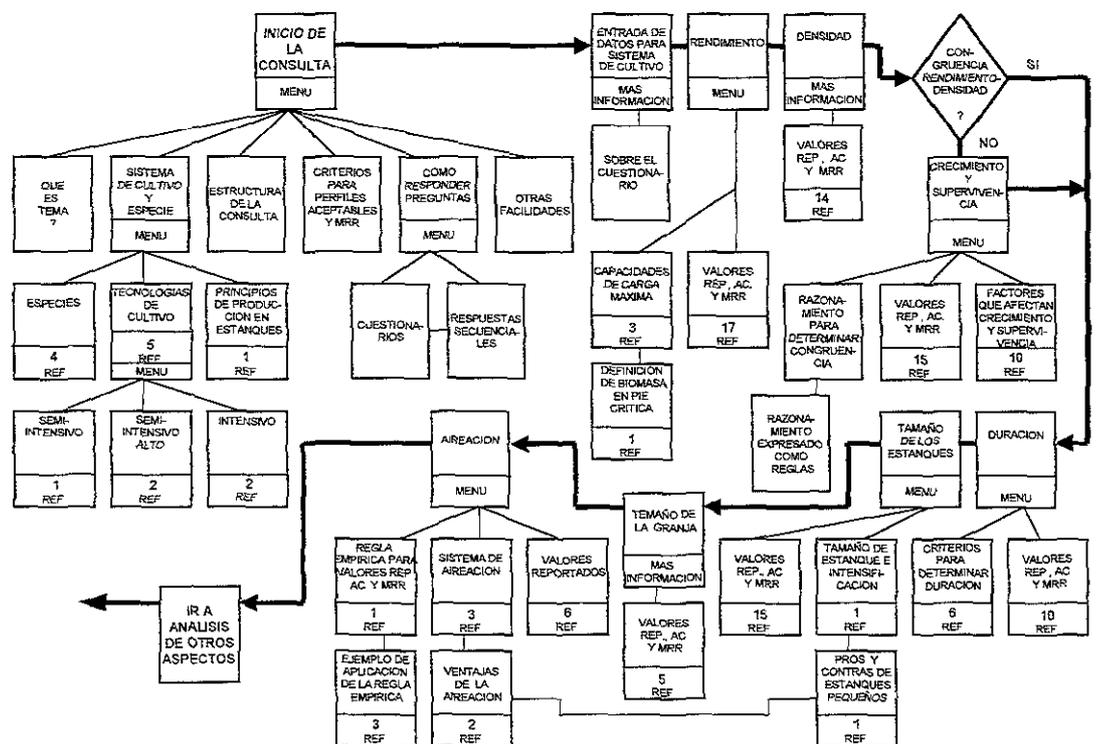


Figura 15. Secuencia gráfica descriptiva de los principales despliegues en pantallas ofrecidos por TEMA haciendo uso de hipertexto. La secuencia corresponde al análisis del sistema de cultivo.

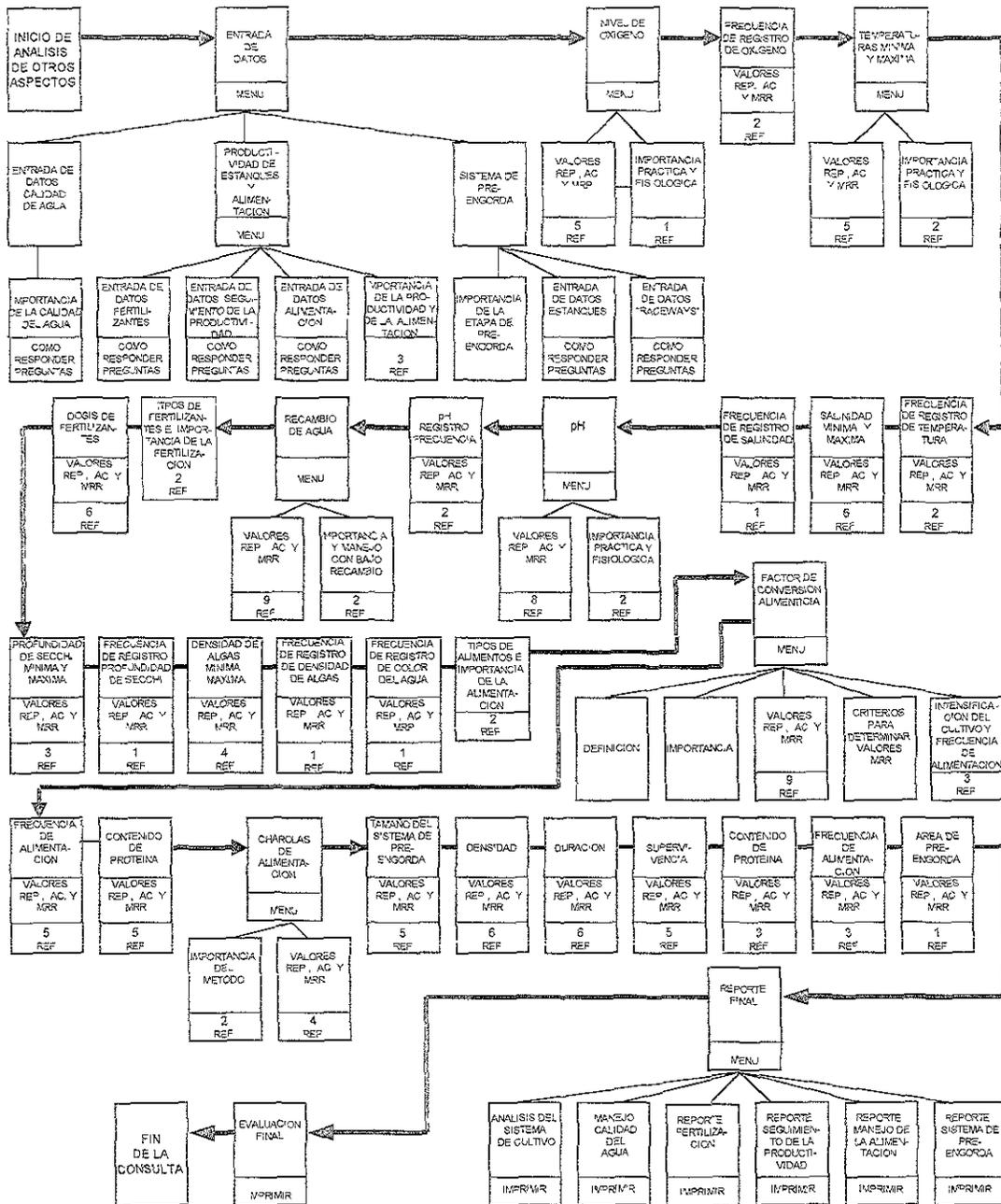


Figura 16. Secuencia gráfica descriptiva de los principales despliegues en pantallas ofrecidos por TEMA haciendo uso de hipertexto. La secuencia corresponde al análisis de los aspectos complementarios.

El acceso a las tarjetas puede hacerse directamente desde las pantallas del sistema experto, o a través de tarjetas intermedias que despliegan menús en pantalla. Las tarjetas de hipertexto, a su vez, pueden contener otros "botones" (indicados en las secciones de abajo) que, cuando se activan por el usuario, despliegan nuevas tarjetas, menús y referencias bibliográficas. La mayor parte de los vínculos entre las tarjetas que se

presentan en las figuras se encuentran ordenados conforme a un arreglo "jerárquico". En esos casos, se tiene acceso a las tarjetas siguiendo la secuencia que parte de la activación de un "botón" original -o inicial-. Existen otros vínculos que permiten la activación de tarjetas desde botones que no corresponden a los originales presentados en las figuras, permitiendo un arreglo tipo "red".

Con algunas excepciones, este último tipo de vínculo es complejo y prácticamente imposible de ser representado en las figuras. Algunas tarjetas correspondientes a las referencias bibliográficas se encuentran enlazadas de esta forma, de manera que pueden ser compartidas por tarjetas que tratan sobre tópicos diferentes.

Las facilidades que ofrece TEMA incluyen, en total, 627 pantallas diferentes (incluyendo 62 que despliegan referencias bibliográficas completas). Las tarjetas de hipertexto incorporan aproximadamente 12,400 palabras.

Landow (1995) considera que el hipertexto es, al mismo tiempo que un tipo de texto electrónico, un modo de edición, en el que la escritura no es secuencial, sino que bifurca, y en el que el lector es un agente activo, que elige e interactúa. Esta característica del hipertexto contribuye a difuminar las fronteras entre escritor y lector, y sin duda alguna, facilita el desarrollo de software operativo, de utilidad para los usuarios para los que fue concebido.

En TEMA, el uso de hipertexto permite al usuario "navegar" en búsqueda de información básica necesaria para responder preguntas, tener acceso a conocimiento relevante para el tópico específico que se analiza, etc. Un problema frecuente que presentan los sistemas de hipertexto consiste en la posibilidad de que el usuario del sistema "pierda la orientación" durante el proceso de búsqueda. El encadenamiento de las reglas del sistema experto, sin embargo, en todo momento posibilita al usuario regresar a la ruta principal que sigue la consulta en forma predeterminada.

El usuario tiene la posibilidad de consultar al sistema en forma parcial a fin de analizar sólo alguno o algunos de los grupos de aspectos identificados en las Figuras 8 a la 12. No obstante, el análisis del sistema de cultivo siempre se lleva a cabo en una primera etapa, a fin de que TEMA pueda determinar congruencia general en el resto de los aspectos analizados.

4.1.4 Ejecución de TEMA (ejemplos)

En este apartado se presentan ejemplos de la forma en que se conduce una sesión de consulta a TEMA. Se incluyen despliegues en pantalla

que han sido seleccionadas a fin de mostrar, a manera de ejemplo, algunas de las facilidades que ofrece el sistema.

La sesión inicia con el despliegue de una carátula de presentación en una pantalla introductoria (Figura 17a). El usuario puede iniciar directamente la consulta o tener acceso a más información acerca del sistema. En la Figura 17b,c se muestra el caso en que el usuario opta por obtener más información sobre TEMA. En particular, en este caso el usuario ha seguido la secuencia definida por los vínculos jerárquico "inicio de la consulta - sistema de cultivo - principios de producción en estanques" de la secuencia gráfica mostrada en la Figura 15. El usuario tiene acceso a información relativa a los principios ecológicos que determinan la productividad de un estanque; así como al conocimiento de la forma en que la intensificación y la tecnología de cultivo son dependientes del manejo que se hace de la fertilización, alimentación balanceada, aireación y recambio de agua.

Cuando se inicia la consulta el sistema ofrece la posibilidad de responder a las preguntas en forma secuencial, o mediante el llenado de cuestionarios. En la Figura 18 se presentan las pantallas para la captura de datos correspondientes a sistema de cultivo (a), calidad del agua (b) y métodos para el seguimiento de la productividad (c). Existe la posibilidad de escribir o leer datos en un archivo, de manera que se puedan facilitar consultas posteriores sin la necesidad de capturar nuevamente la totalidad de los datos. Asimismo, se ofrece ayuda para resolver dudas sobre las preguntas o información general sobre el tópico al que se hace referencia.

Una vez capturados los datos, el sistema pregunta el tipo de cultivo que se desea analizar. En la Figura 19 se ejemplifica el tipo de asistencia que TEMA provee al usuario en el transcurso de la consulta. La pantalla de la Figura 19a muestra el comentario que el sistema hace en relación con los rendimientos correspondientes a un sistema semiintensivo que el usuario desea analizar. El menú contenido en la ventana de la parte inferior de la figura se despliega después que el usuario ha solicitado ampliar el comentario.

Los rendimientos en biomasa son dependientes de una serie de factores, reconociéndose, sin embargo, que existen límites identificables para cada tipo de cultivo asociados a su capacidad de carga. TEMA reseña lo que algunos autores han discutido sobre rendimientos semiintensivo y explica al usuario las razones por las cuales considera determinados valores como los límites máximo y mínimo (Figura 19b,c).

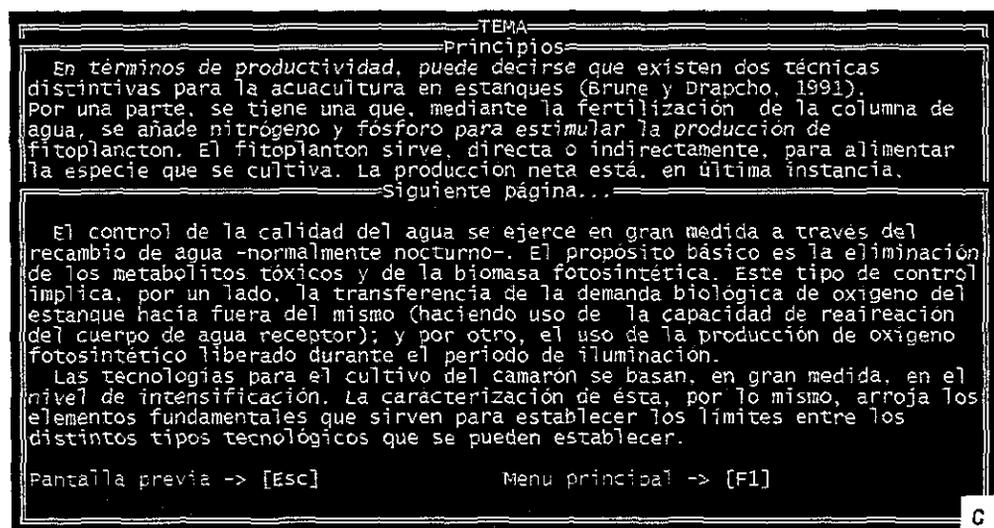
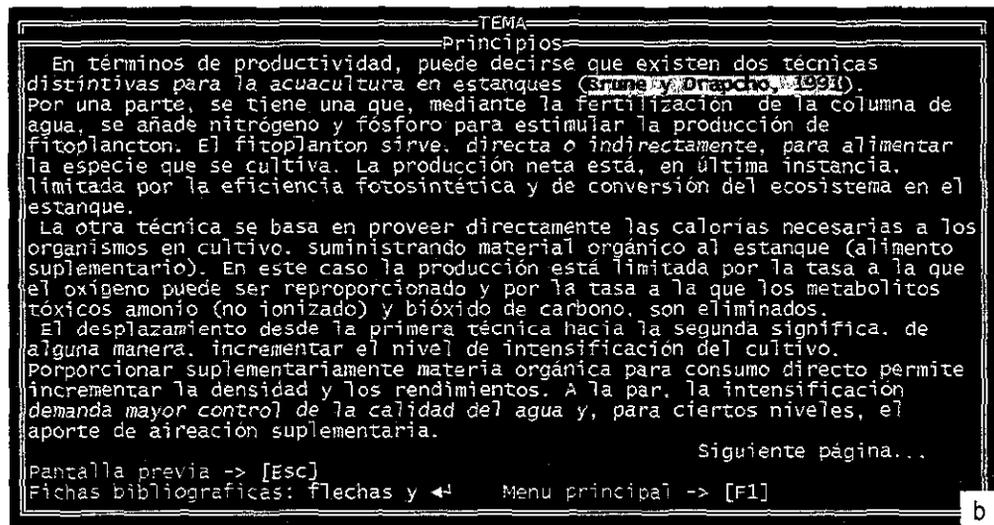
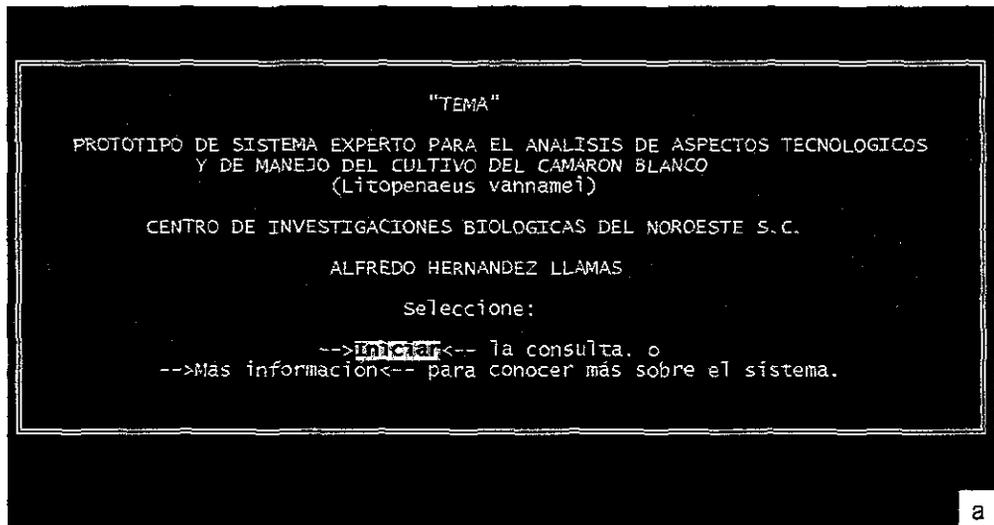


Figura 17. Ejemplos de pantallas introductorias al inicio de una consulta a TEMA. El usuario ha optado por recibir más información antes de iniciar ésta y "navega" hasta obtener orientación sobre principios de producción en estanques.

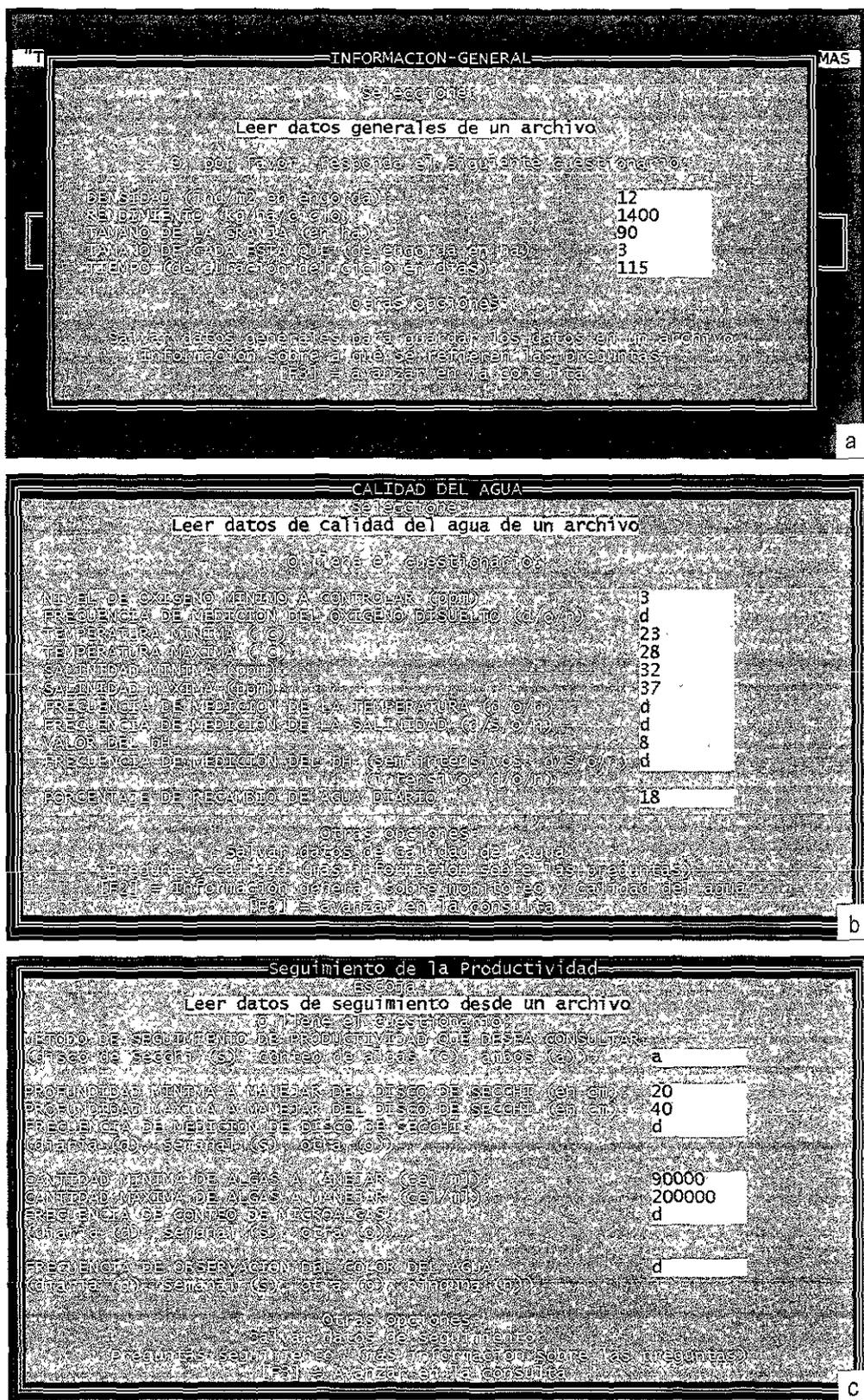


Figura 18. Pantallas para el ingreso de datos mediante respuestas a cuestionarios. Información sobre el sistema de cultivo (a), calidad del agua (b) y seguimiento de la productividad (c).

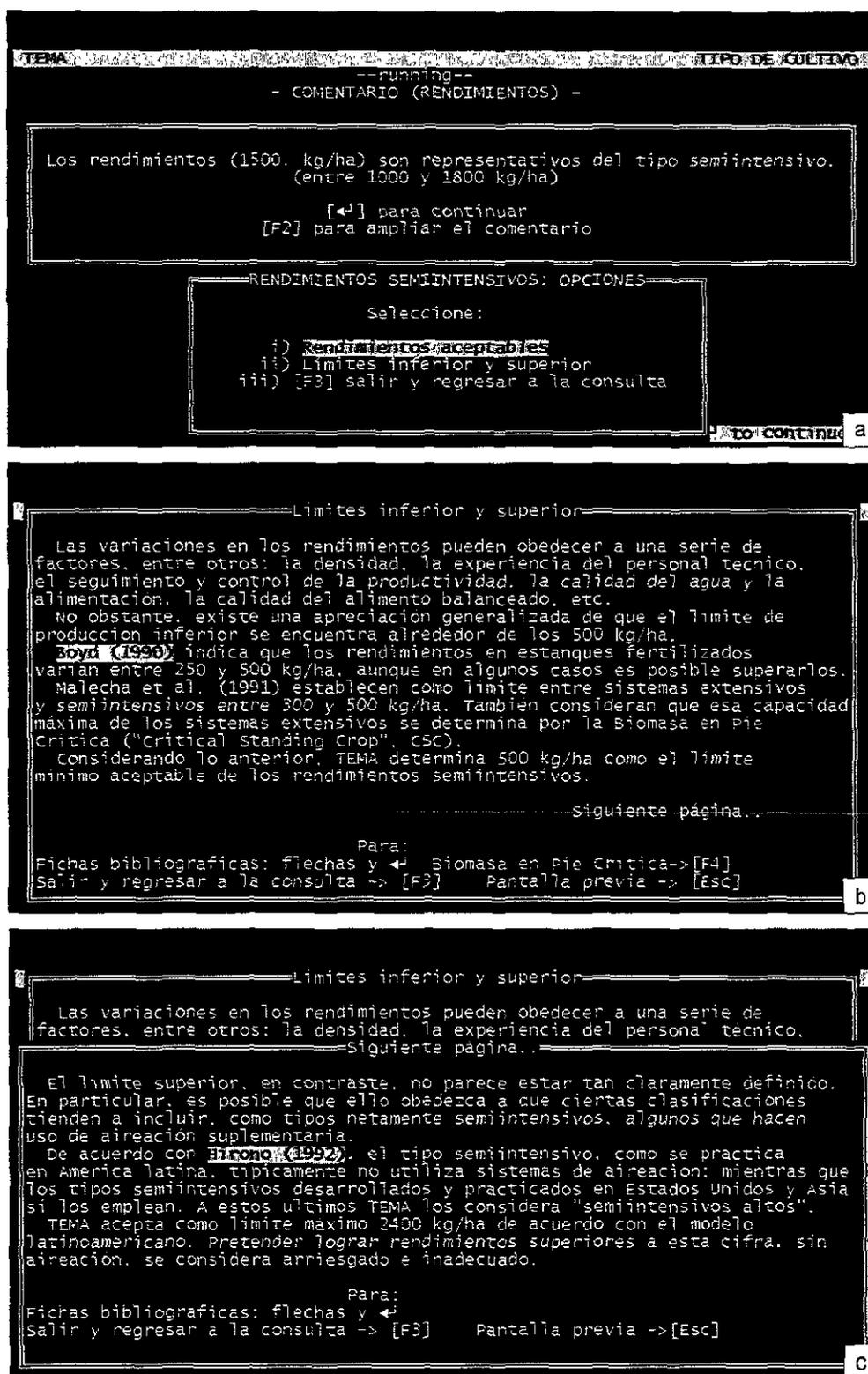


Figura 19 Ejemplo de asistencia ofrecida por TEMA. El sistema informa su conclusión sobre la respuesta formulada por el usuario acerca de rendimientos semiintensivos (a). El usuario solicita al sistema amplíe el comentario en lo relativo a los límites de producción inferior y superior (b, c).

Un ejemplo similar al anterior se presenta en la Figura 20 para el nivel de aireación. En este ejemplo el usuario ha determinado, previamente, su interés en analizar el tipo de cultivo intensivo. TEMA presenta un comentario al valor específico de la tasa de aireación y el usuario desea recibir más información mediante selección de temas incluidas en un menú (Figura 20a). En el caso que interese conocer la forma en que el sistema establece valores aceptables para la tasa de aireación, TEMA explica la regla empírica y la evidencia científica en que se basa para establecer el nivel de aireación. En la Figura 20b se presenta la pantalla que despliega la referencia bibliográfica completa de los trabajos de investigación que han conducido al establecimiento de la regla para *L. vannamei*. Por otra parte, en la Figura 20c se presenta un ejemplo demostrativo de la forma en que la aplicación de la regla empírica y la recomendación derivada de la investigación referida conducen al mismo resultado práctico. Debe destacarse que el sistema ofrece asistencia sobre la forma en que se puede avanzar en el proceso de consulta, así como la posibilidad de regresar, en cualquier circunstancia, a la navegación que conduce directamente el sistema experto.

En la figura 21 se presenta un ejemplo de la forma en que una tarjeta de hipertexto (la relativa a las ventajas de la aireación) puede ser consultada a través de vinculación tipo "red". En ocasión de analizar lo relativo al tamaño del estanque, el usuario decide conocer la relación que existe entre dicho tamaño y el nivel de intensificación (Figura 15). Se ha determinado, estadísticamente, la relación que existe entre ambas variables (Figura 21a) y se conoce, además, que los estanques pequeños ofrecen una serie de ventajas para el manejo en relación con los estanques de mayores dimensiones (Figura 21b). Entre otras, una de las ventajas principales se refiere a la mayor eficiencia que se logra en los efectos benéficos de la aireación (figura 21c). Alternativamente, puede observarse que la tarjeta presentada en la Figura 21c también puede ser consultada a través de la opción iv) ofrecida en la pantalla presentada en la Figura 20a la cual, en ese caso, se refiere al análisis de la tasa de aireación.

En la fase final, la consulta concluye ofreciendo al usuario la posibilidad de conocer un informe en el que se resumen los principales resultados obtenidos durante la misma (Figura 22). Para cada uno de los distintos temas analizados, se presenta un cuadro resumen conteniendo lo que TEMA considera recomendable o mejor representativo, la respuesta del usuario y consecuentemente, la conclusión que el sistema hace sobre los distintos factores analizados. En la Figura 22 se presentan ejemplos de informes correspondientes al análisis del tipo de cultivo y del control de la calidad del agua. Opcionalmente, el usuario puede solicitar al sistema una impresión del informe.

TEMA --running-- TIPO DE CULTIVO

- COMENTARIO (AIREACION)-

La aireación es un poco alta (12. HP/ha) para los rendimientos previstos.
(valores recomendables entre 9. y 11. HP/ha)

AIREACION INTENSIVA: OPCIONES

ESCOJA:

- i) ~~Niveles aceptables~~
- ii) Niveles intensivos reportados
- iii) Sistema de aireación
- iv) Ventajas de la aireación
- v) Información sobre el cultivo intensivo ->[F4]
- vi) Salir y regresar a la consulta ->[F3]

a

Niveles aceptables

TEMA determina la aceptabilidad de los niveles de aireación con base en la regla empírica reportada por Hopkins et al. (1991), de acuerdo con la cual, para cultivos intensivos (incluido el semiintensivo "alto"), por cada 600 Kg/ha que se prevean cosechar el sistema de aireación deberá incrementarse en 1 HP/ha.
La regla tiene su origen en la experiencia desarrollada con el cultivo de camarón en Asia. Los autores antes mencionados han corroborado experimentalmente la corrección de la regla. Así, demostraron que para mantener un mínimo de 3 mg/l de oxígeno en la madrugada, se debe proporcionar, a lo más, 16 kg de alimento suplementario diario por cada HP del sistema de aireación.
La aplicación de la regla y la demostración de los autores conduce a recomendaciones similares.

Veámoslo mediante un ejemplo:

HOPKINS-1991

Hopkins J.S., Stokes A.D., Browdy C.L. and P.A. Sandifer. 1991. The relationship between feeding rate, paddlewheel aeration and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp ponds. *Aquaculture Engineering* 10: 281-290.

[Esc] -> Borra la ficha...

b

ejemplo

Suponga que su cultivo se encuentra muy adelantado y la biomasa de camarón ha llegado hasta 6000 kg/ha de camarón en uno de sus estanques, y que usted desea mantener un mínimo de 3 ppm de oxígeno por la mañana.
Aplicando una ración de alimento balanceado equivalente al 2.5 % diario de esa biomasa, usted debe aplicar, entonces, 150/kg/ha de alimento al día.
Por favor, observe que 2.5 % es una ración que, de acuerdo con las tablas de alimentación comúnmente utilizadas para la aplicación de raciones diarias, se encuentra muy cercana a la recomendada para la mayoría de las tallas del camarón entre 10 y 20 g (Clifford, 1992).
De acuerdo con Hopkins et al. (1991), para esos 150/kg/ha necesita 9.4 HP/ha de aireación (recuerde: 16 kg de alimento por cada HP de aireación, para ese nivel de oxígeno). Si aplica la regla empírica encontrará que, para esa biomasa de camarón, requerirá 10 HP/ha de aireación (recuerde: 1 HP por cada 600 kg).
Conclusión: la diferencia en la tasa de aireación recomendada usando ambos métodos es mínima (9.4 vs 10 HP/ha).

siguiente página..

Fichas bibliográficas: flechas y ←
Salir y regresar a la consulta -> [F3] Pantalla previa ->[Esc]

c

Figura 20. Ejemplo de asistencia ofrecida por TEMA. El usuario se interesa en un cultivo intensivo y su respuesta relativa a la tasa de aireación es analizada críticamente (a). Enseguida, el usuario desea conocer las razones para tal crítica. TEMA basa su argumentación sobre evidencia científica y empírica, y ejemplifica la aplicación práctica de la regla (b, c).

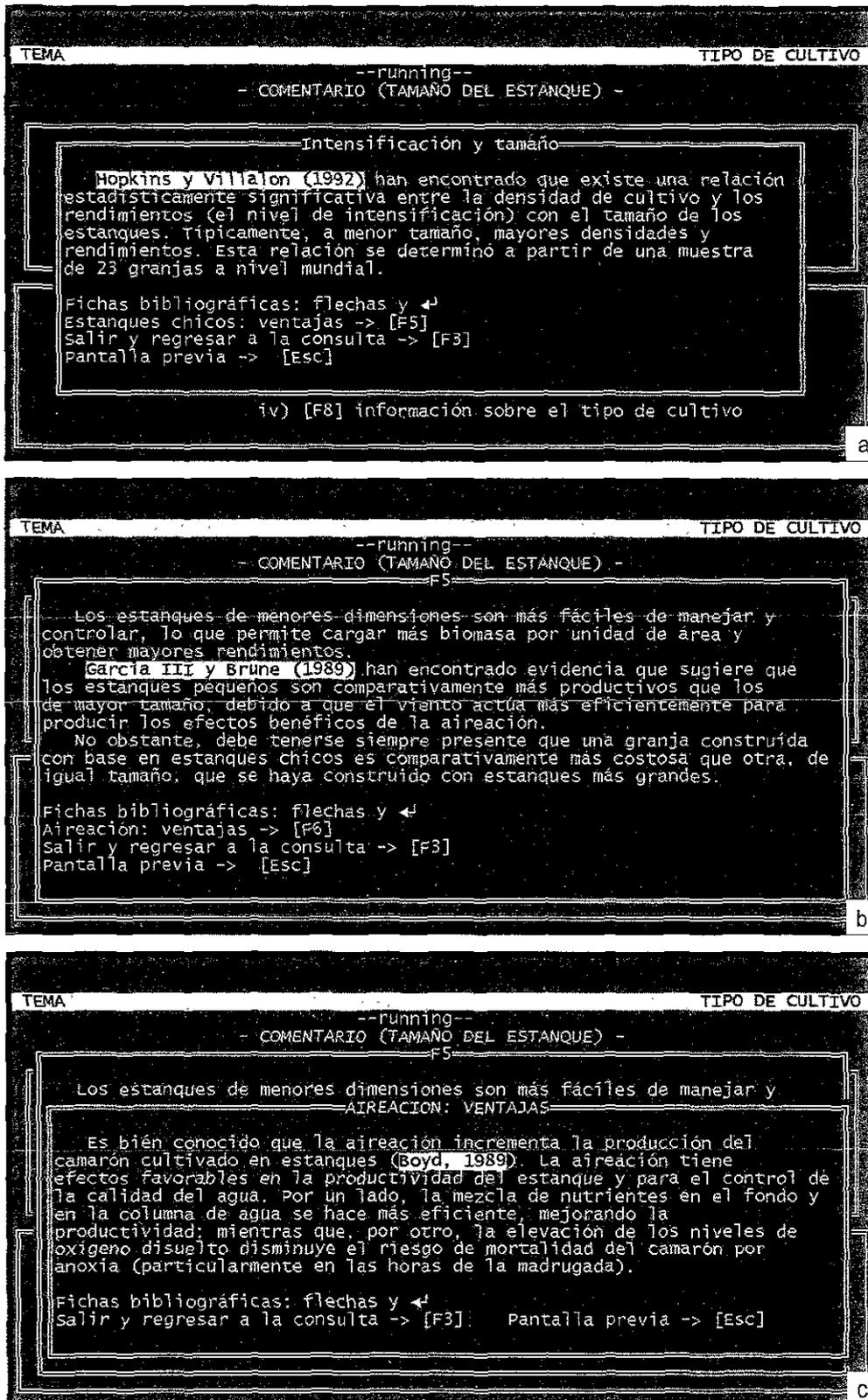


Figura 21. Ejemplo de navegación tipo "red". El usuario recibe orientación sobre aspectos relacionados entre sí: intensificación y tamaño de los estanques (a), ventajas de estanques chicos (b) y ventajas de la aireación (c). Obsérvese que la tarjeta en (c), también puede ser consultada desde el menú presentado en la Figura 20a (opción "ventajas de la aireación").

análisis del tipo de cultivo

LOS RESULTADOS DEL ANALISIS DEL TIPO DE CULTIVO SON:

CONCEPTO	TIPO	RECOMENDABLE	RESPUESTA	COMENTARIO
RENDIMIENTO	Semiintensivo	1000-1800	1400	→ correcto
	" alto	2500-4000	1400	→
	Intensivo	5000-12000	1400	→
DENSIDAD	Semiintensivo	10-20	12	→ correcta
	" alto	20-30	12	→
	Intensivo	40-150	12	→
TAMAÑO GRANJA	Semiintensivo	80-1500	90	→ correcto
	" alto	50-200	90	→
	Intensivo	4-10	3	→ chico
TAMAÑO ESTANQUE	Semiintensivo	1-10	3	→
	" alto	1-2	3	→
	Intensivo	120-180	115	→ corta
DURACION CICLO	Semiintensivo	120-180	115	→
	" alto	120-180	115	→
	Intensivo	120-180	115	→
AIREACION	Semi alto	-	→	
	Intensivo	-	→	
PESO		15-25	→	
SUPERVIVENCIA		50-80	→	

1Pg1 a

calidad del agua

Los resultados en cuanto al control de la calidad del agua fueron:

CONCEPTO	TIPO	RECOMENDABLE	RESPUESTA	COMENTARIO
OXIGENO	Semiintensivo	3-4	3	→ adecuado
	Semi alto e Intensivo	3.5-6	3	→
FRECUENCIA OXIGENO	Todos	diaria	d	→ adecuada
TEMPERATURA MINIMA	Todos	23-28	23	→ adecuada
TEMPERATURA MAXIMA	Todos	28-33	28	→ adecuada
INTERVALO TEMPERATURA		adecuado		
SALINIDAD MINIMA	Todos	15-30	32	→ alta
SALINIDAD MAXIMA	Todos	15-30	37	→ alta
INTERVALO SALINIDAD		adecuado		
FRECUENCIA TEMPERATURA	Todos	diaria	d	→ adecuada
FRECUENCIA SALINIDAD	Todos	diaria	d	→ adecuada
pH	Todos	7.5-8.5	8	→ adecuado
FRECUENCIA pH	Semiintensivos	semanal	d	→ excesiva
	Intensivo	diaria	d	→
RECAMBIO DE AGUA	Semiintensivos	10-20	18	→ adecuado
	Intensivos	15-40	18	→

Las frecuencias son diaria (d), semanal (s), otra (o), ninguna (n)
Pg0n para escoger opciones.

1Pg1 b

TEMA REPORTES FINALES

-- running --

¿ Desea conocer que tan acertado estuvo durante la consulta ?

- si -
- no -

ACIERTOS-ERRORES

La consulta incluyó la consideración de un total de 43 aspectos.
De éstos, 31 (72.09303 %) fueron satisfactorios y
12 (27.90697 %) indicaron deficiencias.

Si desea una impresión de estos resultados seleccione aquí ->imprimir<-
Para continuar presione

c

Figura 22. Informe final sobre los resultados de la consulta. Se resumen el criterio utilizado por el sistema, la respuesta del usuario y las conclusiones correspondientes a los análisis del sistema de cultivo y de la calidad del agua (a, b). TEMA ofrece una evaluación final basada en el porcentaje de aciertos y errores en las respuestas formuladas por el usuario (c).

En la figura 22c se presenta la pantalla que TEMA despliega a solicitud del usuario interesado en tener una evaluación por parte del sistema. TEMA informa sobre el porcentaje de aciertos y errores, lo cual puede ser interpretado, en el contexto del dominio del sistema, como el nivel de pericia que el usuario tiene sobre aspectos básicos y relevantes del manejo del cultivo de *L. vannamei*.

4.1.5 Análisis y desempeño comparativos de TEMA

La revisión de antecedentes de aplicaciones de ES en acuicultura indica que, TEMA, es el primer caso en el que se ocupa organizar conocimiento e información sobre las prácticas de acuacultivo de alguna especie. La combinación de la tecnología de SE e hipermedios (hipertexto), sin embargo, no es privativa de TEMA. Otros sistemas como Fish-Vet, HAMES y REGIS, mencionados en la introducción de este trabajo, también utilizan ese tipo de combinaciones. En particular, puede destacarse que, a diferencia de dichos sistemas en los que el SE sólo es un auxiliar en la búsqueda de informaciones específicas, en TEMA la función del SE es dominante en el diseño y ejecución del programa. Ello es así debido a la necesidad de realizar un análisis completo de los distintos aspectos implicados en las biotecnologías de cultivo, mostrando un nivel de competencia -de pericia- aceptable.

De acuerdo con Sell (1996) existen dos extremos en el espectro de utilización de los SE: en uno de ellos se encuentran los considerados como sustitutos de humanos expertos; mientras que en el otro se encuentra la opinión de que los SE no son más que libros cómodos de utilizar, que recuperan información solamente si es relevante para el problema en cuestión. Como el mismo autor lo señala, lo más probable es que la mayor parte de los sistemas se encuentren en algún punto intermedio entre los extremos. Por esa razón, no es de extrañar la consideración que hace El-Gayar (1997) en el sentido de que, la representación del conocimiento es un componente principal de la inteligencia artificial, particularmente una vez que se comprende que el comportamiento inteligente se debe, tanto a los métodos de razonamiento utilizados, como al amplio acervo de conocimiento disponible que existe en un campo de aplicación particular. En TEMA, la representación de conocimiento "somero" y "profundo" se combina con el uso de hipertexto para producir un sistema de utilidad para los usuarios del mismo.

El concepto general implícito en el desarrollo de TEMA (es decir, la sistematización de conocimiento sobre prácticas de acuacultivo de alguna especie) encuentra aplicación potencial en cualquier caso en que, como en el presente trabajo de tesis, se puedan conjuntar pericia, conocimiento del

dominio público y una herramienta para desarrollo de SE. En su versión actual, TEMA puede ser ejecutado en computadoras personales que dispongan de DOS 2.0 o más reciente y requiere un mínimo de memoria de 640 K.

No obstante, es concebible mejorar el sistema sobre dos aspectos básicos: la interfaz, mediante la utilización de otros recursos de hipermedios; y las fuentes de conocimiento "profundo". En cualquier caso, tal mejoría pudiera significar la necesidad de utilizar otro tipo de herramienta para el desarrollo de SE. En particular, resulta interesante la posibilidad de que los valores de los factores utilizados para definir los perfiles aceptables y MRR pudieran basarse en la consulta a una base de datos, lo que pudiera permitir, opcionalmente, asociar dichos perfiles a algún criterio estadístico. Desafortunadamente, la escasez de bases de datos adecuadas sobre cultivo de *L. vannamei* constituye, por el momento, una fuerte limitante para ese propósito.

4.2 Sistema CALEN

4.2.1. Calidad del agua

Con el propósito de facilitar la explicación y discusión de los resultados obtenidos con el desarrollo de CALEN para el manejo de la calidad de agua, a continuación se realiza una descripción del comportamiento dinámico de un estanque y de la importancia de los factores principales que determinan dicha calidad, destacando aquellos aspectos que son importantes para la comprensión de la forma en que se integró la base de conocimiento del sistema experto.

El proceso más importante que determina la calidad del agua en un estanque para cultivo es la productividad primaria (Brune y Drapcho, 1991) la cual, a su vez, determina la variación diaria en el oxígeno disuelto en el agua. Durante el día la productividad es elevada, la actividad fotosintética es intensa y se liberan importantes cantidades de oxígeno. Durante la noche, sin embargo, la biomasa fitoplanctónica y la de otros organismos presentes en el estanque consume el oxígeno por respiración y abate sus niveles.

Por otra parte, también se sabe que el valor del pH presenta un comportamiento similar al del oxígeno disuelto. En este caso, el valor del pH está determinado por la concentración de CO_2 en el agua. Este compuesto forma un ácido al combinarse con el agua, habiendo un consumo neto del mismo durante el día por efecto de la fotosíntesis (es decir, incrementando el pH). Durante la noche ocurre el fenómeno contrario, la respiración es dominante y provoca la acidificación del agua.

Como es de suponer, la magnitud de la variación diaria de estos parámetros, a su vez, depende del nivel de productividad general del estanque. Es decir, la variación diaria es más amplia en la medida en que el nivel de productividad es mayor.

En la tabla 6 se presentan los valores de oxígeno disuelto y de pH que, de acuerdo con France Aquaculture (1988) ocurren para diferentes niveles de productividad primaria (a las horas del día en que dichos valores son extremos) en estanques para el cultivo de *L. vannamei*. Una excepción al esquema general esbozado lo constituye la condición crítica asociada a una mortalidad masiva y repentina de fitoplancton, en la que la productividad se colapsa y el fitoplancton muerto se deposita en el piso del estanque. En esas condiciones el fitoplancton en descomposición establece una fuerte demanda biológica de oxígeno, lo que resulta en un fuerte abatimiento de los niveles de éste.

El propósito fundamental del manejo de la calidad del agua consiste en mantener los niveles de productividad y de los parámetros antes señalados en un balance adecuada, en beneficio de los organismos cultivados.

El oxígeno disuelto es un parámetro fundamental para el manejo de la calidad del agua. Su abatimiento drástico puede tener efectos letales, produciendo mortalidades masivas del camarón. Boyd (1989), por otra parte, destaca que el decremento del nivel de oxígeno a niveles subletales se refleja en crecimiento retardado y mayor susceptibilidad a enfermedades.

Para sistemas de cultivo semiintensivo, Clifford (1990) recomienda valores mínimos aceptables entre 2 y 3 mg/l, mientras que para granjas semiintensivas ecuatorianas Villalón (1991) recomienda, como valor mínimo, 3 mg/l. Hirono (1992) indica que las granjas semiintensivas en América consideran críticos niveles inferiores a 2 mg/l y que lo recomendable es mantenerlo por arriba de 2.8 mg/l. En el presente trabajo se considera que una concentración de 3 mg/l es la mínima que puede ser aceptable, a fin de evitar situaciones críticas que pongan en riesgo la producción del camarón.

De acuerdo con Boyd (1989), por encima del nivel de saturación el oxígeno puede ser dañino sólo en caso que la condición de saturación se presente en la totalidad del volumen del estanque, aunque refiere que sólo excepcionalmente se presentan problemas derivados de esas condiciones.

Por lo que corresponde al pH, cabe destacar que tiene importancia por sus efectos indirectos, más que por los directos sobre los organismos en cultivo. Boyd (1990) indica que los valores más convenientes se encuentran entre 6.6 y 9.0. Por arriba y abajo de ese intervalo, la acción del pH se refle-

Tabla 6. Relación entre niveles de productividad primaria y valores de parámetros de calidad del agua. Se incluye también el caso de baja productividad asociada a mortalidad masiva y repentina de fitoplancton. Tomado de France Aquaculture (1988).

Productividad	Profundidad de disco de Secchi (cm)	Oxígeno A.M. (mg/l)	Oxígeno P.M. (mg/l)	pH P.M.
Baja	> 40	> 6	5 - 7	7.5 - 8
Normal	30 - 40	3 - 7	7 - 12	8 - 9
Alta	< 30	< 3	> 12	> 9
Fitoplancton muerto		< 3	< 5	

ja en la capacidad de disolución o precipitación de distintas sustancias como el fósforo, bióxido de carbono, amonio no ionizado, etc., afectando la productividad y la toxicidad del agua. El efecto directo más importante de sus valores extremos se refleja en exceso de producción de moco en el tejido branquial, dificultando el intercambio de iones y gases (Boyd, 1990).

Sandifer *et al.* (1989) destacan la importancia del pH como indicador de problemas potenciales en la calidad del agua para cultivo de camarón, y recomiendan mantenerlo entre 6.0 y 9.0. Lawrence (1985) recomienda valores próximos a 8.0. Boyd (1989) señala que el agua salobre y marina posee mayor capacidad de amortiguamiento a cambios del pH que el agua dulce, e indica que valores entre 6.0 y 9.0 son ideales para el cultivo de camarón, que en los intervalos 4.0 - 6.0 y 9.0 - 11.0 se presenta crecimiento retardado, y que valores inferiores o superiores a 4.0 y 11.0 producen mortalidad.

Clifford (1990) señala valores mínimos aceptables entre 7.0 y 7.5 y máximos de 10.0 a 11.0. Para Villalon (1991) el pH debe mantenerse entre 7.4 y 8.5 para lograr mejores resultados. Clifford (1994) recomienda valores entre 8.1 y 9.0. Hirono (1992) indica que las granjas semiintensivas e intensivas que cultivan *L. vannamei* en el continente americano mantienen valores del pH entre 7.0 y 9.0.

Otro factor importante para la determinación de la calidad del agua lo constituye la temperatura, ya que los procesos bioquímicos son directamente dependientes de ella. Los cambios en las tasas metabólicas son particularmente sensibles a cambios de la temperatura en especies poiquiloterms, como el camarón y peces (Boyd, 1990). Aun cuando existen variantes importantes, de acuerdo con la ley de Hoff (Moncrief y Jones, 1977) se ha estimado que, en términos generales, la tasa metabólica se duplica por cada incremento de 10 °C en la temperatura. Dichos cambios se reflejan

directamente en tasas de crecimiento de los organismos, existiendo un intervalo de valores de temperatura en el que se presentan máximas tasas de crecimiento.

Lawrence (1985) considera que, para camarones tropicales y subtropicales, el mejor crecimiento se da entre 23 y 32 °C. Para *L. vannamei*, se tienen las siguientes recomendaciones debidas a distintos autores: Clifford (1990) señala, como valores mínimos aceptables entre 23 y 25 °C, mientras que los máximos se encuentran entre 33 y 34 °C; Villalón (1991) recomienda como máximo aceptable 32 °C; Hirono (1992) refiere que las temperaturas óptimas a las que operan las granjas latinoamericanas se encuentran entre 25 y 32 °C, mientras que Clifford (1994) las ubica entre 28 y 30 °C para granjas venezolanas.

4.2.1.1 Representación del conocimiento

De acuerdo con lo explicado en la Metodología, la profundidad del disco de Secchi es el criterio utilizado para establecer hipótesis relativas al nivel de productividad en el estanque. Villalón (1991); Boyd (1990) y Clifford (1992), indican que dicho método es práctico y de uso común para la determinación de la productividad. Esta se considera normal, alta o baja, en atención a lo que es deseable para el manejo de un estanque en condiciones semiintensivas. El árbol de decisión correspondiente se presenta en la Figura 23.

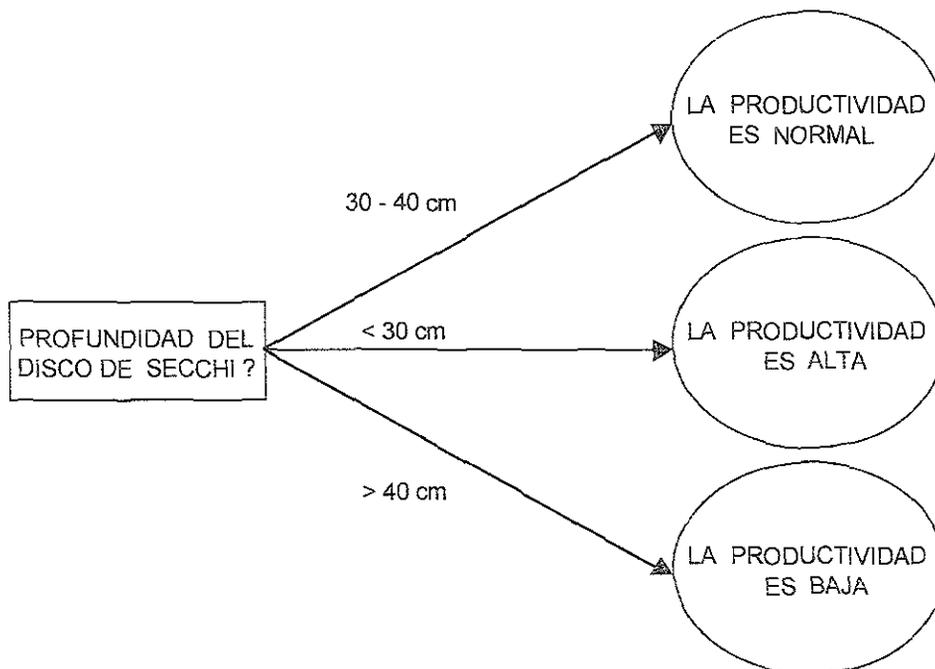


Figura 23. Árbol de decisión para establecer el nivel de la productividad a partir de la profundidad del disco de Secchi.

Una vez establecida la hipótesis sobre el nivel de productividad, se procede a recabar la evidencia para rechazarla o aceptarla mediante el análisis, con encadenamiento hacia atrás de las reglas, de los niveles de oxígeno disuelto registrados temprano por la mañana (entre 4 y 6 A.M.) y por la tarde (entre 3 y 5 P.M.), así como del valor del pH. En el caso particular del pH, se deja abierta la posibilidad de que su valor no se conozca, tomando en cuenta que en el manejo semiintensivo no es un parámetro que se acostumbre registrar diariamente (Hirono, 1992).

En las Figuras 24 a la 26 se presentan los árboles de decisiones correspondientes a los tres niveles de productividad identificables. En la Tabla 7 se explica el significado de las abreviaturas correspondientes a la confirmación o rechazo de la hipótesis relativa al nivel de productividad.

La regla general aplicable para que CALEN determine que el nivel de productividad que registra el disco de Secchi es correcto es que, al menos dos valores de los tres posibles (oxígeno A.M., oxígeno P.M. y pH), correspondan al nivel de productividad supuesto. La inferencia se conduce preguntando en secuencia por el oxígeno de la mañana, por el de la tarde y por el pH (en ese orden), y de manera que el número de parámetros a preguntar sea el mínimo. En otras palabras, se pregunta por el valor del pH sólo en caso que alguno (y sólo uno) de los valores de oxígeno no corresponda al nivel de productividad que indica la lectura del disco.

Complementariamente, otras conclusiones que el sistema puede realizar a partir de esa inferencia son:

- Presumir que la productividad corresponde a otro nivel, porque al menos dos valores de los parámetros corresponden al mismo
- Que hay incongruencia general, porque ningún valor de los parámetros coincide en indicar consistentemente algún nivel de productividad
- Que se ha presentado una mortalidad masiva de fitoplancton, cuando el disco de Secchi indica baja productividad, el oxígeno de la mañana es letal o subletal, y el de la tarde es suficientemente bajo
- Que presumiblemente dicha mortalidad ha ocurrido, cuando los valores de oxígeno son los señalados en el inciso anterior, y la turbidez registrada por el disco de Secchi aparentemente no indique que la productividad sea baja (posiblemente debido a la presencia de material en la columna de agua distinto del fitoplancton)

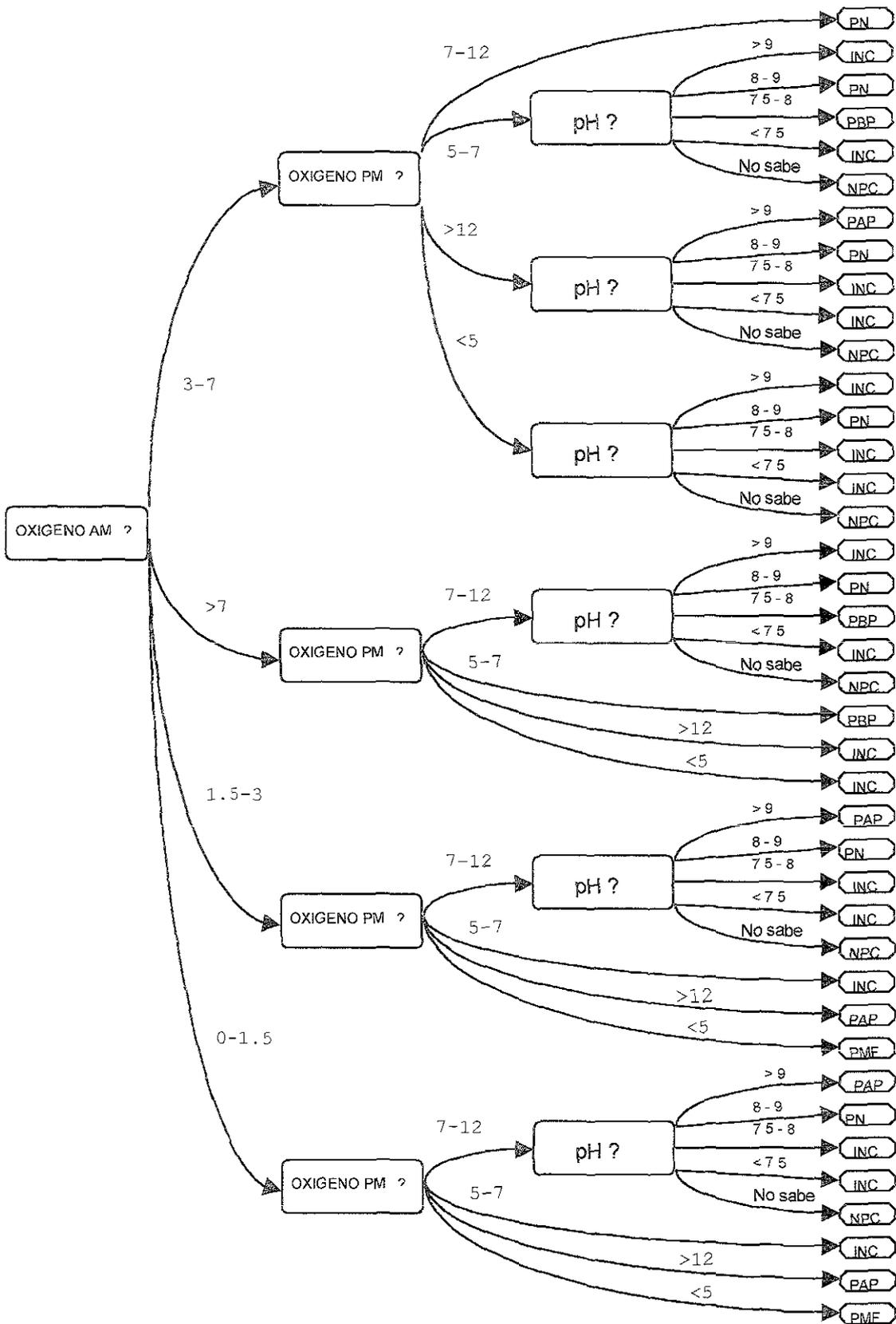


Figura 24. Arbol de decisión para la identificación de un nivel de productividad primaria normal. El significado de las abreviaturas se explica en la tabla 7.

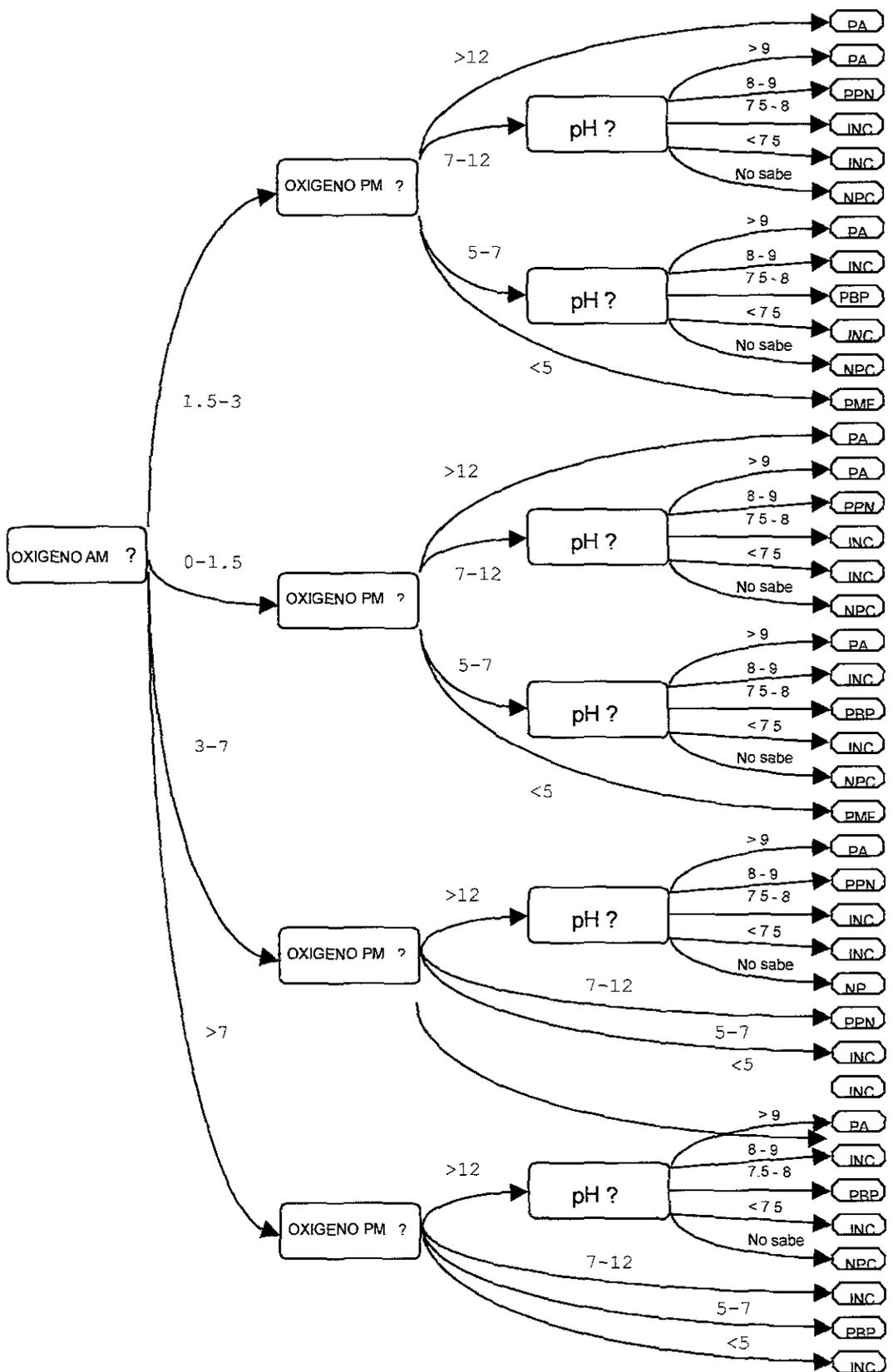


Figura 25. Arbol de decisión para la identificación de un nivel de productividad primaria alto. El significado de las abreviaturas se presenta en la Tabla 7.

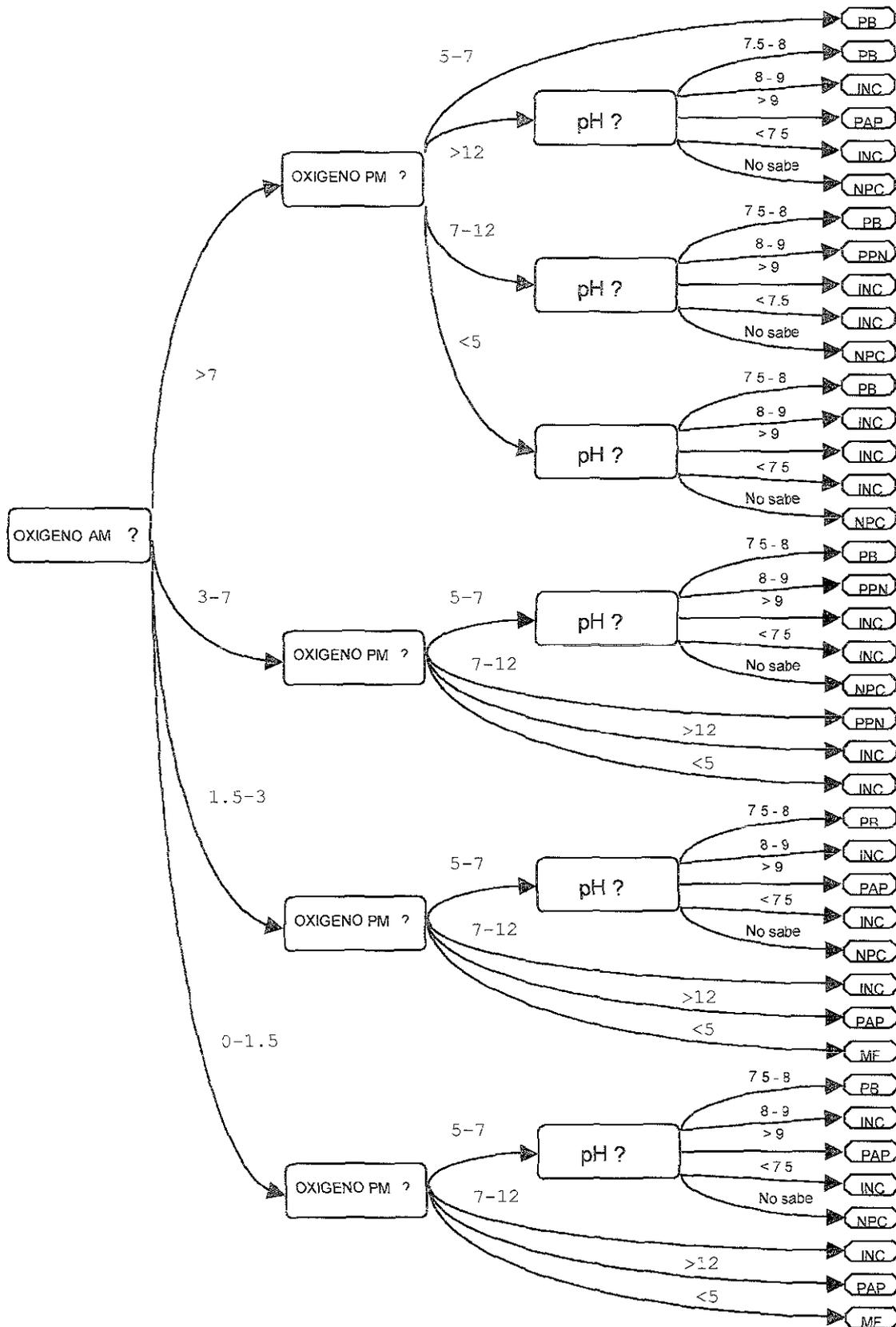


Figura 26. Arbol de decisión para la identificación de un nivel de productividad primaria bajo. El significado de las abreviaturas se explica en la tabla 7.

Tabla 7. Significado de las abreviaturas correspondientes a las distintas conclusiones que realiza CALEN, de conformidad con los árboles de decisión presentados en las figuras 24 a la 26.

Abreviatura	CONCLUSIÓN
PN	Productividad normal
INC	Incongruencia
PBP	Posible baja productividad
NPC	No es posible concluir
PAP	Posible alta productividad
PMF	Posible mortalidad de fitoplancton
PA	Productividad alta
PPN	Posible productividad normal
PB	Productividad baja
FM	Fitoplancton muerto

- Que no existe evidencia suficiente para concluir en ningún sentido (en caso que no se sepa cuál es el valor del pH)

En los casos en que se encuentre algún tipo de incongruencia, porque uno o todos los valores de los parámetros no corresponden al nivel de productividad supuesto, el sistema señala la posible causa de la incongruencia (errores en el registro, falta de calibración de aparatos, turbidez no atribuible a productividad, etc.) y sugiere la verificación de la información.

Una vez que se confirma el nivel de productividad se procede al análisis, mediante encadenamiento hacia adelante de las reglas, de la temperatura del agua, del pH y del porcentaje del recambio de agua que se ha estado efectuando. Con base en todos o algunos de estos parámetros se generan conclusiones y recomendaciones finales. En la Figura 27 se presenta el árbol de decisión que describe el procedimiento para el establecimiento de dichas conclusiones y recomendaciones. En la tabla 8 se detalla lo que el sistema puede comunicar al usuario, dependiendo de la conclusión que se establezca.

En la Figura 27 puede observarse que la secuencia que sigue la inferencia se encuentra determinada por el estado particular que guarda la calidad del agua en el estanque. Una vez que se conoce el nivel de productividad, es indispensable determinar, en primera instancia, si existe o no alguna situación crítica. Si la productividad es normal o alta, la situación crítica está asociada a una fuerte disminución del oxígeno por la mañana

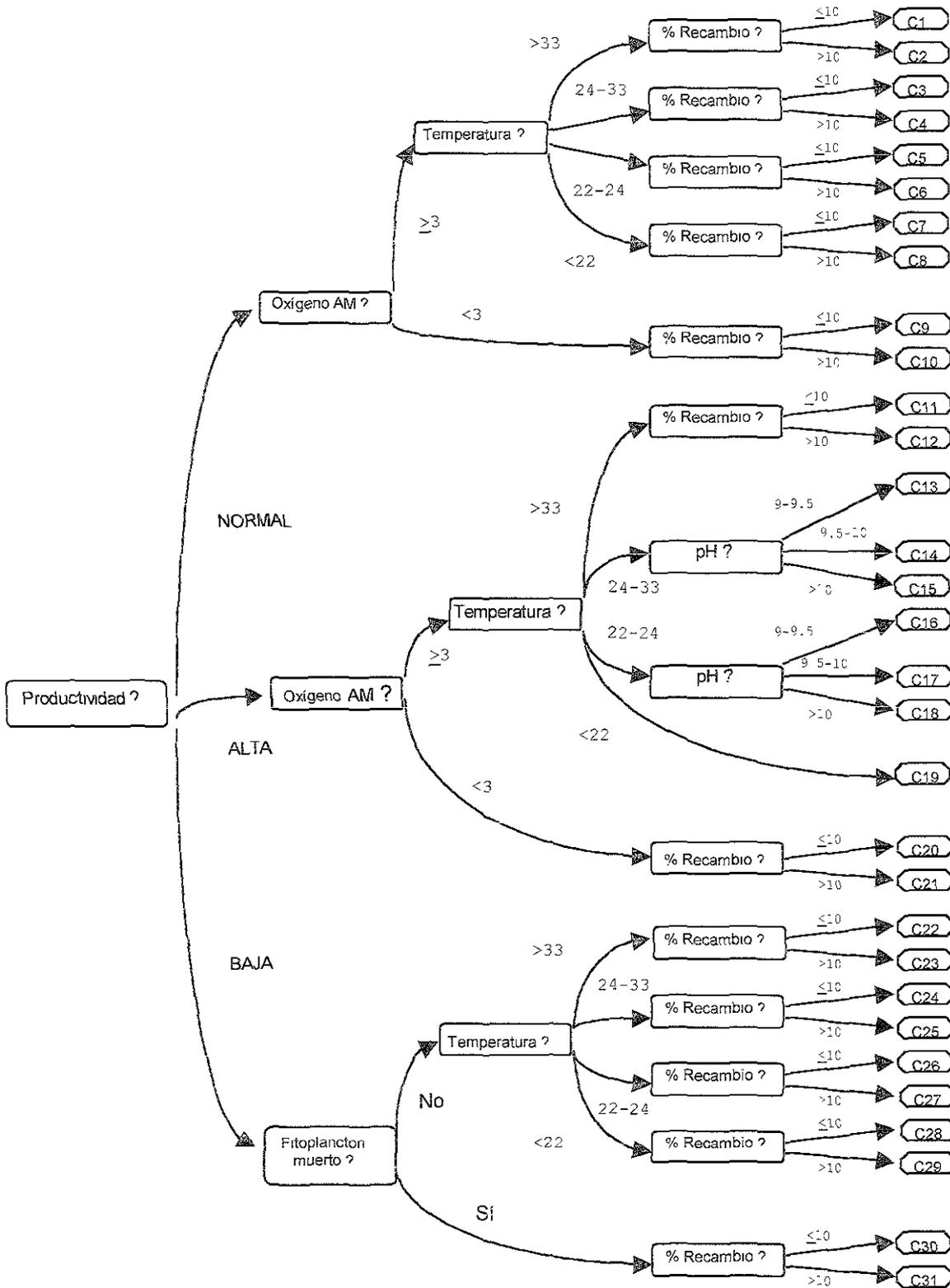


Figura 27. Arbol de decisión para el análisis de factores complementarios y recomendaciones para el manejo de la calidad del agua. El significado de las abreviaturas se explica en la tabla 8.

Tabla 8. Significado de las abreviaturas utilizadas en la Figura 27 para el manejo de la calidad del agua. El texto asociado a cada abreviatura detalla lo que CALEN comunica al usuario, una vez que establece la conclusión correspondiente.

ABREVIATURA	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN
C1	LA SITUACION ES PELIGROSA !El recambio es bajo ! Se recomienda incrementar fuertemente el recambio, particularmente provocando renovación superficial y romper la posible estratificación en la columna de agua.
C2	LA SITUACION ES PELIGROSA ! La temperatura es muy elevada. Se recomienda intentar incrementar el recambio, particularmente provocando renovación superficial y romper la posible estratificación en la columna de agua.
C3	Las condiciones del cultivo son buenas. Puede ser conveniente aumentar un poco el recambio de agua. SE RECOMIENDA MANTENER LO DEMAS IGUAL !
C4	Las condiciones del cultivo son buenas. SE RECOMIENDA MANTENERLAS !
C5	Las condiciones generales del cultivo son buenas, a excepción de la temperatura, que Es baja. El crecimiento es lento y se recomienda disminuir la alimentación en 50 %.
C6	Las condiciones generales del cultivo son buenas, a excepción de la temperatura, que es baja. El crecimiento es lento y se recomienda reducir en 50 % la tasa de alimentación. Puede ser conveniente disminuir el recambio de agua (para reducir costos).
C7	Las condiciones generales del cultivo son buenas, a excepción de la temperatura, que Es muy baja. El crecimiento es lento y se recomienda suspender la alimentación.
C8	Las condiciones generales del cultivo son buenas, a excepción de la temperatura, que es muy baja. El crecimiento es lento y se recomienda suspender la alimentación. Puede ser conveniente disminuir el recambio de agua (para reducir costos).
C9	Cuidado! La productividad primaria es normal, pero parece encontrarse en un límite en el que el oxígeno de la mañana empieza a bajar peligrosamente. Además, el recambio de agua es bajo, lo que incrementa el riesgo. Es conveniente aumentar el recambio de agua y suspender la alimentación y la fertilización.
C10	Cuidado! La productividad primaria es normal, pero parece encontrarse en un límite en el que el oxígeno de la mañana empieza a bajar peligrosamente. Es conveniente aumentar aún más el recambio de agua y suspender la alimentación y la fertilización.
C11	LA SITUACION ES PELIGROSA ! La temperatura es muy elevada, hay exceso de productividad y se está haciendo muy poco recambio. Se recomienda incrementar fuertemente el recambio, particularmente provocando renovación superficial para romper la posible estratificación en la columna de agua. Suspendeda la fertilización y la alimentación por completo.
C12	LA SITUACION ES PELIGROSA ! La temperatura es muy elevada. Además exceso de productividad. Se recomienda incrementar fuertemente el recambio, particularmente provocando renovación superficial para romper la posible estratificación en la columna de agua. Suspendeda la fertilización y la alimentación por completo.
C13	Hay exceso de productividad. Se recomienda no fertilizar, disminuir la alimentación en 25 % y subir el recambio.
C14	Hay exceso de productividad. Se recomienda no fertilizar, disminuir la alimentación en 50 % y subir el recambio
C15	CUIDADO !Hay exceso de productividad !Se recomienda suspender alimentación y fertilización y subir fuertemente recambio de agua.
C16	Hay exceso de productividad y la temperatura es baja. El crecimiento es lento y se recomienda disminuir la alimentación en 50 %.Suspendeda la fertilización y suba el recambio de agua.
C17	Hay exceso de productividad y la temperatura es baja. El crecimiento es lento y se recomienda disminuir la alimentación en 50 %. Suspendeda la fertilización y suba el recambio de agua.

Tabla 8. Continuación.

ABREVIATURA	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN
C18	CUIDADO ! Hay exceso de productividad ! Además la temperatura es baja y el crecimiento es lento. Se recomienda suspender alimentación y fertilización y subir el recambio de agua.
C19	Hay exceso de productividad y la temperatura es muy baja. Se recomienda suspender alimentación y fertilización y subir el recambio de agua.
C20	ATENCIÓN ! EL CULTIVO SE ENCUENTRA EN UNA SITUACION SUMAMENTE PELIGROSA! La productividad es muy alta, el nivel del oxígeno está muy abatido y se está haciendo muy poco recambio. Se recomienda suspender por completo la alimentación y la fertilización e incrementar fuertemente el recambio de agua.
C21	PELIGRO ! Hay exceso de microalgas ! Se recomienda suspender por completo la alimentación y la fertilización e incrementar el recambio de agua.
C22	LA SITUACION ES PELIGROSA ! La temperatura es muy elevada y el recambio es bajo ! Se recomienda incrementar fuertemente el recambio, particularmente provocando renovación superficial y romper la posible estratificación en la columna de agua. No importa que la productividad sea baja y que el incremento en la renovación "lave" la productividad hacia afuera del estanque. Es más urgente resolver el problema de la temperatura !
C23	LA SITUACION ES PELIGROSA ! La temperatura es muy elevada. Se recomienda incrementar el recambio, particularmente provocando renovación superficial y romper la posible estratificación en la columna de agua. No importa que la productividad sea baja y que el incremento en la renovación "lave" la productividad hacia afuera del estanque. Es más urgente resolver el problema de la temperatura !
C24	La productividad es baja. Se recomienda fertilizar, y de considerarse necesario, incrementar la alimentación.
C25	La productividad es baja. Se recomienda fertilizar, disminuir el recambio de agua, y de considerarse necesario, incrementar la alimentación.
C26	La productividad es baja. Se recomienda fertilizar. Puede ser que no se requiera incrementar la alimentación, debido a que la temperatura es baja.
C27	La productividad es baja. Se recomienda fertilizar y disminuir el recambio de agua. Puede ser que no se requiera incrementar la alimentación, debido a que la temperatura es baja.
C28	La productividad es baja. Se recomienda fertilizar. La alimentación se puede suspender o disminuir, debido a que la temperatura es muy baja.
C29	La productividad es baja. Se recomienda fertilizar y disminuir el recambio de agua. La alimentación se puede suspender o disminuir, debido a que la temperatura es muy baja.
C30	El problema es muy serio ! Se recomienda incrementar fuertemente el recambio de agua y suspender por completo la alimentación. De cualquier forma, también es recomendable verificar parámetros (particularmente el oxígeno).
C31	El problema es serio. Se recomienda incrementar el recambio de agua y suspender por completo la alimentación. De cualquier forma, también es recomendable verificar parámetros (particularmente el oxígeno).

(<3 mg/l). Si la productividad es baja, la situación crítica se deriva de una mortalidad masiva de fitoplancton (la que a su vez implica un nivel de oxígeno críticamente bajo). En cualquiera de estas circunstancias críticas, el peligro para la producción es tal que la única acción correctiva consiste en incrementar fuertemente el recambio de agua, sin importar el estado que

guardan el resto de las condiciones de calidad del agua. Por ello, la inferencia se conduce directamente a interrogar sobre la tasa de recambio que se ha estado aplicando, a fin de evaluar el riesgo y hacer las recomendaciones correspondientes. Las conclusiones y recomendaciones asociadas a estos casos críticos se encuentran indicadas por C9, C10, C20, C21, C30 y C31 (Figura 27 y Tabla 8).

Es necesario hacer notar que las conclusiones relativas al nivel de productividad y a la presencia de condiciones críticas (de ser el caso), se establecen durante la primera parte de la consulta, cuando se infiere sobre el nivel de productividad, conforme a lo representado en las Figuras 24 a la 26. Dichas conclusiones se encuentran presentes en la memoria de trabajo de CALEN y forman parte de sus base de conocimiento, por lo que, para la inferencia representada en la Figura 27, el nivel de productividad, el valor del oxígeno por la mañana y la presencia (o ausencia) de fitoplancton muerto se conocen de antemano (y las posibles condiciones que ello representa). En otras palabras, las interrogantes presentadas en la Figura 27 relativas al nivel de productividad, oxígeno y fitoplancton muerto, se presentan únicamente con fines explicativos del proceso de inferencia; el sistema tiene "conocimiento" previo de esos hechos y no pregunta al usuario por ellos de nuevo (en el caso del oxígeno), ni por primera vez (en el caso de las conclusiones obtenidas en la primera parte, asociadas a los otros dos factores).

Cuando no existen condiciones críticas como las señaladas, entonces resulta congruente preguntar por otros factores de la calidad del agua a fin de establecer si existe algún otro tipo de condiciones críticas, o si la situación del cultivo es aceptable, para finalmente concluir y recomendar lo correspondiente.

La temperatura es el siguiente factor a analizar como posible generador de problemas en el estanque (Figura 27). Por arriba de 33 °C se presentan condiciones críticas y resulta necesario conocer la tasa de recambio de agua para evaluar el riesgo que se presenta, antes de establecer las recomendaciones apropiadas para el caso. Las condiciones adversas asociadas a altas temperaturas tienen que ver con el estrés fisiológico que se genera en el camarón, la disminución de la capacidad del agua para mantener el oxígeno en disolución, y la posible estratificación térmica que se presenta en el estanque.

La temperatura en un estanque para cultivo tiene un comportamiento especial derivado de la gran cantidad de material particulado y materia orgánica en suspensión, los cuales incrementan la capacidad de absorción del calor en la columna de agua (Boyd, 1990). Como consecuencia, la capa superficial de un estanque puede calentarse rápidamente, en particular

durante los días cálidos e iluminados. Por otra parte, es un fenómeno conocido que la densidad del agua depende de su temperatura. En un estanque en el que no existe acción del viento para producir mezcla de la columna de agua, el agua fría se acumula en el fondo, en tanto que la caliente permanece en la superficie. A este fenómeno se le conoce como estratificación (Boyd, 1990).

En general, se reconoce que la circulación del agua en un estanque de acuicultura es benéfica. La circulación previene la estratificación térmica (o la química) y de esa manera, provoca que la totalidad del cuerpo de agua reúna condiciones homogéneas apropiadas para los organismos cultivados.

En las conclusiones y recomendaciones indicadas como C1, C2, C11, C12, C22 y C23 de la Figura 27 y la Tabla 8 se establece que, cuando la temperatura en el estanque es elevada, es probable que ocurra un fenómeno de estratificación, por lo que para evitarlo o eliminarlo, se recomienda provocar una circulación superficial del agua de nuevo ingreso (la cual proviene a menor temperatura), de manera que se desplace el agua caliente de la superficie hacia fuera del estanque. El agua fresca de reciente ingreso, posteriormente desciende, mezclándose con el agua de fondo y creando condiciones más homogéneas en todo el estanque.

El resto de las posibles situaciones que pueden presentarse en el estanque no son consideradas críticas pudiendo requerirse, ya sea acciones para mejorar la calidad del agua o, simplemente y de ser el caso, mantenerla en el estado apropiado en que se encuentra.

Para temperaturas bajas (entre 22-24 ó <22 °C) la tasa metabólica del camarón disminuye lo suficiente como para reducir su consumo de alimento, por lo que es necesario realizar un ajuste en la tasa de alimentación o suspender ésta (Tabla 9). En el intervalo 24-33 °C las condiciones son las más favorables y no hay ninguna consideración ni recomendación por hacer derivada específicamente de la temperatura. El conocimiento del porcentaje de recambio de agua permite analizar en su totalidad la situación, pudiendo resultar recomendable (conclusiones en la Figura 27 y Tabla 8):

- Disminuir la tasa de renovación, cuando la productividad es baja y el porcentaje de recambio es >10 % (conclusiones C25, C27 y C29)
- Mantenerlo en su nivel actual, cuando la productividad es baja y el recambio también lo es (conclusiones C24, C26 y C28)
- Mantenerlo en su nivel actual o considerar la posibilidad de modificarlo sólo ligeramente –y en cualquier sentido-, a discreción del operador del estanque (conclusiones C3, C4, C5, C6, C7 y C8)

En la Figura 27 puede observarse que, cuando la productividad es alta, se pregunta por el porcentaje de recambio únicamente cuando las condiciones son críticas por disminución en el nivel de oxígeno o por altas temperaturas, según se explicó en párrafos anteriores. Para el resto de las situaciones de alta productividad, la recomendación general e invariable es la de incrementar el recambio para disminuir la concentración fitoplanctónica en la columna de agua, independientemente de la tasa de renovación que se haya estado aplicando hasta el momento. Teniéndose conocimiento de antemano que se trata de una recomendación aplicable en todos los casos, el sistema se abstiene de preguntar por el porcentaje de recambio. En vez de ello, la última pregunta que se hace se refiere al valor del pH el cual permite, en conjunto con los valores de la temperatura, recomendar ajustes a la tasa de alimentación, según lo contemplado en la Tabla 9.

Para el intervalo de temperatura 24-33 °C los criterios de ajuste en dicha tasa se fundamenta en el valor del pH únicamente (conclusiones C13, C14 y C15, Figura 27 y Tabla 8). Para las recomendaciones asociadas a temperaturas más bajas, las cuales pudieran entrar en contradicción con la recomendación derivada del valor del pH, se utilizó como criterio recomendar la reducción más drástica aplicable al caso. De esa forma, para el intervalo 22-24 °C, prevalece el criterio de reducción en 50 % a la alimentación asociado a dicho intervalo, a pesar que el valor del pH esté entre 9-9.5, para el que se recomienda sólo una disminución del 25% (conclusión C16, Figura 27 y Tabla 8). Cuando el pH está entre 9.6-10 ambos criterios son idénticos y la reducción recomendable es, de nuevo, 50% (conclusión C17, Figura 27 y Tabla 8). La conclusión C18, sin embargo, recomienda la suspensión total del alimento pues, en ese caso, representa la medida más drástica aplicable, derivada de que el valor del pH es superior a 10 indicando una productividad muy elevada.

En congruencia con el mismo criterio de aplicación de la reducción más

Tabla 9. Recomendaciones establecidas por Clifford (1992) para el ajuste en la tasa de alimentación de *L. vannamei*, dependiendo de los valores de temperatura y de pH en el agua del estanque.

Condición	Recomendación
Si la temperatura está entre 22 y 24 °C	Reducir la tasa en 50 %
Si la temperatura es menor que 22 °C	Suspender la alimentación
Si el pH está entre 9 y 9.5	Reducir la tasa en 25 %
Si el pH está entre 9.6 y 10	Reducir la tasa en 50 %
Si el pH es superior a 10	Suspender la alimentación

drástica se tiene, por último, el caso de la conclusión C19 (Figura 27 y Tabla 8), cuando la temperatura es baja en extremo ($<22\text{ }^{\circ}\text{C}$) y, por lo tanto, también es recomendable suspender por completo la alimentación (Tabla 9). En este caso, sin embargo, la recomendación tiene que ver con la respuesta fisiológica del camarón y no con el nivel de productividad del estanque, y dado que cualquier recomendación que pudiera derivarse del conocimiento del nivel de productividad sería anulada -o a lo más, empatada- con la que se desprendiese del conocimiento de que la temperatura es muy baja, la inferencia se conduce a concluir y recomendar directamente, sin necesidad de interrogar sobre el valor del pH.

En la literatura revisada sobre el manejo de la calidad del agua para el cultivo del camarón se encontró que, prácticamente en la totalidad de los casos, las recomendaciones se limitan a establecer valores deseables de los parámetros y a señalar las posibles causas que provocan que éstos se modifiquen. No se visualiza la conveniencia de presentar, en un formato apropiado, el ejercicio indagatorio que debe realizarse para analizar la calidad del agua coherentemente, siguiendo un orden, en la consideración de los distintos parámetros y factores de manejo del cultivo, que obedezca a lo que la experiencia ha determinado que es práctico y eficaz.

El único trabajo que constituye una excepción a lo anterior es el preparado por France Aquaculture (1988) en el que, mediante la representación con un árbol de decisión, se determinan las acciones a realizar, una vez que se conoce un conjunto de valores de parámetros de la calidad del agua y del porcentaje de recambio de ésta (Figura 28). No obstante, el esquema ahí presentado no es el idóneo en tanto que, independientemente de la recomendación final que se hace, siempre se preguntan los mismos factores y en una misma secuencia. De esa manera, el árbol, en vez de describir secuencialmente la inferencia de un experto, constituye un artificio para asociar, a una determinada recomendación global, el conjunto de valores de parámetros que le corresponde.

El procedimiento de inferencia propuesto en el presente trabajo es congruente con las conclusiones y recomendaciones presentadas en el árbol de la Figura 28. Sin embargo, es destacable que en CALEN la inferencia se conduce conforme a la particularidad que cada caso lo requiera y en un orden que permite formular conclusiones intermedias -que se generan durante el transcurso de la consulta- de interés para el usuario del sistema

La representación final del conocimiento mediante reglas se hizo utilizando el editor de reglas de "1st-Class", mencionado en la metodología. En la Figura 29 se presenta un ejemplo de la regla construida para el análisis de la evidencia conducente a confirmar que la productividad es alta.

RECAM-BIO (%)	SECCHI (cm)	TEMPERATURA (C)	OXIGENO AM (mg/l)	APRECIACIONES	INTERVENCIONES	
Fuerte (>10)	<30	≥ 24	≤ 3	Exceso de algas. Peligro	Aumentar la renovación. No alimentar	
			> 3	Exceso de algas	Aumentar la alimentación. Bajar la alimentación	
		< 24	≤ 3	Exceso de algas. Peligro	No alimentar	
			> 3	Exceso de algas	Bajar la alimentación	
		30-40	≥ 24	≤ 3	Peligro	No alimentar
				> 3	Mejor de los casos	Sobre todo, no tocar
	< 24		≤ 3	Peligro	No alimentar	
			> 3	Buena pero crecimiento lento	Bajar la renovación	
	>40		≥ 24	≤ 3	Proliferación de fitoplancton muerto, Peligrosísimo	1o "chechar" nuevamente el oxígeno 2o aumentar la renovación. No alimentar
			> 3	Exceso de renovación	Bajar la renovación. Aumentar la alimentación. Fertilizar.	
	Débil (<10)	<30	≥ 24	≤ 3	"Caldero" biológico. Peligrosísimo	Aumentar la renovación con fuerza. No alimentar
				> 3	Peligroso	Aumentar la renovación. Bajar la alimentación
< 24			≤ 3	Piscina tipo "charca" peligro	Aumentar la renovación. No alimentar	
			> 3	Falta de renovación	Aumentar la renovación. Bajar la alimentación	
30-40			≥ 24	≤ 3	Peligro	No alimentar. Aumentar la renovación
				> 3	Buena	Aumentar un poco la renovación
		< 24	≤ 3	Peligro	No alimentar. Aumentar la renovación	
			> 3	Buena pero no es posible mejorar	Aumentar un poco la renovación	
		>40	≥ 24	≤ 3	Proliferación de fitoplancton recién muerto. Muy peligroso	Aumentar la renovación con fuerza. No alimentar
			> 3	Buena pero demasiado claro	Fertilizar	
>40		≥ 24	≤ 3	No es lógico	"Checar" el oxímetro y los otros parámetros	
			> 3	El peor de los casos	Fertilizar o buscar otro sitio para su camaronera	

Figura 28. Arbol de decisión propuesto por France Aquaculture (1988) para el manejo de la calidad del agua en estanques semiintensivos par el cultivo de *L. vannamei*.

Las reglas en la figura representan, esencialmente, la inferencia descrita en el árbol de decisión de la Figura 25. El sistema utiliza encadenamiento hacia atrás (indicado por el signo # antepuesto a los nombres de los parámetros) vinculando reglas correspondientes a los valores

```

Edit, Mark, Print, Import, Stats, Text, Goto, Chain, Return
Files, Definitions, Examples, Methods, Rule, Advisor, line: 4
[F1=Help] File = probprod [F9=Methods] [F10=Advisor]
---- start of rule ---- Values:--Results
#OXIGENO??
letal:#OXIGPM??
  alto:LETATAL??
    l:_____ #alta
  normal:#PHNORMAL??
    alto:LETNORAL??
      l:_____ #alta
    normal:_____ letnornor
    bajo:_____ letnorbaj
    bajisimo:_____ letnobisi
    nose:_____ losiento
  bajo:#PHNORMAL??
    alto:LETBAJAL??
      l:_____ #alta
    normal:_____ letbajnor
    bajo:_____ letbajbaj
    bajisimo:_____ letbajbjs
    nose:_____ losiento
  bajisimo:_____ FITMUERTO
subletal:#OXIGPM??

```

Figura 29. Ejemplo de edición de reglas en CALEN para el manejo de la calidad del agua. Las reglas corresponden al árbol de decisión para la identificación de un nivel de productividad alto (Figura 25). Se utiliza encadenamiento hacia atrás para contrastar la hipótesis relativa al nivel de productividad, y encadenamiento hacia adelante para establecer las recomendaciones correspondientes indicadas en el árbol de la Figura 27.

específicos de oxígeno por la mañana y por la tarde, así como el pH. En caso que se encuentre cuerpo de evidencia suficiente para concluir que la productividad es alta, se utiliza encadenamiento hacia adelante (regla "#alta") a fin de analizar los aspectos complementarios y hacer recomendaciones finales, de conformidad con lo representado en el árbol de decisión de la Figura 27.

La representación total del conocimiento utilizado para el manejo de la calidad del agua significó la integración de una base de conocimiento con un total de 185 reglas. En el Apéndice 2 se presentan las reglas que constituyen la base de conocimiento que CALEN utiliza para el manejo de la calidad del agua.

4.2.1.2 Ejecución de CALEN (ejemplo de manejo de calidad del agua)

Con el propósito de ofrecer una visión completa de los resultados obtenidos con el desarrollo de CALEN, a continuación se presentan, a manera de ejemplo, secciones de una consulta practicada a fin de analizar un caso específico, así como para establecer las medidas correctivas y de control de la calidad del agua correspondientes.

La consulta inicia con la presentación de pantallas introductorias y explicativas del proceso de consulta (Figura 30a,b). Enseguida, el sistema interroga al usuario sobre la profundidad del disco de Secchi y concluye en consecuencia, comunicándole el resultado (Figura 31a,b).

La consulta avanza a fin de recabar más evidencias que permitan confirmar que la productividad en el estanque es alta (Figura 32a). Después

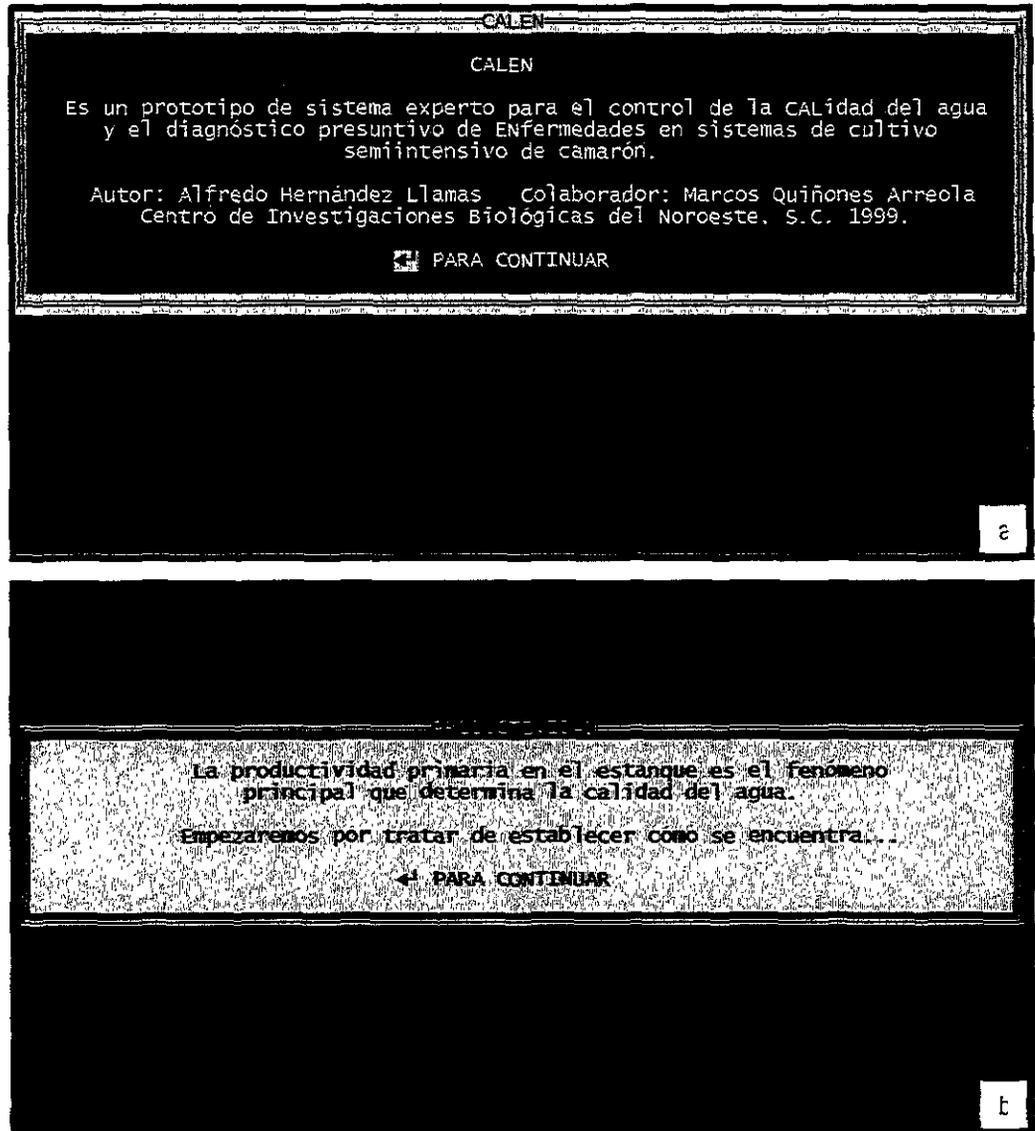


Figura 30. Pantallas introductorias al inicio de la consulta a CALEN. Después que el usuario selecciona el tema "manejo de calidad del agua" (pantalla no representada), el sistema le comunica el siguiente paso a efectuar, a fin de mantenerle informado sobre la forma en que se conduce la inferencia (b).

*** CALEN ***

¿ Qué profundidad registra el disco de Secchi (entre 3 y 5 de la tarde) ?

i) Entre 30 y 40 cm
ii) Menos de 30 cm
iii) Más de 40 cm

a

*** CALEN ***

La profundidad indica que la productividad es demasiado alta para fines de cultivo.

← to contin b

Figura 31. Sección inicial de la consulta a CALEN donde, a partir de la profundidad del disco de Secchi, se establece como hipótesis el nivel de productividad primaria que ocurre en el estanque.

que el usuario ha respondido acerca de los valores del oxígeno disuelto por la mañana y la tarde, así como el pH, CALEN concluye que la productividad es alta, con alguna consideración particular sobre el valor del primero de ellos (Figura 32b,c).

La parte final de la consulta analiza las condiciones de temperatura y pH (Figura 33a,b) llevando a la conclusión de que la situación es delicada debido a la alta productividad y recomendando ajustes en la tasa de recambio de agua y de alimentación así como en la fertilización (Figura 33c). El caso presentado en este ejemplo corresponde a la situación que conduce a la conclusión denominada C13 (Figura 27 y Tabla 8).



Figura 32. Sección de la consulta en que, a partir de valores de algunos parámetros (a, b), se confirma el nivel de alta productividad (c). Por razones de espacio se omiten las pantallas correspondientes al ingreso de los datos del oxígeno PM y del pH.

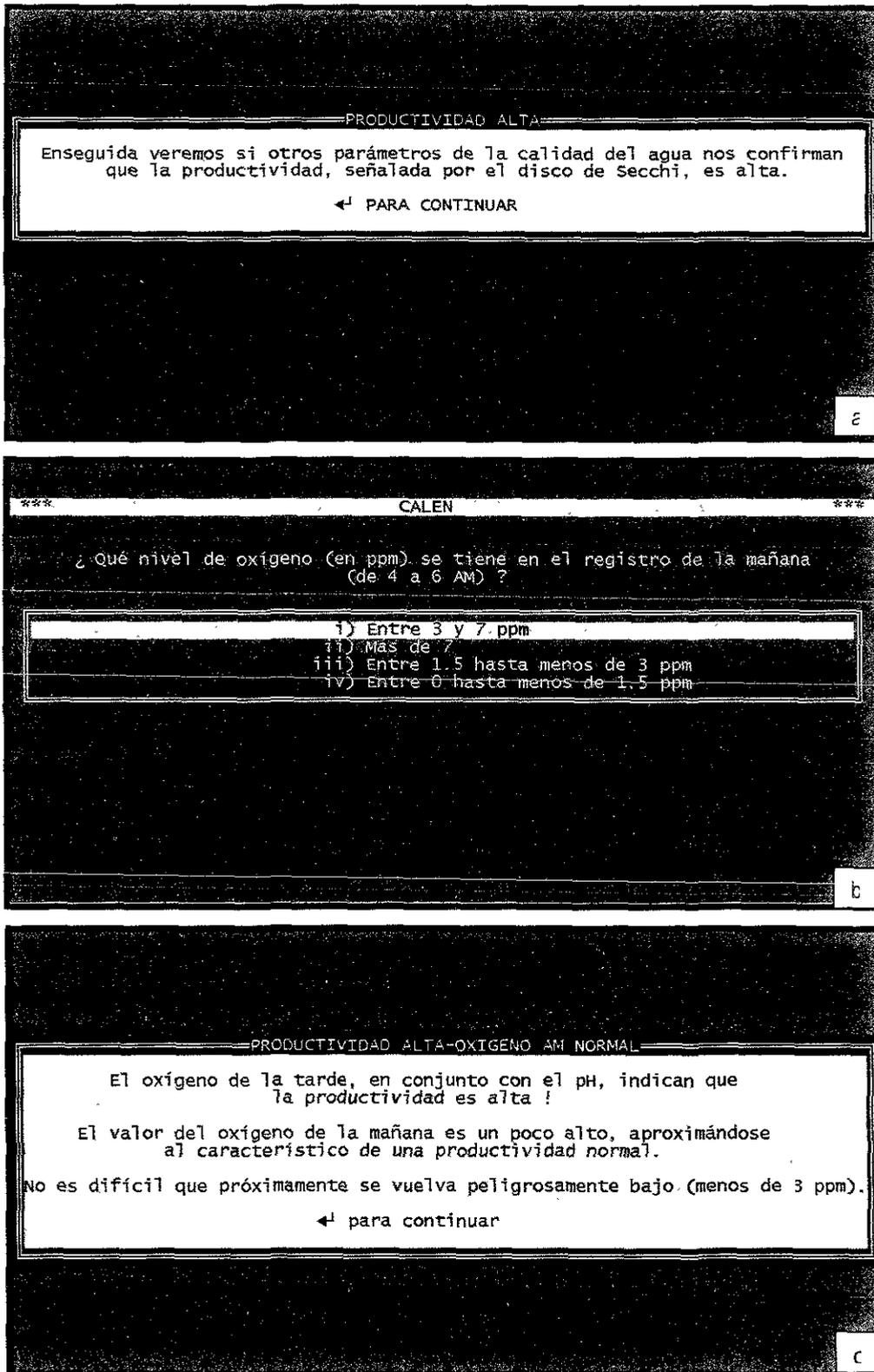


Figura 33. Pantallas correspondientes a la parte final de la consulta. El sistema ha solicitado información sobre la temperatura y mayor precisión sobre el valor del pH (a, b), a fin de establecer conclusiones y recomendaciones (c).

4.2.2 Diagnóstico y tratamiento de enfermedades

Con el propósito de facilitar la comprensión de la forma en que se integró la base de conocimiento de CALEN para el diagnóstico de enfermedades, seguidamente se presentan las bases biológicas y clínicas que conducen al conocimiento indispensable para dicho diagnóstico.

Avitaminosis

Corresponde al síndrome de deficiencia de ácido ascórbico -vitamina C- ("muerte negra" o escorbuto) de camarones peneidos (Lightner, 1988). Probablemente todas las especies de peneidos son afectadas por esta enfermedad y se sabe que postlarvas y juveniles son más susceptibles (Brock, 1986).

Los signos principales son manchas negras melanizadas en el tejido muscular (Lightner, 1988), el cual puede presentar opacidad difusa (Brock, 1986). El primer signo es muy similar al que se produce por infección bacteriana, con el cual puede confundirse. El diagnóstico correcto se establece a partir de la ubicación de las lesiones y manchas las cuales, en el caso de la infección, se presentan en la cutícula, mientras que en la avitaminosis se encuentra bajo el esqueleto, el cual permanece sin lesiones (Lightner, 1988).

Esta es una enfermedad de camarones cultivados, principalmente, en condiciones de laboratorio y con alimentación artificial, o bien, en cultivos con escasa disponibilidad de algas o en los que se proporciona alimento balanceado viejo o carente de ácido ascórbico. También se sabe que la vitamina C puede ser destruida por un exceso de calentamiento durante el proceso de fabricación del alimento (Brock, 1986).

Existe tratamiento correctivo de esta enfermedad consistente en la adición de ácido ascórbico en el alimento balanceado.

Microsporidiosis

Los protozoarios del grupo de los microsporidios (*Ameson* sp) causan un conjunto de cuatro enfermedades en los camarones peneidos que colectivamente reciben el nombre de camarón de "leche" o "algodón" (Lightner, 1983).

Se han reportado infecciones por microsporidios prácticamente en todas las partes del mundo donde se cultivan camarones peneidos (Lightner, 1996). No obstante, se sabe que las infecciones raramente afectan a más

del 10% de la población cultivada en estanques (Lightner, 1985). La enfermedad puede afectar a *L. vannamei* desde la etapa juvenil hasta la adulta (Brock y Main, 1994).

El parásito tiene un ciclo de vida que involucra dos hospederos: el camarón y un pez depredador de éste. El pez adquiere la infección cuando ingiere camarón infectado con esporas de *Ameson* sp. El desarrollo de las esporas en el tracto digestivo del pez progresa hasta alcanzar el estado infectivo, el cual es dispersado mediante las heces fecales del pez. El camarón, al alimentarse del detritus, ingiere las esporas contenidas en él.

La reproducción asexual de los organismos mediante esporas produce la invasión masiva de éstas en las células de tejido muscular del camarón (Brock y Main, 1994), tornándolo opaco y blanquecino, lo que constituye el principal signo de la enfermedad (Lightner, 1996) y le confiere el nombre a la misma. El tejido muscular adquiere la apariencia de pelusa y en ocasiones se presentan agitación y ansiedad (Brock, 1986). Estos dos últimos signos, sin embargo, normalmente no se utilizan como criterios para el diagnóstico. En consecuencia, el diagnóstico de la enfermedad se establece en forma directa y rápida una vez que aparece el primero de los signos referidos.

No existe tratamiento para esta enfermedad por lo que únicamente deben tomarse medidas preventivas tendientes a impedir el contacto entre el camarón y el parásito. En tal sentido, es importante que se tenga un control estricto para impedir la entrada de peces depredadores a los estanques.

Vibriosis

Las infecciones causadas por bacterias se conocen desde hace muchos años, y se sabe que el principal grupo bacteriano corresponde al género *Vibrio*. Todas las especies de camarones del género *Penaeus* (referido así hasta la modificación propuesta por Pérez-Farfante y Kensley, 1997), en todas sus etapas de desarrollo, son susceptibles a este tipo de infecciones (Brock, 1986; Lightner, 1988).

Los signos son de tipo clínico y conductual. El principal signo es la presencia de manchas oscuras, a consecuencia de las lesiones producidas. Según se comentó, el signo es similar al provocado por la carencia de vitamina C, pero en el caso de la vibriosis, las lesiones se ubican en la cutícula. En esas condiciones, la mortalidad es relativamente baja, pero si la infección es más severa, se presentan natación errática y aletargamiento, seguidos de elevada mortalidad (Brock, 1986). Con frecuencia las bacterias patógenas son bioluminiscentes (Brock y Main, 1994), por lo que la presencia de bioluminiscencia en los estanques se considera evidencia indirecta para determinar la posible presencia de la enfermedad.

La vibriosis se transmite desde el medio ambiente a la población o, a partir de otros organismos infectados o portadores. Se reconoce que la principal causa de infección es el "estrés" causado a los organismos por manejo inadecuado de las condiciones de cultivo.

Los tratamientos correctivos consisten en el uso de alimento balanceado medicado con antibiótico (Brock y Main, 1994), el uso de cal, y el incremento en la tasa de recambio de agua.

Virosis

La Necrosis Infecciosa Hipodérmica y Hematopoyética (IHHN, por sus siglas en inglés) es provocada por un virus y, presumiblemente, todas las especies y estadios de camarones peneidos son susceptibles a esta infección (Brock, 1986).

La enfermedad es conocida particularmente por las mortalidades masivas que provoca en *L. stylirostris* en condiciones de cultivo (Brock, 1986).

En *L. vannamei* las consecuencias de la enfermedad son menos severas, y provoca el "síndrome de deformidad por enanismo" (Lightner, 1996). La IHHN en esta especie es típicamente una enfermedad crónica que, además de enanismo en una fracción importante de la población, provoca deformidad en el rostro, plegamiento de antenas y rugosidad de la cutícula. El padecimiento se manifiesta tanto en la etapa de preengorda como en la de engorda.

El síndrome de enanismo provoca que la dispersión de tallas sea muy amplia, con un coeficiente de variación significativamente más grande que el de las poblaciones que se encuentran sanas (Lightner, 1996).

Se sabe que la enfermedad se transmite verticalmente durante el desarrollo embrionario o en etapas tempranas del desarrollo larval (Brock y Main, 1994). No existe un tratamiento correctivo para esta enfermedad, por lo que únicamente se recomienda tratamientos preventivos. Se recomienda la utilización de postlarvas libres del patógeno y la prohibición del uso de adultos infectados como reproductores. Si bien las mortalidades pueden resultar ser de menor importancia, la reducción en las tallas puede afectar drásticamente los ingresos por venta. En tal virtud, puede resultar más conveniente desechar la totalidad de la población infectada y volver a iniciar el cultivo con postlarvas sanas, si la detección de la enfermedad se hace en una etapa temprana del cultivo.

4.2.2.1 Representación del conocimiento

En la Figura 34 se presenta el árbol de decisión que representa la estructura principal del procedimiento utilizado por CALEN para establecer los diagnósticos de las distintas enfermedades. Los signos asociados a éstas se analizan por grupos, de manera que los más característicos de cada una de ellas son tomados en cuenta para un primer grupo, a partir del cual se establece la hipótesis de la presencia de una de las cuatro enfermedades posibles. En caso de que no se presente ninguno de los signos, se analizan un segundo y un tercer conjuntos de signos que permitan establecer alguna hipótesis.

Las flechas colocadas al extremo derecho indican que la inferencia debe continuarse por el sistema a fin de llegar a una conclusión final, mediante la búsqueda de otros signos que permitan corroborar la presencia de la enfermedad que se presume. En las Figuras 35 a la 38 se presentan los árboles de decisión que toman en cuenta los signos correspondientes a las distintas enfermedades (incluyendo los presentados en Figura 34), así como las conclusiones y recomendaciones que el sistema ofrece al usuario al final de la consulta.

En los casos de la Figura 34 en que no se presentan flechas en el extremo derecho, significa que el sistema ha llegado a algún tipo de conclusión sin necesidad de continuar con el proceso de inferencia. Esas conclusiones también se encuentran incluidas en las Figuras 35 a la 38, a excepción de la correspondiente a la palabra FIN, cuando el usuario desconoce si se encuentran presentes todos y cada uno de los signos que se preguntan en el primer grupo, y por lo tanto, el sistema no puede iniciar el proceso de consulta.

Una consideración importante que se hace, por parte del sistema, es la posibilidad de que el usuario desconozca si un signo específico está presente en los organismos. La identificación de una enfermedad no tiene porqué depender de que todos los signos que comúnmente están asociados a ella estén presentes, o a que se tenga conocimiento de su presencia. La evidencia que pueden aportar la presencia de alguno o algunos de los signos puede considerarse suficiente para establecer un diagnóstico presuntivo. CALEN considera las diversas posibilidades de presencia, ausencia o desconocimiento de los signos asociados a las distintas enfermedades. Ello conduce a distintas posibles conclusiones y recomendaciones las cuales hacen consideración, a detalle, de los signos que están presentes o que sería de esperar se hubieran presentado u observado.

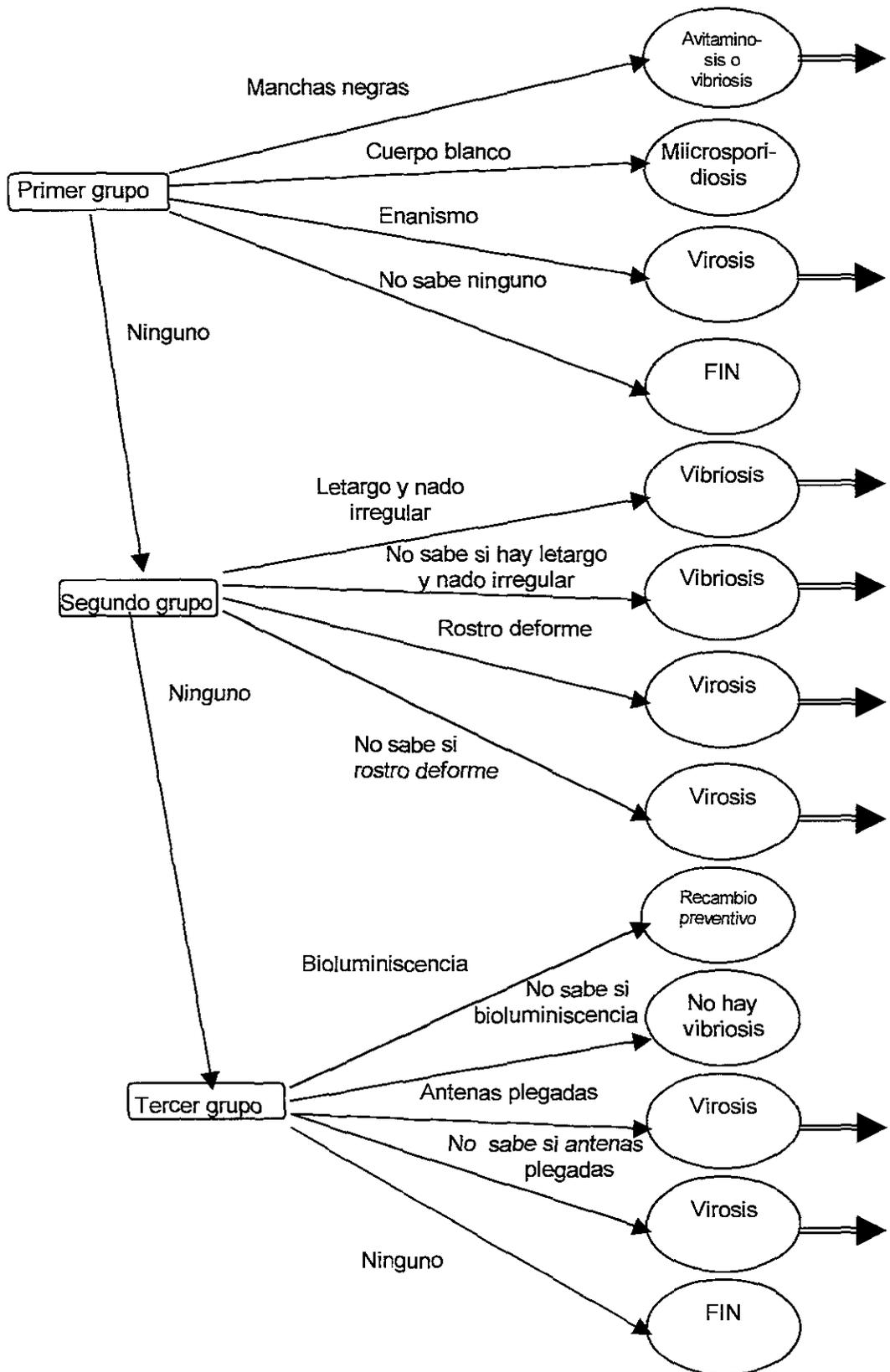


Figura 34. Arbol de decisión para el análisis de grupos de signos e identificación de enfermedades.

Manchas Negras	Posición de manchas	Músculo Opaco	Conclusiones y recomendaciones
Sí	Músculo	Sí	Se puede concluir que se trata de una avitaminosis severa por carencia de vitamina C.
		No	Se presenta un problema de carencia de vitamina C que aún no es severo.
		No sabe	Se presenta un problema de carencia de vitamina C. Le recomiendo verifique la presencia de opacidad en el músculo. En caso de que se encuentre presente, será indicativo de una avitaminosis severa.

Figura 35. Signos asociados a la carencia de ácido ascórbico (vitamina C). Se presentan todas las posibilidades analizadas por CALEN. El texto incluido en la columna de conclusiones corresponde a lo que el sistema informa al usuario.

Cuerpo blanco	Conclusión y recomendaciones
Sí	El cuerpo blanco (como pelusa) indica que se trata de una microsporidiosis conocida como "camarón de leche" o enfermedad del "algodón". Le recomiendo incrementar el recambio de agua y retirar de los estanques los organismos infectados.

Figura 36. Signo asociado a microsporidiosis. El texto incluido en la columna de conclusiones corresponde a lo que el sistema informa al usuario.

Así, por ejemplo, una vez que se ha determinado que la presencia de manchas negras en el músculo es indicativa de carencia de vitamina C y no de vibriosis, la posible presencia de opacidad en el músculo es indicativa de la severidad del padecimiento. En la Figura 35 se presenta el árbol de decisión correspondiente a estas posibilidades. En el caso de infección por microsporidiosis el diagnóstico se establece directamente a partir del signo característico que le confiere el nombre a la enfermedad (Figura 36).

En el caso de la vibriosis es posible discriminar entre estados infecciosos tempranos y tardíos dependiendo de si únicamente se presentan manchas negras en la cutícula, o si éstas se acompañan de aletargamiento y nado irregular, respectivamente (Figura 37). La presencia de bioluminiscencia es una evidencia indirecta útil para enfatizar el hecho de que existe abundancia excesiva de bacterias en el estanque. El hecho, por sí solo, no tiene validez para efectos de diagnóstico. Cuando no existen manchas negras se concluye que existe cierta evidencia de la presencia de virosis sólo en caso de que el resto de los signos estén presentes. Cuando el único signo presente es el aletargamiento y nado irregular, CALEN manifiesta-

Manchas Negras	Aletargamiento y Nado irregular	Bioluminiscencia	Conclusiones y recomendaciones
Sí	Sí	Sí	La evidencia indica que se trata de un estado de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad (>50%) si no se hace un tratamiento correctivo adecuado. La presencia de bioluminiscencia indica que hay gran cantidad de bacterias. Es conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua para reducir la población bacteriana.
		No	La evidencia indica que se trata de un estado de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad (>50%) si no se hace un tratamiento correctivo adecuado.
		No sabe	La evidencia indica que se trata de un estado de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad (>50%) si no se hace un tratamiento correctivo adecuado. En virtud de que se desconoce la existencia de bioluminiscencia, le recomiendo verifique si esta se presenta. De ser así, sería indicativo de la presencia de gran cantidad de bacterias, siendo conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua, a fin de reducir la población bacteriana
	No	Sí	La evidencia indica un estado temprano de vibriosis fácilmente controlable si se hace el tratamiento correctivo adecuado. La presencia de bioluminiscencia indica que hay gran cantidad de bacterias. Es conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua, para así reducir la población bacteriana.
		No	La evidencia indica un estado temprano de vibriosis fácilmente controlable si se hace el tratamiento correctivo adecuado.
		No sabe	La evidencia indica un estado temprano de vibriosis fácilmente controlable si se hace el tratamiento correctivo adecuado. En virtud de que se desconoce la existencia de bioluminiscencia, le recomiendo verifique si esta se presenta. De ser así, sería indicativo de la presencia de gran cantidad de bacterias, siendo conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua, a fin de reducir la población bacteriana
	No sabe	Sí	La evidencia indica la presencia de vibriosis. Sugerimos verifique la existencia de aletargamiento y/o nado irregular. En caso de que se presenten, ser indicativos de un estado de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad (>50%) si no se hace un tratamiento adecuado. La presencia de bioluminiscencia indica que hay gran cantidad de bacterias. Es conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua, para así reducir la población bacteriana.
		No	La evidencia indica la presencia de vibriosis. Sugerimos verifique la existencia de aletargamiento y/o nado irregular. En caso de existir dichos signos, se tendrá un caso de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad (>50%) si no se hace un tratamiento adecuado
		No sabe	La evidencia indica la presencia de vibriosis. Sugerimos verifique la existencia de aletargamiento y/o nado irregular. En caso de existir dichos signos, se tendrá un caso de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad (>50%) si no se hace un tratamiento adecuado. En virtud de que se desconoce la existencia de bioluminiscencia, le recomiendo verifique si se encuentra presente. De ser así, indicaría que hay gran cantidad de bacterias, siendo conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua, a fin de reducir la población bacteriana.

Figura 37. Signos asociados a vibriosis. Se presentan todas las posibilidades analizadas por CALEN. El texto incluido en la columna de conclusiones corresponde a lo que el sistema informa al usuario.

Manchas Negras	Aletargamiento y nado irregular	Bioluminiscencia	Conclusiones y recomendaciones	
No	Sí	Sí	<p>La presencia de aletargamiento, dificultades en el nado y bioluminiscencia son, en conjunto, indicadores de la presencia de vibriosis. Se sugiere corroborar, hasta donde sea posible, el que previamente hayan existido manchas negras y que hayan pasado desapercibidas, o que no se hayan reportado. Si se corrobora la presencia de manchas, será indicativo de un estado avanzado de vibriosis que puede provocar serios problemas de mortalidad, si no se hace el tratamiento correctivo adecuado. Si no se tiene evidencia de la existencia previa de manchas, se sugiere investigar si se trata de otra enfermedad. La presencia de bioluminiscencia indica que hay gran cantidad de bacterias. Es conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua para reducir la población bacteriana.</p>	
		No	<p>El aletargamiento y nado irregular son signos característicos de una vibriosis, aunque no existe ninguna otra evidencia que permita afirmar que se encuentra presente esa enfermedad. Sin embargo, es necesario corroborar, hasta donde sea posible, el que previamente hayan existido manchas negras y que hayan pasado desapercibidas, o que no se hayan reportado. Si se corrobora la presencia de manchas, será indicativo de un estado avanzado de vibriosis que puede provocar serios problemas de mortalidad, si no se hace el tratamiento correctivo adecuado. Si no se tiene evidencia de la existencia previa de manchas, es posible que los problemas de nado y aletargamiento que presenta el camarón se deban a otra enfermedad. Le sugiero investigar esta posibilidad.</p>	
		No sabe	<p>El aletargamiento y nado irregular son signos característicos de una vibriosis, aunque no existe ninguna otra evidencia que permita afirmar que se encuentra presente esa enfermedad. Es necesario corroborar, hasta donde sea posible, el que previamente hayan existido manchas negras y que hayan pasado desapercibidas, o que no se hayan reportado. En caso de que se confirme la presencia de manchas, se tendría un estado de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad si no se hace un tratamiento correctivo adecuado. Si no se tiene evidencia de la existencia previa de manchas, se sugiere investigar si se trata de otra enfermedad. En virtud de que se desconoce la existencia de bioluminiscencia, le recomiendo verifique si ésta se presenta. De ser así, sería indicativo de la presencia de gran cantidad de bacterias, siendo conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua, a fin de reducir la población bacteriana.</p>	
	No	No	Sí	<p>Al parecer no existe un problema de vibriosis, aunque la presencia de bioluminiscencia indica que hay gran cantidad de bacterias, lo que pudiera provocarlo. Es conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua para reducir la población bacteriana. No he encontrado signos de alguna otra enfermedad que sea capaz de identificar. Aquí concluye la consulta al módulo de enfermedades.</p>
			No sabe	<p>Al parecer no existe un problema de vibriosis, aunque la posible presencia de bioluminiscencia sería indicativa de gran cantidad de bacterias que pudieran provocarlo. Debido a ello, le recomiendo verifique si ésta se presenta y que, de ser así, incremente fuertemente el recambio de agua, a fin de reducir la población bacteriana. Por lo demás, no he encontrado signos de alguna otra enfermedad que sea capaz de identificar. Aquí concluye la consulta al módulo de enfermedades. Gracias.</p>
		No sabe	Sí	<p>Le sugiero verifique la existencia de aletargamiento y/o nado irregular así como corroborar, hasta donde sea posible, el que previamente hayan existido manchas negras y que hayan pasado desapercibidas, o que no se hayan reportado. En caso de que se confirme todo lo anterior, se tendría un estado de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad si no se hace un tratamiento correctivo adecuado. Si sólo se comprueba la presencia previa de manchas, pero no de aletargamiento ni de nado irregular, entonces se tendrá un estado temprano de vibriosis fácilmente controlable, si se hace el tratamiento correctivo adecuado. La presencia de bioluminiscencia indica que hay gran cantidad de bacterias. Es conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua, para así reducir la población bacteriana.</p>
No sabe	No	Sí	<p>Le sugiero verifique la existencia de aletargamiento y/o nado irregular así como corroborar, hasta donde sea posible, el que previamente hayan existido manchas negras y que hayan pasado desapercibidas, o que no se hayan reportado. En caso de que se confirme todo lo anterior, se tendría un estado de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad si no se hace un tratamiento correctivo adecuado. Si sólo se comprueba la presencia previa de manchas, pero no de aletargamiento ni de nado irregular, entonces se tendrá un estado temprano de vibriosis fácilmente controlable, si se hace el tratamiento correctivo adecuado.</p>	
		No sabe	<p>Le sugiero verifique la existencia de aletargamiento y/o nado irregular así como corroborar, hasta donde sea posible, el que previamente hayan existido manchas negras y que hayan pasado desapercibidas, o que no se hayan reportado. En caso de que se confirme todo lo anterior, se tendría un estado de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad si no se hace un tratamiento correctivo adecuado. Si sólo se comprueba la presencia previa de manchas, pero no de aletargamiento ni de nado irregular, entonces se tendrá un estado temprano de vibriosis fácilmente controlable, si se hace el tratamiento correctivo adecuado. En virtud de que se desconoce la existencia de bioluminiscencia, le recomiendo verifique si ésta se presenta. De ser así, sería indicativo de la presencia de gran cantidad de bacterias, siendo conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua, a fin de reducir la población bacteriana.</p>	
	No sabe	No sabe		

Figura 37. Continúa.

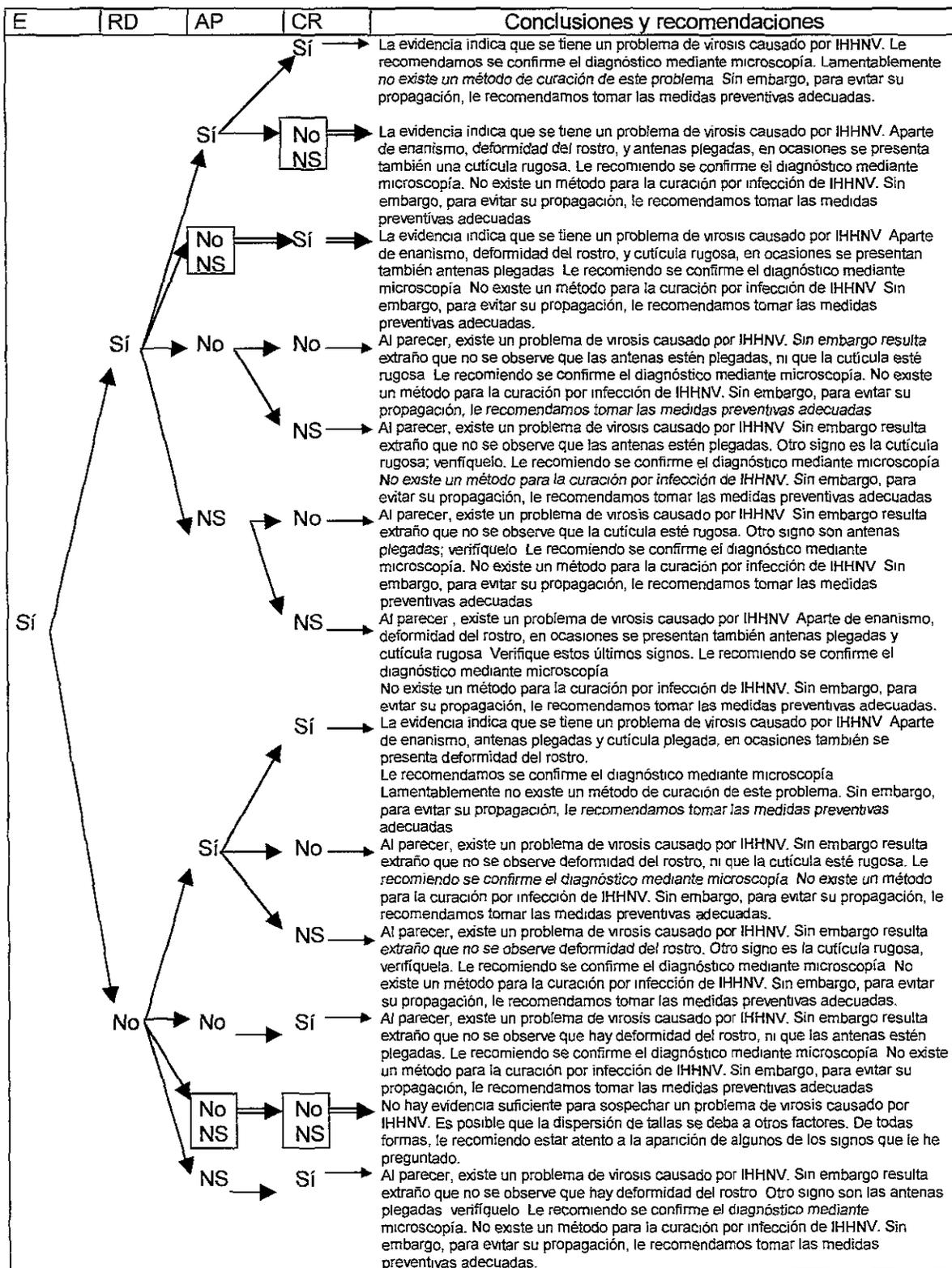


Figura 38. Signos asociados a virosis. Se presentan las posibilidades analizadas por CALEN. El texto en la columna de conclusiones es lo que el sistema informa al usuario. Las abreviaturas significan enanismo (E), rostro deforme (RD), antenas plegadas (AP), cutícula rugosa (CR) y no sabe (NS). Las flechas a doble línea indican que la inferencia puede realizarse en varios sentidos, cada uno de ellos correspondiente a las distintas posibles combinaciones que pueden formularse a partir de los valores que adquieren lo signos indicados.

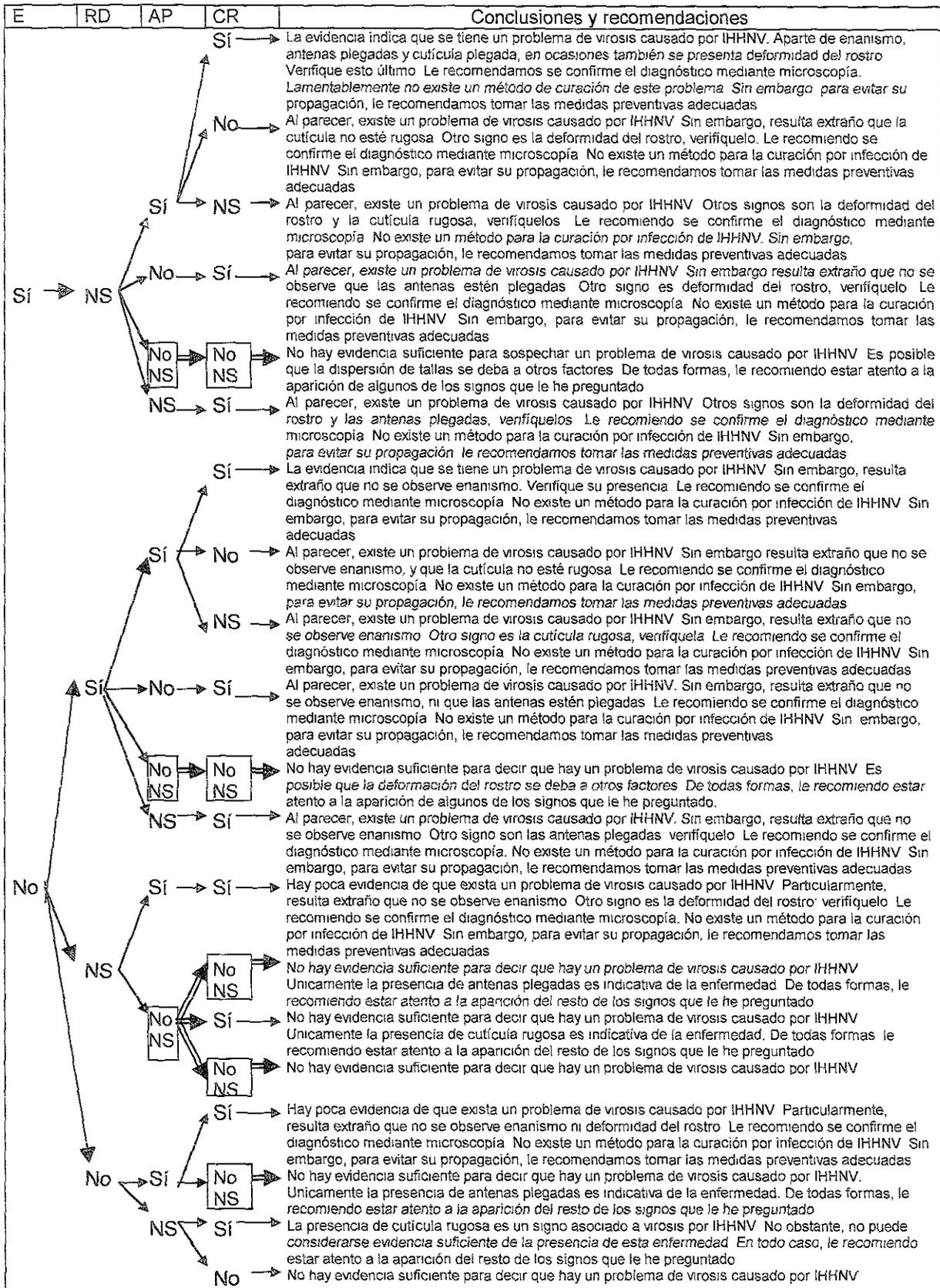


Figura 38. Continúa.

ta extrañeza por la ausencia -o desconocimiento - del resto de los signos, y aunque reconoce el signo como asociado a vibriosis, no puede asegurar la presencia del padecimiento.

En el caso de infección por el virus de la IHHN se manejan posibilidades similares (Figura 38). La presencia de un solo signo no se considera evidencia suficiente para afirmar que existe la enfermedad. Si los dos signos principales se encuentran ausentes y únicamente se presentan los menos importantes, entonces se considera que existe poca evidencia. Cuando existe al menos un signo importante y algún otro (importante o no), la evidencia es parcial y, en consecuencia, se concluye que aparentemente la enfermedad está presente. El resto de los casos corresponden a situaciones en que el cuerpo de evidencia es suficiente para afirmar que existe infección por el virus de la IHHNV.

La representación de la totalidad del conocimiento requerido para el diagnóstico de las enfermedades requirió de un total de 79 reglas. En el Apéndice 2 se presentan las reglas utilizadas para integrar la base de conocimiento de CALEN relativa al diagnóstico de enfermedades.

En la Figura 39 se presenta un ejemplo de edición de reglas utilizando "1st-Class", referido previamente. Las reglas se editan como un árbol de decisión correspondiente al denominado "primer grupo" de la Figura 34 en el que, dependiendo de la información proporcionada por el usuario, la consulta puede dirigirse hacia la identificación de vibriosis o avitaminosis (mediante la regla #vib/vitc encadenada hacia adelante), o bien avitaminosis (regla #virosis). La consulta puede concluir si se identifica un problema por microsporidiosis o si el usuario no puede proporcionar información sobre signo alguno. Si el usuario tiene certeza de que ninguno de los signos está presente, la inferencia se conduce a fin de analizar el "segundo grupo" de signos de la Figura 34.

4.2.2.2 Ejecución de CALEN (ejemplo de diagnóstico de enfermedades)

Enseguida se muestran ejemplos de consulta a CALEN para el diagnóstico de enfermedades.

Después del despliegue de pantallas introductorias, se inicia la indagación de signos por grupos. La pantalla correspondiente a la pregunta sobre el primer grupo se presenta en la Figura 40a. En caso que el usuario responda que los camarones presentan manchas negras, CALEN abre la posibilidad de que la enfermedad sea una infección bacteriana o por carencia de vitamina C (Figura 40b).



Figura 39. Ejemplo de edición de reglas en CALEN para el diagnóstico de enfermedades. Se presentan reglas correspondientes al análisis del primer grupo de signos referido en la Figura 34.

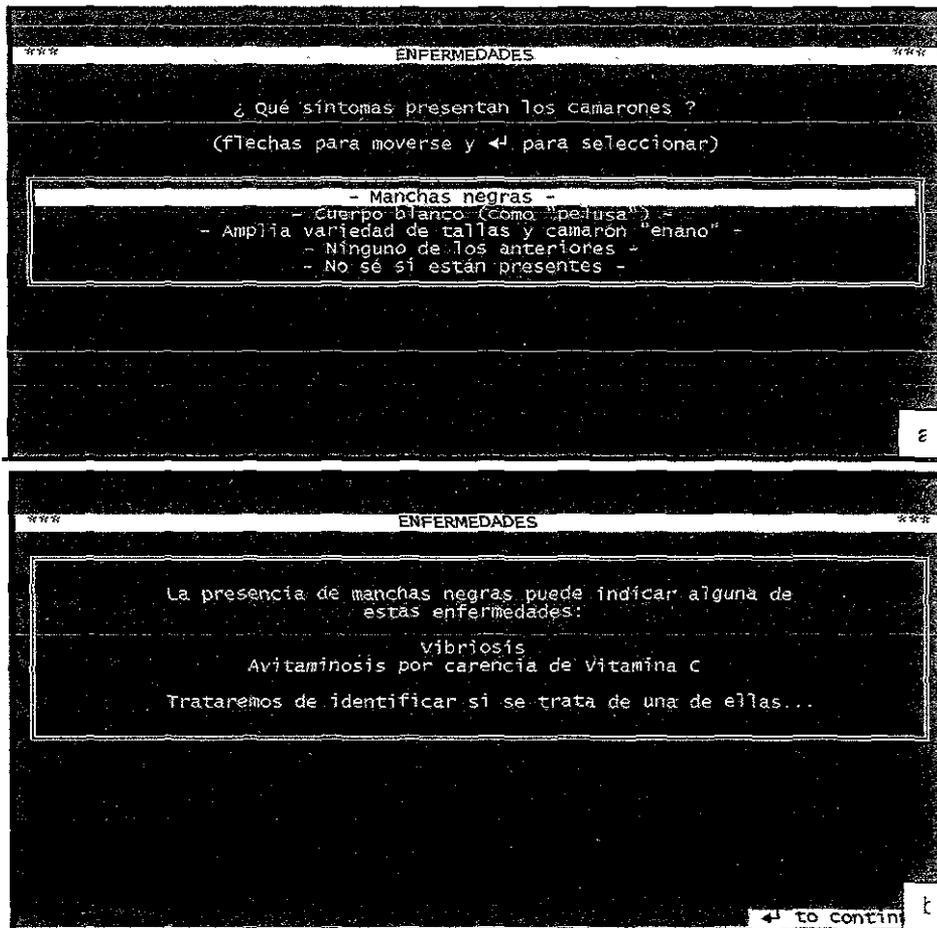


Figura.40. Ejemplo de consulta a CALEN para el diagnóstico de vibriosis. El sistema interroga al usuario sobre signos del primer grupo indicado en la Figura 34 (a). El signo correspondiente a la presencia de manchas negras indica dos posibles enfermedades (b).

Para dilucidar de qué padecimiento se trata, se interroga sobre la posición de las manchas (Figura 41a). Cuando las lesiones se ubican en cutícula, CALEN concluye que se trata de una infección por *Vibrio* sp (Figura 41b). Después de indagar sobre algunas cuestiones complementarias (problemas en el nado y presencia de bioluminiscencia) se concluye sobre el estado de avance de la infección (Figura 41c).

En caso que el usuario se interese en conocer tratamientos correctivos de la infección, CALEN le ofrece la posibilidad de orientarlo sobre el tema (Figura 42). CALEN utiliza hipertexto a fin de presentar, mediante menús, información relativa a los tratamientos.

En la Figura 42a se muestra la situación en que interesa conocer la aplicación de antibióticos. CALEN despliega pantallas ofreciendo acceso a información sobre tipos y dosis de antibióticos (Figura 42b), así como la forma en que éste debe prepararse y aplicarse en el alimento balanceado (Figura 42c).

4.2.3 Análisis y desempeño comparativos de CALEN

No existen antecedentes de SE para el manejo de calidad del agua en estanques para acuicultura. El sistema POND, referido previamente en este trabajo aborda, entre otros, el problema del manejo de la calidad del agua en estanques desde la perspectiva de los Sistemas para el Apoyo en la Toma de Decisiones (SATD), con el fin de proyectar las consecuencias de distintos esquemas de manejo sobre los rendimientos de producción y los beneficios económicos correspondientes.

A diferencia de POND, con CALEN se pretende resolver el problema del manejo de la calidad del agua para un horizonte de tiempo inmediato, es decir, el establecer recomendaciones que permitan controlar la calidad del agua desde el punto de vista del operador de una granja, y no del proyectista de la misma.

Bolthe, Nath y Ernst (2000), refiriéndose a POND, manejan el concepto de "pericia" pretendiendo abarcar también la representación del conocimiento implícita en algoritmos y modelos matemáticos, de manera que, así concebidos, los contenidos en POND constituyen parte de la "base de conocimiento" de ese sistema. Las capacidades para realizar cálculos sobre composición química del agua, crecimiento de los organismos cultivados, dinámica de las poblaciones algales, condiciones climáticas, balances de masa y energía, y presupuestos económicos se interpretan, por dichos autores, como "expertos" incorporados a POND para resolver problemas en esos ámbitos específicos.

*** ENFERMEDADES ***

¿ En cual parte del cuerpo se encuentran las manchas ?

- En la cutícula -
- En el músculo -
- En ninguna de las anteriores -

a

*** ENFERMEDADES ***

El hecho de que las manchas se presenten en la cutícula es indicativo de la presencia de una vibriosis.
Veamos algunas cuestiones complementarias...

← to continue b

*** ENFERMEDADES ***

- DIAGNOSTICO -

La evidencia indica que se trata de un estado de vibriosis avanzado que puede provocar serios problemas de mortalidad (>50%) si no se hace un tratamiento correctivo adecuado.
La presencia de bioluminiscencia indica que hay gran cantidad de bacterias. Es conveniente incrementar fuertemente el recambio de agua para reducir la población bacteriana.
[F2=Información sobre tratamiento]

[N=New session] [R=Replay this session] [Q=Quit] c

Figura 41. La posición de las manchas (a), es determinante para discernir entre posible vibriosis y avitaminosis (b). Tras recabar evidencia complementaria se concluye que se trata de una vibriosis en estado avanzado (c).

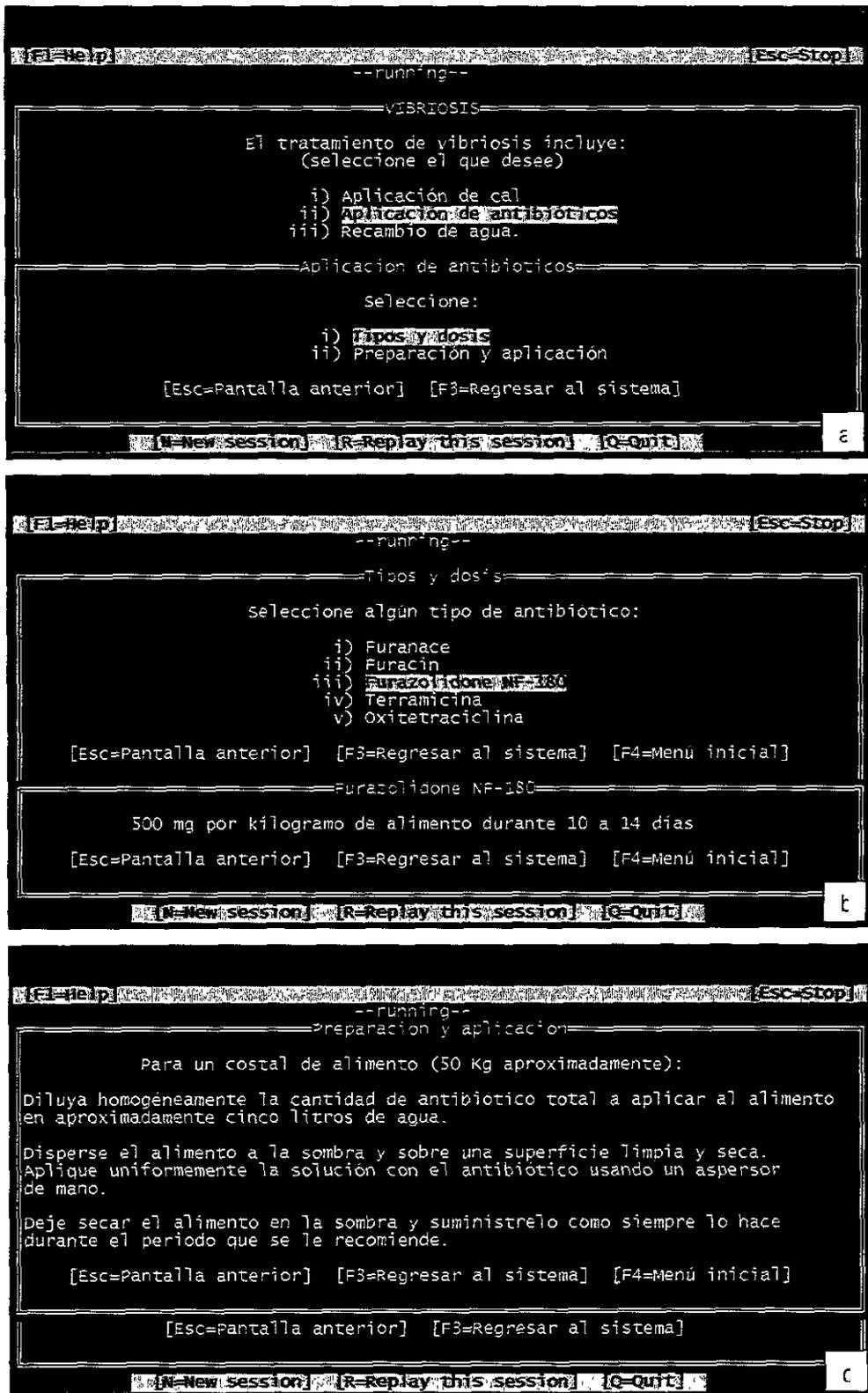


Figura 42. Ejemplo de ayuda ofrecida al usuario para el tratamiento de vibriosis. Para el uso de antibióticos (a), se ofrece información sobre los tipos recomendables (b), las dosis y la forma de aplicación (c).

POND fue diseñado originalmente con fines académicos y de investigación y posteriormente se ha modificado para proveer asistencia a productores. De acuerdo con los autores antes mencionados, ello ha creado dificultades en el sistema, particularmente en lo relativo a la interfaz con el usuario, pues los requerimientos de información de entrada son excesivamente detallados lo que, en la mayoría de las ocasiones, resulta oneroso para el usuario –o imposible de satisfacer-. Debido a las necesidades de la mayor parte de los usuarios del sistema y las limitaciones que éste presenta, los autores señalan que el grupo de trabajo examina la posibilidad de desarrollar un producto adicional, orientado específicamente al manejo rutinario de estanques para acuicultura (a la manera como lo hace CALEN).

De acuerdo con lo señalado en la introducción de la presente tesis, POND no constituye un sistema experto en sentido estricto, pues la representación del conocimiento se hace exclusivamente mediante modelado matemático, y no se utiliza algún otro medio de representación propio de la ingeniería del conocimiento.

Por lo que se refiere al diagnóstico de enfermedades caben destacar, por su importancia, los sistemas expertos HAMES y Fish-Vet.

HAMES ofrece asistencia en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades de tilapia. El sistema se basa en la observación de signos y en los valores de parámetros de calidad del agua para establecer sus diagnósticos. Complementariamente, contiene una sección denominada "microscopía" en la que se incluye una colección de imágenes correspondientes a signos característicos (Ernst y Nath, 1997).

Fish-Vet, por otra parte, es un SE orientado al diagnóstico de todas las enfermedades de peces conocidas y se encuentra disponible comercialmente. Zeldis y Prescott (2000) han descrito el sistema e indican que es el resultado de cinco años de trabajo y que ha requerido, entre otras, de la participación de cerca de 40 expertos en el campo de patología de peces. Los autores explican que en Fish-Vet se utiliza un pequeño grupo de reglas para confinar el espacio de problemas y reducir el universo de posibles enfermedades a ser analizadas en una segunda etapa de la consulta. Durante esta última, se utiliza el concepto de "lógica difusa" para manejar grupos de signos similares entre sí y poder realizar diagnósticos con información incompleta o incorrecta. El proceso de diagnóstico en Fish-Vet es iterativo, estableciéndose grupos de posibles enfermedades correspondientes a los signos indicados por el usuario. La probabilidad de cada una esas enfermedades es sugerida a éste conforme a un criterio de ponderación numérica. En una primera ocasión, el sistema presenta un diagnóstico tentativo de la enfermedad más probable, acompañándolo con

una lista completa de los signos característicos de la misma. El usuario revisa la evidencia de que dispone cotejándola contra dicha lista y, de ser el caso, ingresa nueva información. El proceso se repite y, después de 2 o 3 iteraciones, se espera que la distancia ponderada entre la enfermedad más probable y el resto sea lo suficientemente amplia como para confiar en el diagnóstico.

CALEN es un sistema con objetivos más modestos. Se pretende el diagnóstico presuntivo de un grupo reducido de enfermedades de *L. vannamei* con base en la experiencia probada de un grupo técnico y con información limitada a signos gruesos. No obstante, debe señalarse que en la literatura revisada para el presente trabajo no se encontraron referencias de SE dedicados al diagnóstico de enfermedades de camarón. Al igual que HAMES y Fish-Vet, CALEN maneja grupos de signos para establecer su diagnóstico, y de manera similar al segundo de ellos, puede ser consultado aún cuando no se cuente con información completa (lo que no ocurre con HAMES). Por el momento, no se visualiza la necesidad de establecer más de una posible enfermedad ni de asignar probabilidades a cada una de ellas, como ocurre en Fish-Vet. La cantidad de enfermedades que analiza CALEN y los signos correspondientes no justifican un manejo como el referido. En su versión actual, CALEN puede ser ejecutado en computadoras personales que dispongan de DOS 2.0 o más reciente y requiere un mínimo de memoria de 640 K.

Las mortalidades de camarón cultivado debidas a agentes patógenos constituyen, sin duda, uno de los problemas más graves —quizás el mayor— que enfrentan actualmente las granjas camaroneras a escala mundial, incluyendo México. Ante dicha problemática, destaca la conveniencia de desarrollos de SE más completos que CALEN, lo que requerirá abarcar una mayor diversidad de enfermedades, el uso de otros recursos de hipermedios y, desde luego, la participación de patólogos expertos.

5. CONCLUSIONES

Los objetivos del presente trabajo han sido cubiertos en forma satisfactoria. La metodología para el desarrollo de sistemas expertos permitió sistematizar conocimiento para el manejo acuícola del camarón *L. vannamei*. Dicha sistematización, a su vez, permitió representar pericia para ese manejo y contribuir a resolver el problema relativo a la escasez de la misma.

Como resultados específicos del ejercicio se tienen dos bases de conocimiento y los correspondientes sistemas expertos: TEMA y CALEN. Con esos sistemas resulta posible analizar, evaluar, diagnosticar y establecer recomendaciones relativas a distintos aspectos biotécnicos del manejo acuícola del *L. vannamei*. La utilidad de dichos sistemas ha empezado a verse reflejada en programas de entrenamiento y de postgrado en acuicultura, así como en el interés que despierta por parte de usuarios específicos, como ha sido el caso de una institución financiera.

El desarrollo de sistemas expertos en acuicultura es un campo incipiente y su futuro es altamente promisorio (El-Gayar, 1997). El presente trabajo contribuye a demostrar que, sistemas de ese tipo, constituyen instrumentos eficaces para el manejo acuícola, distintos de los convencionales fundamentados en el modelado matemático y en la atención de aspectos cuantitativos, exclusivamente.

Finalmente, es digno de destacar el valor del ejercicio implicado en el desarrollo de un sistema experto en tanto que permite, a las personas que participan en el mismo, reflexionar sobre pericia –la propia y la ajena– en forma sistemática. Tal reflexión conduce a tomar conciencia de los razonamientos utilizados al aplicar dicha pericia, y consiguientemente, a la posibilidad de asumir una actitud crítica para perfeccionarla.

6. BIBLIOGRAFIA

Abesamis, G.C. 1989. Philippine shrimp growout practices. In: Proceedings of the Southeast Asia shrimp farm management workshop, Philippines, Indonesia, Thailand. Aquaculture American Soybean Association, Singapore, pp. 93-101.

Allen P.G., Botsford L.W., Schuur A.M., y W.E. Johnston. 1984. Bioeconomics of aquaculture. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 13. Elsevier Science Publishers. The Netherlands, 351 pp.

Anderson, R.K., P.L. Parker y A.L. Lawrence. 1987. A $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ tracer studio of the utilization of presented feed by a commercial important shrimp *Penaeus vannamei* in a pond growout system. Journal of the World Mariculture Society (18):148-155.

Anónimo. 1986. Principes and practices of pond aquaculture. J.C. Lanam, R. Oneal, G. Thobanoglouus. Oregon State University Press. Corvallis Oregon, USA, 256 pp.

Aquacop. 1985. A new approach in intensive nursery rearing of penaeids. In: Proceedings of the First International Conference on the Culture of Prawns/Shrimps. SEAFDEC, Iloilo City, Philippines, p. 169.

Arredondo J.L. 1990. Análisis del cultivo de camarón en México al término de 1988. En: la acuicultura en México; de los conceptos a la producción. Editores G. de la Lanza y J.L. Arredondo. Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 77-104.

Arredondo J.L. 1991. Técnicas de fertilización en el cultivo de camarón. En: Taller Sobre el Cultivo de Camarón. Industrias Purina, S.A., agosto de 1991, Mazatlán, México, pp 1-14.

Arrignon J. 1976. Ecología y piscicultura de aguas dulces. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, España, 390 pp.

BANCOMEXT 1997. Formación de administradores de granjas acuícolas. Banco de Comercio Exterior, S.N.C. – Federación de Acuicultores de México. Culiacán, Sinaloa, México, 191 pp.

Bolthe W. y S.S. Nath. 1999. POND Version 3.0. Biosystems Analysis Group. Disponible en: <<http://biosys.bre.orst.edu/pond/pond.html>> [consultado el 3 de mayo de 1999].

Bossu T., M. Mantoni y M. Saroglia. 1989. Expert system for sanitary control in intensive fish culture: the case of sea bass reared in thermal effluents. Aquaculture Europe 89- Short Communications and Abstracts of review papers, Films/Slideshows and Poster Papers. Editores: R. Billard y N. De Pauw. European Aquaculture Society, Belgium, pp. 39-40.

Boyd, C.E. 1989. Water quality management and aeration in shrimp farming. Fisheries and Allied Aquaculture Departmental Series No. 2. Auburn University Alabama, 83 pp.

Boyd C. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Auburn University, Alabama, 482 pp.

- Brock J.A. 1986. Manual de enfermedades. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Guayaquil, Ecuador, 45 pp.
- Brock, J.A. y D.V. Lighthner. 1990. Diseases of crustacea. Diseases caused by proliferative lesions and neoplasia. In: Diseases of marine animals vol. III. Editor O. Kinne. Biologische Anstalt Helgoland. Hamburgo Alemania, pp. 390-400.
- Brock J.A y K.L. Main. 1994. A guide to the common problems and diseases of cultured *Peneaus vannamei*. The World Aquaculture Society. The Oceanic Institute, 241 pp.
- Brune D.E. y C.M. Drapcho. 1991. Fed pond aquaculture. In: Aquaculture Systems Engineering. ASAE publication 02-91:15-33
- Cacho, O.J. 1997. Systems modelling and bioeconomic modelling in aquaculture. Aquaculture Economics and Management 1(1):45-64.
- Clark C.W. 1976. Mathematical bioeconomics. The optimal management of renewable resources. John Wiley Sons. New York, 352 pp.
- Clifford H.C. 1985. Semi-intensive shrimp farming. In: Texas shrimp farming manual, an update on current technology. Texas A&M University, College Station, Texas, pp. 13-40.
- Clifford, H.C. 1990. Semi-intensive shrimp farming. Course Materials. Shrimp Farming Short Course. Texas A&M Sea Grant College Program, 6 pp.
- Clifford, H.C. 1992. Marine shrimp pond management: a review. In: Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. USA , pp. 110-137.
- Clifford, H.C. 1994. Semi-intensive sensation. A case study in marine shrimp pond management. World Aquaculture 25(3): 6-13.
- Cohen M.R. y E. Nagel. 1968. Introducción a la lógica y al método científico. 1. Lógica formal. Amorrortu editores, Buenos Aires, 268 pp.
- Cook H.L. y H.C. Clifford. 1998. Fertilization of shrimp ponds and nursery tanks. Aquaculture Magazine 24(3), 52-62.
- Chamberlain G.W. y J.S. Hopkins. 1994. Reducing water use and feed cost in intensive ponds. World Aquaculture 25(3): 29-33.
- Chen K.J. y S.L. Ramos. 1989. Prawn Farming. Hatchery and Grow-out operations. West Point Aquaculture Corp. Metro Manila, Philippines. 189 pp.
- Cuena, J. 1986. Inteligencia Artificial: sistemas expertos. Madrid, Alianza, 273 pp.
- Doroshov S. I., Conte F. S. y W.H. Clark . 1979. Aquaculture of animal species. In: The Biosaline Concept. Editor A. Hollaender. Plenum Press, New York, USA., pp. 261-284.

Bibliografía

Duenas J., A Harmsen y C. Emberson. 1983. Penaeid shrimp culture in Ecuador. En Proceedings of the First International Conference on Warm Water Aquaculture Crustacea, Office of Continuing Education Brigham Young University Hawaii Campus, February 1983, pp. 99-108.

El-Gayar O.F. 1997. The use of information technology in aquaculture management. *Aquaculture Economics and Management* 1(1):109-128.

Engle C.R. y U. Hatch. 1988. Economic assessment of alternative aquaculture aeration strategies. *Journal of the World Aquaculture Society*, 19(3): 85-96.

Ernst D.H y S.S. Nath. 1999. A listing of computer software for aquaculture, Biosystems Analysis Group. Disponible en: <<http://www.biosys.bre.orts.edu/aquacult/aquasoft.htm>> [consultada el 15 de julio de 1999]

Fast, A.W. 1991. Marine shrimp growout conditions and strategies. A Review and Prognosis. *Aquatic Sciences* 3:357-400.

Fast, A.W. 1992. Introduction. In: *Marine Shrimp Culture. Principles and practices*. Editors A.W. Fast and L.J. Lester. Elsevier, The Netherlands, pp. 1-7.

Fast, A.W. y J.E. Lannan. 1992. Pond dynamics process. In: *Marine Shrimp Culture. Principles and practices*. Editors A.W. Fast and L.J. Lester. Elsevier, Países Bajos, pp. 431-455.

Food and Agriculture Organization. 1991. México. Diagnóstico integral de las granjas acuícolas camaroneras en el estado de Sinaloa. FAO-SEPESCA, Mazatlán Sin., 238 pp.

France Aquaculture. 1988. Manual de engorda de camarón. Cultivo semiintensivo del camarón blanco del Pacífico mexicano. Secretaría de Pesca. Fideicomiso Fondo Nacional para el Desarrollo Pesquero. Brest, Francia. México, 101 pp.

Freeman J.A. y D.M. Skapura. 1993. Redes neuronales: Algoritmos, aplicaciones y técnicas de programación. Addison-Wesley/Díaz de Santos. EUA, 216 pp.

Frost R. 1989. Bases de datos y sistemas expertos. Ingeniería del conocimiento. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid, 769 pp.

Fujimura T. 1989. Management of a shrimp farm in Malaysia. In: *Proceedings of the Southeast Asia Shrimp Farm Management Workshop, Philippines, Indonesia, Thailand: July 26 - August 11, 1989*. Editor D.M. Akiyama, pp. 28-41. Aquaculture American Soybean Association, Singapore, Republic of Singapore.

García III A. y D.E. Brune. 1989. Oxygen transport in shrimp culture ponds. *Aquacultural Engineering* 10(4): 269-280.

González E. 1992. Teorías científicas, bases de datos y sistemas expertos. En: *De la Filosofía a la Inteligencia Artificial*. Ed. J. Negrete y E. González. Editorial Limusa, México, pp. 43-58.

- Haakanson L. y M. Wallin 1991. Use of econometric analysis to establish load diagrams for nutrients in coastal areas. *Marine Aquaculture and the Environment*. Editor: T. Maekinen. FAO, Roma, Italia. pp. 9-23.
- Hall A.S. y J.W. Day. 1977. Systems and Models: Terms and Basic Principles. En *Ecosystem modeling in theory and practice*. Hall A.S. and J.W. Day. Editores. Wiley-Interscience Publications. New York. 16-36.
- Hanson, J.S. 1979. A economic model incorporating shrimp growth and water quality into a budget simulation. M.S. thesis. Texas A&M University. 173 p.
- Harmon, P. 1992. Neural Networks: Hot Air or Hot Technology?. In: *Intelligent Software Strategies* 3(4): 1-16.
- Hart, A. 1992. Knowledge acquisition for expert systems. 2nd Ed. McGraw-Hill, Inc., New York, 196 pp.
- Hatch U., Sindelar S., Rouse D. y H. Perez. 1987. Demonstrating the use of risk programming for aquacultural farm management: The case of penaeid shrimp in Panama. *Journal of the World Aquaculture Society* 18 (4): 260-269.
- Hernández-Llamas A. y F.J. Magallón-Barajas. 1991. Análisis bioeconómico del cultivo del camarón azul (*Penaeus stylirostris*) con fertilizantes orgánicos e inorgánicos y alimentación balanceada. *Investigaciones Marinas CICIMAR* 6(2): 267-281.
- Hernández-Llamas A., J.L. Hernández-Lizardi, M. González-Garibay y F.J. Magallón-Barajas. 1993. Growth and survival response of *Penaeus stylirostris* to fertilization, pelleted feed and stocking density in earthen ponds. *Aquaculture and Fisheries Management* 24:57-69.
- Hernández-Llamas A., Magallón-Barajas F. J., Lechuga-Devéze C. H., Bustillos-Guzmán J. J. y D. López-Cortés. 1995. Growth potential of wild juvenile *Penaeus stylirostris* in earthen ponds receiving chemical and organic fertilizers and pelleted feed. *Aquacultural Engineering* 14(4), 317-330.
- Hernandez-Llamas A. y H. Villarreal-Colmenares 1999. TEMA: a software reference to shrimp *Litopenaeus vannamei* farming practices. *Aquaculture Economics and Management* 3(3):267-280.
- Hirono Y. 1983. Preliminary report on shrimp culture activities in Ecuador. *Journal of the World Mariculture Society* 14, 451-457.
- Hirono Y. 1989. Shrimp farm management in Ecuador. In: *Proceedings of the Southeast Asia Shrimp Farm Management Workshop*, Philippines, Indonesia, Thailand, pp. 2-20.
- Hirono Y. 1992. Current practices of water quality management in shrimp farming and their limitations. In: *Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. USA , pp. 157-165.

Bibliografía

Hopkins J. S., Stokes A. D., Browdy C. L. y P. A. Sandifer. 1991. The relationship between feeding rate, paddlewheel aeration rate and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp pond. *Aquaculture Engineering* 10, 281-290.

Hopkins J.S. y J. Villalón 1992. Synopsis of industrial panel input on shrimp pond management. In: *Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. USA , pp. 138-143.

Hopkins J.S., Hamilton II R.D., Sandifer P.A., Browdy C.L. y A.D. Stokes. 1993. Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets of intensive shrimp ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 24(3): 304-320.

Huang, W.Y., J.K. Wang, y T. Fujimura. 1976. A model for estimating prawn populations in ponds. *Aquaculture*, 8:57-70.

Huet M. 1972. *Textbook of fish culture: breeding and cultivation*. Fishing News Books Ltd. Surrey, England, 438 pp.

Hunter, B., G. Pruder, y J. Wyban. 1987. Biochemical Composition of Pond Biota, Shrimp Ingesta and Relative Growth of *Penaeus vannamei* in Earthen Ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 18(3):162-174.

Ignizio, J.P. 1991. *Introduction to expert systems. The development and implementation of rule-based expert systems*. McGraw-Hill, Inc., New York, 402 pp.

Johnson, S.K. 1989. *Handbook of shrimp diseases*. TAMU-SG-90-601. College Station Texas, USA, 25 pp.

Jory D.E. 1995. Feed management practices for a healthy pond environment. In: *Swimming Through Troubled Waters*. Proceedings of the special session on shrimp farming. Editors C. L Brody and J. S. Hopkins. World Aquaculture Society. San Diego, Cal., USA, pp. 118-134.

Jory D.E. 1996. Management of commercial and farm-made feeds in marine shrimp ponds. *Aquaculture Magazine* 22(1), 86-97.

Kidd, A.L. 1987. *Knowledge acquisition for expert systems. A practical Handbook*. Plenum Press, New York, 194 pp.

Kong Ch. y W.G. Co. 1988. *Prawn culture. Scientific and practical approach*. Westpoint Aquaculture Corporation, Dagupan City , The Philippines. 323 pp.

Lambregts J. A., Thacker S.G. y W.L. Griffin. 1993. Economic evaluation of different stocking densities for various sized shrimp farms in Texas. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24(1): 12-22.

Landow G.P. 1995. *Hipertexto. La convergencia de la teoría crítica contemporánea y la tecnología*. Ediciones Paidós, Barcelona, España, 284 pp.

Lawrence A.L. 1985. Marine Shrimp culture in the western hemisphere. In: Second Australian National Prawn Seminar. Queensland Australia, pp. 327-336.

Lee P.G. 1993. Computer automation for recirculating aquaculture systems. In: Techniques for Modern Aquaculture. Editor J.K.Wang. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph Minnesota, pp. 61-70.

Lee P.G., Lea R.N., Dohmann E., Prebilsky W., Turk P.E. Ying y H. J.L Whitson. 2000. Denitrification in aquaculture systems: an example of a fuzzy logic control problem *Aquacultural Engineering* 23(2000):37-59.

Leung P. and O.F. El-Gayar. 1997. The role of modeling in the managing and Planning of sustainable aquaculture. In: Sustainable Aquaculture. John Bardach Editor. John-Wiley and Sons, Inc. New York, pp. 149-175.

Lightner D.V. 1983. Diseases of cultured penaeid shrimp. *Handbook of Mariculture. Volume 1: Crustacean Aquaculture*, pp. 289-320.

Lightner D.V. 1985. A review of the diseases of cultured penaeid shrimps and prawns with emphasis on recent discoveries and developments. *Proceedings of the First International Conference on the Culture of Penaeid Prawns/Shrimps. Iloilo, Philippines*, pp. 79-103.

Lightner D.V. 1988. Crustacean diseases. In : *Diseases, diagnosis and control in North America Aquaculture*. Ed. by Sinderman, C.J. and D. V., Lightner. Elsevier, Amsterdam, pp. 6-132.

Lightner D.V. 1996. A handbook of shrimp pathology and diagnostic procedures for diseases of cultured penaeid shrimp. *World Aquaculture Society. Baton Rouge Louisiana, USA*, 223 pp.

Lightner D.V. y R.M. Redman. 1998. Shrimp diseases and current diagnostic methods. *Aquaculture* 164:201-210.

Lindsay, R.K., B.G. Buchanan, E.A. Feigenbaum, y J. Lederberg. 1980. *Applications of Artificial Intelligence for Chemical Inference: The DENDRAL Project*, McGraw-Hill, New York, 179 pp.

Ling, S.H. 1997. *Aquaculture in Southeast Asia: a historical overview*. Univ. Washington Press, Seattle, Washington USA, 108 pp.

Liu R. 1990. Present status and future prospects for shrimp mariculture in China. In: *the Culture of Cold Tolerant Shrimp: Proceedings of an Asian-U.S. Workshop on Shrimp Culture*. The Oceanic Institute, Honolulu, Hawaii. pp 16-28

Martínez C. L.R. 1993. *Camaronicultura*. AGT editores, S.A. 233 pp.

Martínez-Cordova L.R., Villarreal-Colmenares H., Porchas-Cornejo M.A., Naranjo-Paramo J. y A. Aragón-Noriega 1997. Effect of aeration rate on growth, survival and yield of white

Bibliografía

shrimp *Penaeus vannamei* in low water exchange ponds. *Aquacultural Engineering* 16, 85-90.

Marney M. y P. F. Schmidt. 1976. Evolution of scientific method. In: *Evolution and Consciousness*. E. Jantsch and C.H. Waddington Editores. Addison-Wesley Publishing Co. London, pp.186-197.

Moncrief, J.W. y W.H. Jones. 1977. *Elements of Physical Chemistry*. Addison-Wesley Publ. Co., Inc., Reading, Mass., 318 pp.

Negrete J. 1990. *Inteligencia, aunque sea artificial*. Limusa, 100 pp.

Padala A. 1991. *Expert systems for aquaculture*. UMECORP notes, 12 pp.

Pardy Ch.R., Griffin W.L., Johns M.A. y A.L. Lawrence. 1983. A preliminary economic analysis of stocking strategies for penaeid shrimp culture. *Journal of the World Mariculture Society* 14, 49-63.

Parker, J.C., F.S. Conte, W.S. MacGrath, y B.W. Miller. 1974. An intensive culture system for penaeid shrimp. *Proceedings of the World Mariculture Society* 5:65-79.

Perez-Farfante I. y B. Kensley. 1997. Penaeoid and Sergestoid shrimps and prawns of the world. Key and diagnoses for the families and genera. *Memoires du Museum National D'Histoire Naturelle*, 175:1-233

Piedrahita R.H. 1988. Introduction to computer modelling of aquaculture pond ecosystems. *Aquaculture and Fisheries Management* 19:1-12.

Piedrahita, R.H. y P. Giovannini. 1991. Fertilized Non-fed pond systems. In: *Aquaculture Systems Engineering*. ASAE publications 02-91, pp. 1-14.

Polovina J. y H. Brown. 1978. A population model for prawn aquaculture. *Proceedings of the World Mariculture Society*, 8: 393-404.

Pople, H.E. 1984. "CADUCEUS: An experimental expert system for medical diagnosis". In: *the AI Business*, Ed By P.H. Winston and K.A. Prendergast. M.I.T., pp. 67-80.

Prugh T., R. Costanza, J.H.Cumberland, H.E. Daly, R. Goodland y R.B. Norgaard. 1999. *Natural capital and human economic survival (Ecological Economics Series (International Society for Ecological Economics))*. Lewis Publishers, Inc., USA, 180 pp.

Reddy D.R., L.D. Erman, R.D. Fennell y R. B. Neely. 1973. The HEARSAY Speech Understanding System: An example of the Recognition Process," *IJCAI-3*, pp. 185-193.

Rosenberry R. 1992. *World shrimp farming 1992*. Aquaculture Digest, San Diego California, 56 pp.

Rosenberry R. 1997. *World shrimp farming 1997*. Shrimp News International, San Diego, California, USA., 175 pp.

- Russel S. y P. Norvig. 1996. Inteligencia artificial: un enfoque moderno. Prentice Hall Hispanoamericana, México, 977 pp.
- Sánchez y Beltrán J.P. 1990. Sistemas Expertos: una metodología de programación. Macrobit Editores S.A. de C.V., México, 261 pp.
- Samocha, T.M. y A.L. Lawrence. 1992. Shrimp nursery systems and management. In: Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. USA, pp. 87-105.
- Sandifer P.A., J.S. Hopkins y A. D. Stokes. 1987. Intensive culture potential of *Penaeus vannamei*. Journal of the World Aquaculture Society, 18(2): 94-100.
- Sandifer P.A., J.S. Hopkins y A. D. Stokes. 1988. Intensification of shrimp culture in earthen ponds in South Carolina: Progress and prospects. Journal of the World Aquaculture Society, 19(4): 218-226.
- Sandifer P.A., Malecha S.R. y L. Cotsapas. 1989. Penaeid technology short course. RPI International Inc. Columbia S.C.
- Sandifer P. A., Stokes A.D. y J.S. Hopkins. 1991. Further intensification of pond shrimp culture in South Carolina. In: Shrimp Culture in North America and the Caribbean. Advances in World Aquaculture (4): 84-95. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana.
- Sandifer P.A., Hopkins J.S., Stokes A.D. y C.L. Browdy. 1993. Preliminary comparisons of the native *Penaeus setiferus* and Pacific *P. vannamei* white shrimp for pond culture in South Carolina. Journal of the World Aquaculture Society, 24(3): 295-303.
- Sell P.S. 1996. Sistemas expertos. Una introducción práctica. Editorial Limusa, México, 114 pp.
- Scheel C. 1990. Ingeniería de sistemas basados en el conocimiento. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, 268 pp.
- Stern S. y E. Letelier. 1992. Nursery systems and management in shrimp farming in Latin America. In: Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. USA 106-109.
- Stokoe P.K. y A.G. Gray. 1990. AQUASITE: a computer site assessment system for marine coastal aquaculture. Proceedings of the Aquaculture Association of Canada Conference. The Aquaculture Association of Canada. pp 94-96.
- Sturmer, L.N., T.M. Samocha, y A.L. Lawrence. 1992. Intensification of penaeid nursery systems. In: Culture of Marine Shrimp: Principles and Practices. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 326-346.

Bibliografía

Tacon, A. G. J. 1990. Standard methods for the nutrition and feeding of farmed fish and shrimp. Vol. 3 Feeding methods. Argent Laboratories Press, Redmond, Washington, USA, 208 pp.

The World Bank. 1997. Staff Appraisal Report. Mexico. Aquaculture Development Project. Report No. 16476-ME. Document of The World Bank. 46 pp.

Thomas, W. y W Hapgood. 1989. 1st Class Expert Systems Reference Manual.

Tian X. y P. Leung. 1993. Shrimp growth functions and their economic implications. *Aquacultural Engineering*, 12, 81-96.

Tisdell C.A. 1993. *Environmental Economics*. Edward Elgar, Aldershot, UK, 127 pp.

Tom A.F. y Garmendia A. 1991. Marine shrimp aquaculture in Mexico: current status. In: *Shrimp Culture in North America and the Caribbean. Advances in World Aquaculture (4): 70-83*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana.

Tomasso J.R. 1996. Environmental requirements of aquaculture animals -a conceptual summary. *World Aquaculture* 27(2): 27-31.

Viacava M. 1995. Feeder trays for commercial shrimp farming in Peru. *World Aquaculture* 25(2), 11-17.

Villalón, J. R. 1991. Practical manual for semi-intensive commercial production of marine shrimp. TAMU-SG-91-501, 104 pp.

Walters, C. 1986. *Adaptative Management of Renewable Resources*. Macmillan, New York. 374 pp.

Wartofsky M. W. 1974. *Introducción a la Filosofía de la Ciencia, I*. Alianza Editorial Madrid. 375 pp.

Weidner D., Revord T., Wells R. y Manuar A. 1992. *World shrimp culture*. NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-7, 293 pp.

Whitson J., A.L. Lawrence y W. Grant. 1989. An example of the application of artificial intelligence to a problem in shrimp mariculture. (abstract). *Journal of the World Aquaculture Society* 20(1):80a.

Winston P.H. 1992. *Artificial intelligence*. Addison-Wesley. 737 pp.

Wyban J.A., G.D. Pruder, Lebber K.M. y L. Burzell. 1989. Paddlewheel effects on shrimp growth, production and crop value in commercial earthen ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 20(1): 18-23.

Wyban, J.A. y J.N. Sweeney. 1991. *Intensive Shrimp Production Technology*. The Oceanic Institute, Waimanalo, Hawaii USA, 343 pp.

Bibliografía

Zeldin D. y S. Prescott. 2000. Fish disease diagnosis program –problems and some solutions. *Aquacultural Engineering* 23(2000):3-11.

APENDICE 1

En el presente apéndice se incluyen las reglas que constituyen la base de conocimiento del sistema TEMA para el análisis de los aspectos tecnológicos y de manejo del cultivo de *L. vannamei*.

La base de conocimiento se encuentra dividida en secciones correspondientes a los distintos aspectos que son considerados para análisis por el sistema. Las reglas referidas como "COMPLEMENTARIAS" en algunas de las secciones, se refieren a aquéllas que permiten hacer inferencias para establecer condiciones de inaceptabilidad, verificar congruencias, y distinguir entre perfiles aceptables y mejor representativos o recomendables (MRR), según se explica en el texto principal.

REGLAS PARA EL ANALISIS DEL CULTIVO SEMIINTENSIVO

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R1	Si el rendimiento y la densidad y el tamaño de la granja y el tamaño de los estanques y el tiempo de cultivo son del cultivo semiintensivo y el rendimiento se considera aceptable para la densidad propuesta	El cultivo es semiintensivo
R2	Si el rendimiento está entre 500 y 2400 kg/ha	El rendimiento es semiintensivo
R3	Si la densidad está entre 5 y 30 org/m ² .	La densidad es semiintensiva
R4	Si el tamaño de los estanques está entre 2 y 40 ha	El tamaño de los estanques es semiintensivo
R5	Si el tamaño de la granja está entre 40 y 2500 ha	El tamaño de la granja es semiintensivo
R6	Si el tiempo de cultivo está entre 100 y 200 días	El tiempo de cultivo es semiintensivo
R7	Si el rendimiento no excede el producto de 80 % de supervivencia, por 25 gramos de peso individual, por la densidad de siembra/ha	El rendimiento se considera aceptable para la densidad propuesta
R8	Si el rendimiento no es inferior al producto de 50% de supervivencia por 15 gramos de peso individual por la densidad de siembra/ha	El rendimiento se considera aceptable para la densidad propuesta

REGLAS COMPLEMENTARIAS AL CULTIVO SEMIINTENSIVO

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R9	Si el rendimiento está entre 500 y 999 kg/ha	El rendimiento es semiintensivo y bajo
R10	Si el rendimiento está entre 1000 y 1800 kg/ha	El rendimiento es lo MRR del cultivo semiintensivo
R11	Si el rendimiento está entre 1801 y 2400 kg/ha	El rendimiento es semiintensivo y alto
R12	Si el rendimiento es menor que 500 kg/ha	El rendimiento no es semiintensivo
R13	Si el rendimiento es mayor que 2400 kg/ha	El rendimiento no es semiintensivo
R14	Si la densidad está entre 5 y 9 org/m ²	La densidad es semiintensiva y baja
R15	Si la densidad está entre 10 y 20 org/m ²	La densidad es lo MRR del cultivo semiintensivo
R16	Si la densidad está entre 21 y 30 org/m ²	La densidad es semiintensiva y alta
R17	Si la densidad es menor que 5 org/m ²	La densidad no es semiintensiva
R18	Si la densidad es mayor que 30 org/m ²	La densidad no es semiintensiva
R19	Si el tamaño de los estanques está entre 2 y 3.9 ha	El tamaño de los estanques es semiintensivo y chico
R20	Si el tamaño de los estanques está entre 4 y 10 ha	El tamaño de los estanques es lo MRR del cultivo semiintensivo
R21	Si el tamaño de los estanques está entre 11 y 40 ha	El tamaño de los estanques es semiintensivo y grande

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R22	Si el tamaño de los estanques es menor que 2 ha	El tamaño de los estanques no es semiintensivo
R23	Si el tamaño de los estanques es mayor que 40 ha	El tamaño de los estanques no es semiintensivo
R24	Si el tamaño de la granja es mayor que 2500 ha	El tamaño de la granja no es semiintensivo
R25	Si el tamaño de la granja está entre 40 y 79 ha	El tamaño de la granja es semiintensivo y chico
R26	Si el tamaño de la granja está entre 80 y 1500 ha	El tamaño de la granja es lo MRR del cultivo semiintensivo
R27	Si el tamaño de la granja está entre 1501 y 2500 ha	El tamaño de la granja es semiintensivo y grande
R28	Si el tamaño de la granja es menor que 40 ha	El tamaño de la granja no es semiintensivo
R29	Si el tiempo de cultivo está entre 100 y 119 días	El tiempo es semiintensivo y corto
R30	Si el tiempo de cultivo está entre 120 y 180 días	El tiempo es lo MRR
R31	Si el tiempo de cultivo está entre 181 y 200 días	El tiempo es semiintensivo y prolongado
R32	Si el tiempo de cultivo es menor que 100 días	El tiempo no es semiintensivo
R33	Si el tiempo de cultivo es mayor que 200 días	El tiempo no es semiintensivo
R34	Si el rendimiento excede el producto de 80 % de supervivencia densidad por 25 gramos de peso individual por la densidad de siembra/ha	El rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta
R35	Si la supervivencia está entre 81 y 90 % y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	La supervivencia es alta y sobreestimada
R36	Si la supervivencia está entre 40 y 49 % y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	La supervivencia es baja
R37	Si la supervivencia está entre 50 y 70 % y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	La supervivencia es lo MRR
R38	Si la supervivencia es menor que 40 % y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	La supervivencia no es aceptable
R39	Si la supervivencia es mayor que 90 % y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	La supervivencia no es aceptable
R40	Si el peso está entre 25.1 y 27 g y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	El peso es alto y sobreestimado
R41	Si el peso está entre 13 y 14.9 g y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	El peso es bajo
R42	Si el peso está entre 15 y 25 g y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	El peso es lo MRR
R43	Si el peso está entre 25.1 y 27 g y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	El peso es alto
R44	Si el peso es menor que 13 g y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	El peso no es aceptable

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R45	Si el peso es mayor que 27 g y si el rendimiento está sobreestimado para la densidad propuesta	El peso no es aceptable
R46	Si la supervivencia está entre 40 y 49 % y si el rendimiento es bajo para la densidad propuesta	La supervivencia es baja y subestimada
R47	Si el rendimiento es inferior al producto de 50% de supervivencia por 15 gramos de peso individual por la densidad de siembra/ha	El rendimiento es bajo para la densidad propuesta
R48	Si la supervivencia está entre 81 y 90 % y si el rendimiento es bajo para la densidad propuesta	La supervivencia es alta
R49	Si la supervivencia está entre 50 y 80 % y si el rendimiento es bajo para la densidad propuesta	La supervivencia es lo MRR
R50	Si la supervivencia es menor que 40 % y si el rendimiento es bajo para la densidad propuesta	La supervivencia no es aceptable
R51	Si la supervivencia es mayor que 90 % y si el rendimiento es bajo para la densidad propuesta	La supervivencia no es aceptable
R52	Si el peso está entre 13 y 14.9 g y si el rendimiento es bajo para la densidad propuesta	El peso es bajo y subestimado
R53	Si el peso está entre 25.1 y 27 g y si el rendimiento es bajo para la densidad propuesta	El peso es alto
R54	Si el peso está entre 15 y 25 g y si el rendimiento es bajo para la densidad propuesta	El peso es lo MRR
R55	Si el peso es menor que 13 g y si el rendimiento es bajo para la densidad propuesta	El peso no es aceptable
R56	Si el peso es menor que 27 g Y si el rendimiento es bajo para la densidad propuesta	El peso no es aceptable

REGLAS PARA EL ANALISIS DEL CULTIVO SEMIINTENSIVO ALTO

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R57	Si la densidad y el rendimiento y el tamaño de los estanques y el tamaño de la granja y el tiempo de cultivo y la aireación son de tipo semiintensivo alto y el rendimiento se considera aceptable para la densidad propuesta	El cultivo es semiintensivo alto
R58	Si la densidad está entre 15 y 45 org/m ²	La densidad es semiintensiva alta
R59	Si el rendimiento está entre 2000 y 4500 kg/ha	El rendimiento es semiintensivo alto
R60	Si el tamaño de los estanques está entre 0.5 y 20 ha	El tamaño de los estanques es semiintensivo alto

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R61	Si el tamaño de la granja está entre 7 y 500 ha	La granja es semiintensiva alta
R62	Si el tiempo de cultivo está entre 100 y 200 días	El tiempo de cultivo es semiintensivo alto
R63	Si la aireación está entre (rendimiento/600) ± (0.3 rendimiento)	La aireación es semiintensivo alta

REGLAS COMPLEMENTARIAS AL CULTIVO SEMIINTENSIVO ALTO

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R64	Si la densidad está entre 15 y 19.9 org/m ²	La densidad es semiintensiva alta y baja
R65	Si la densidad está entre 20 y 30 org/m ²	La densidad es lo MRR del cultivo semiintensivo alto
R66	Si la densidad está entre 31 y 45 org/m ²	La densidad es semiintensiva alta y elevada
R67	Si la densidad es menor que 10 org/m ²	La densidad semiintensiva alta es inaceptable
R68	Si la densidad es mayor que 45 org/m ²	La densidad no es semiintensiva alta
R69	Si el rendimiento está entre 2000 y 2499 kg/ha	El rendimiento es semiintensivo alto y bajo
R70	Si el rendimiento está entre 2500 y 4000 kg/ha	El rendimiento es lo MRR del cultivo semiintensivo alto
R71	Si el rendimiento está entre 4001 y 4500 kg/ha	El rendimiento es semiintensivo alto y elevado
R72	Si el rendimiento es mayor que 4500 kg/ha	El rendimiento es semiintensivo alto es inaceptable
R73	Si el rendimiento es menor que 2000 kg/ha	El rendimiento semiintensivo alto es inaceptable
R74	Si el rendimiento es mayor que 10000 kg/ha	El rendimiento no es semiintensivo alto
R75	Si el tamaño de los estanques está entre 0.5 0.9 ha	El tamaño de los estanques es semiintensivo alto y chico
R76	Si el tamaño de los estanques está entre 1 y 10 ha	El tamaño de los estanques es lo MRR del cultivo semiintensivo alto
R77	Si el tamaño de los estanques está entre 10 1 y 20 ha	El tamaño de los estanques es semiintensivo alto y grande
R78	Si el tamaño de los estanques es menor que 0.5 ha	El tamaño de los estanques no es semiintensivo alto
R79	Si el tamaño de los estanques es mayor que 20 ha	El tamaño de los estanques no es semiintensivo alto
R80	Si el tamaño de la granja está entre 7 y 49 ha	El tamaño de la granja es semiintensivo alto y chico
R81	Si el tamaño de la granja está entre 50 y 200 ha	El tamaño de la granja es lo MRR del cultivo semiintensivo alto
R82	Si el tamaño de la granja está entre 201 y 500 ha	El tamaño de la granja es semiintensivo alto y grande
R83	Si el tamaño de la granja es menor que 7 ha	El tamaño de la granja no es semiintensivo alto
R84	Si el tamaño de la granja es mayor que 500 ha	El tamaño de la granja no es semiintensivo alto
R85	Si el tiempo de cultivo está entre 100 y 119 días	El tiempo es semiintensivo alto y corto
R86	Si el tiempo de cultivo está entre 120 y 180 días	El tiempo es lo MRR
R87	Si el tiempo de cultivo está entre 181 y 200 días	El tiempo es semiintensivo alto y prolongado

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R88	Si el tiempo de cultivo es menor que 100 días	El tiempo no es semiintensivo alto
R89	Si el tiempo de cultivo es mayor que 200 días	El tiempo no es semiintensivo alto
R90	Si la aireación está entre $(\text{rendimiento}/600) \pm (0.1 \text{ rendimiento})$	La aireación es la MRR del cultivo semiintensivo alto
R91	Si la aireación está entre $(\text{rendimiento}/600) - (0.1 \text{ rendimiento})$ y $(\text{rendimiento}/600) - (0.3 \text{ rendimiento})$	La aireación es semiintensiva alta y poca
R92	Si la aireación está entre $(\text{rendimiento}/600) + (0.1 \text{ rendimiento})$ y $(\text{rendimiento}/600) + (0.3 \text{ rendimiento})$	La aireación es semiintensiva alta y excesiva
R93	Si la aireación es menor que $(\text{rendimiento}/600) - (0.3 \text{ rendimiento})$	La aireación no es semiintensiva alta
R94	Si la aireación es mayor que $(\text{rendimiento}/600) + (0.3 \text{ rendimiento})$	La aireación no es semiintensiva alta

REGLAS PARA EL ANALISIS DEL CULTIVO INTENSIVO

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R95	Si la densidad y el rendimiento y el tamaño de los estanques y los tiempos de cultivo son del tipo intensivo y si el rendimiento se considera aceptable para la densidad propuesta	El cultivo es de tipo intensivo
R96	Si la densidad está entre 30 y 200 org/m ²	La densidad es intensiva
R97	Si el rendimiento está entre 4000 y 15000 kg/ha	El rendimiento es de tipo intensivo
R98	Si el tamaño de los estanques está entre 0.25 y 5 ha	El tamaño de los estanques es intensivo
R99	Si el tiempo de cultivo está entre 100 y 200 días	El tiempo de cultivo es intensivo
R100	Si la aireación está entre $(\text{rendimiento}/600) \pm (0.3 \text{ rendimiento})$	La aireación es intensiva

REGLAS COMPLEMENTARIAS AL INTENSIVO

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R101	Si la densidad está entre 30 y 39 org/m ²	La densidad es intensiva y baja
R102	Si la densidad está entre 40 y 150 org/m ²	La densidad es intensiva y MRR
R103	Si la densidad está entre 151 y 200 org/m ²	La densidad es intensiva y alta
R104	Si la densidad es menor que 30 org/m ²	La densidad no es intensiva
R105	Si la densidad es mayor que 200 org/m ²	La densidad no es intensiva

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R106	Si el rendimiento está entre 4000 y 4999 kg/ha	El rendimiento es intensivo y bajo
R107	Si el rendimiento está entre 5000 y 12000 kg/ha	El rendimiento es intensivo y MRR
R108	Si el rendimiento está entre 12001 y 15000 kg/ha	El rendimiento es intensivo y elevado
R109	Si el rendimiento está entre 15001 y 19000 kg/ha	El rendimiento es intensivo elevado
R110	Si el rendimiento es menor que 4000 kg/ha	El rendimiento no es intensivo
R111	Si el rendimiento es mayor que 19000 kg/ha	El rendimiento no es intensivo
R112	Si el tamaño de los estanques está entre 0.25 0.99 ha	El tamaño de los estanques es intensivo y chico
R113	Si el tamaño de los estanques está entre 1 y 2 ha	El tamaño de los estanques es intensivo y MRR
R114	Si el tamaño de los estanques está entre 2.1 y 5 ha	El tamaño de los estanques es intensivo y grande
R115	Si el tamaño de los estanques es menor que 0.25 ha	El tamaño de los estanques no es intensivo
R116	Si el tamaño de los estanques es mayor que 5 ha	El tamaño de los estanques no es intensivo
R117	Si el tiempo de cultivo está entre 100 y 119 días	El tiempo es intensivo y corto
R118	Si el tiempo de cultivo está entre 120 y 180 días	El tiempo es intensivo y MRR
R119	Si el tiempo de cultivo está entre 181 y 200 días	El tiempo es intensivo y prolongado
R120	Si el tiempo de cultivo es menor que 100 días	El tiempo intensivo es inaceptable por corto
R121	Si el tiempo de cultivo es mayor que 200 día	El tiempo intensivo es inaceptable por prolongado
R122	Si la aireación está entre $(\text{rendimiento}/600) \pm (0.1 \text{ rendimiento})$	La aireación es la MRR del cultivo intensivo
R123	Si la aireación está entre $(\text{rendimiento}/600) - (0.1 \text{ rendimiento})$ y $(\text{rendimiento}/600) - (0.3 \text{ rendimiento})$	La aireación es intensiva alta y poca
R124	Si la aireación está entre $(\text{rendimiento}/600) + (0.1 \text{ rendimiento})$ y $(\text{rendimiento}/600) + (0.3 \text{ rendimiento})$	La aireación es intensiva alta y excesiva
R125	Si la aireación es menor que $(\text{rendimiento}/600) - (0.3 \text{ rendimiento})$	La aireación no es intensiva
R126	Si la aireación es mayor que $(\text{rendimiento}/600) + (0.3 \text{ rendimiento})$	La aireación no es intensiva
R127	Si la aireación está entre 7 y 9.9 HP/ha	La aireación es intensiva y poca
R128	Si la aireación está entre 10 y 20 HP/ha	La aireación es intensiva y MRR
R129	Si la aireación está entre 20.1 y 30 HP/ha	La aireación es intensiva y excesiva
R130	Si la aireación es menor que 7 HP/ha	La aireación no es intensiva
R131	Si la aireación es mayor que 30 HP/ha	La aireación no es intensiva

SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R132	Si el nivel de oxígeno y la frecuencia de medición del oxígeno y las temperaturas y las salinidades y la frecuencia de medición de la temperatura y la frecuencia de medición de la salinidad y el valor del pH y la frecuencia de medición del pH y el recambio de agua son aceptables	El seguimiento y la calidad del agua son aceptables
R133	Si el valor mínimo del oxígeno es suficiente	El nivel del oxígeno es aceptable
R134	Si el valor mínimo del oxígeno es mayor o igual que 2 mg/l y el cultivo es semiintensivo	El valor mínimo del oxígeno es suficiente
R135	Si el valor mínimo del oxígeno es mayor o igual que 3 mg/l y el cultivo es semiintensivo alto	El valor mínimo del oxígeno es suficiente
R136	Si el valor mínimo del oxígeno es mayor o igual que 3 mg/l y el cultivo es intensivo	El valor mínimo del oxígeno es suficiente
R137	Si la frecuencia de medición del oxígeno es diaria	La frecuencia de medición del oxígeno es aceptable
R138	Si la temperatura mínima es aceptable y MRR y la temperatura máxima es aceptable y MRR	Las temperaturas son aceptables
R139	Si la temperatura mínima es aceptable y MRR y la temperatura máxima es aceptable y baja	Las temperaturas son aceptables
R140	Si la temperatura mínima es aceptable y MRR y la temperatura máxima es aceptable y poco baja	Las temperaturas son aceptables
R141	Si la temperatura mínima es aceptable y MRR y la temperatura máxima es aceptable y caliente	Las temperaturas son aceptables
R142	Si la temperatura mínima es aceptable y fría y la temperatura máxima es aceptable y MRR	Las temperaturas son aceptables
R143	Si la temperatura mínima es aceptable y fría y la temperatura máxima es aceptable y baja	Las temperaturas son aceptables
R144	Si la temperatura mínima es aceptable y fría y la temperatura máxima es aceptable y poco baja	Las temperaturas son aceptables
R145	Si la temperatura mínima es aceptable y alta y la temperatura máxima es aceptable y MRR	Las temperaturas son aceptables
R146	Si la temperatura mínima está entre 23 y 28 °C	La temperatura mínima es aceptable y MRR
R147	Si la temperatura mínima está entre 22 y 22.9 °C	La temperatura mínima es aceptable y fría
R148	Si la temperatura mínima está entre 28 y 30 °C	La temperatura mínima es aceptable y alta
R149	Si la temperatura máxima está entre 28 y 34 °C	La temperatura máxima es aceptable y MRR
R150	Si la temperatura máxima está entre 27 y 27.9 °C	La temperatura máxima es aceptable y poco baja
R151	Si la temperatura máxima está entre 25 y 26.9 °C	La temperatura máxima es aceptable y baja

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R152	Si la temperatura máxima está entre 33.1 y 34 °C	La temperatura máxima es aceptable y caliente
R153	Si la salinidad mínima es aceptable y MRR y la salinidad máxima es aceptable y MRR	Las salinidades son aceptables
R154	Si la salinidad mínima es aceptable y MRR y la salinidad máxima es aceptable y alta	Las salinidades son aceptables
R155	Si la salinidad mínima es aceptable y MRR y la salinidad máxima es aceptable y baja	Las salinidades son aceptables
R156	Si la salinidad mínima es aceptable y alta y la salinidad máxima es aceptable y MRR	Las salinidades son aceptables
R157	Si la salinidad mínima es aceptable y alta y la salinidad máxima es aceptable y alta	Las salinidades son aceptables
R158	Si la salinidad mínima es aceptable y alta y la salinidad máxima es aceptable y baja	Las salinidades son aceptables
R159	Si la salinidad mínima es aceptable y baja y la salinidad máxima es aceptable y MRR	Las salinidades son aceptables
R160	Si la salinidad mínima es aceptable y baja y la salinidad máxima es aceptable y alta	Las salinidades son aceptables
R161	Si la salinidad mínima es aceptable y baja y la salinidad máxima es aceptable y baja	Las salinidades son aceptables
R162	Si la salinidad mínima está entre 15 y 30 ‰	La salinidad mínima es aceptable y MRR
R163	Si la salinidad mínima está entre 31 y 40 ‰	La salinidad mínima es aceptable y alta
R164	Si la salinidad mínima está entre 1-14 ‰	La salinidad mínima es aceptable y baja
R165	Si la salinidad máxima está entre 15 y 30 ‰	La salinidad máxima es aceptable y MRR
R166	Si la salinidad máxima es menor que 31 y 40 ‰	La salinidad máxima es aceptable y alta
R167	Si la salinidad máxima está entre 1 y 14 ‰	La salinidad máxima es aceptable y baja
R168	Si la frecuencia de medición de la temperatura es aceptable	La frecuencia de medición de la temperatura es aceptable
R169	Si la frecuencia de medición de la temperatura es diaria	La frecuencia de medición de la temperatura es aceptable
R170	Si la frecuencia de medición de la salinidad es aceptable	La frecuencia de medición de la salinidad es aceptable
R171	Si la frecuencia de medición de la salinidad es diaria	La frecuencia de medición de la salinidad es aceptable
R172	Si la frecuencia de medición de la salinidad es poca	La frecuencia de medición de la salinidad es aceptable
R173	Si la frecuencia de medición de la salinidad es semanal	La frecuencia de medición de la salinidad es poca
R174	Si el valor del pH está entre 7 y 9	El valor del pH es aceptable
R175	Si la frecuencia de medición del pH es suficiente	La frecuencia de medición del pH es aceptable
R176	Si la frecuencia de medición del pH es semanal y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia de medición del pH es suficiente
R177	Si la frecuencia de medición del pH es diaria y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia de medición del pH es suficiente
R178	Si la frecuencia de medición del pH es semanal y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia de medición del pH es suficiente

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R179	Si la frecuencia de medición del pH es diaria y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia de medición del pH es suficiente
R180	Si la frecuencia de medición del pH es diaria y el cultivo es intensivo	La frecuencia de medición del pH es suficiente
R181	Si el recambio de agua está entre 5 y 30% y el cultivo es semiintensivo	El recambio de agua es aceptable
R182	Si el recambio de agua está entre 5 y 30 % y el cultivo es semiintensivo alto	El recambio de agua es aceptable
R183	Si el recambio de agua está entre 10 y 50 % y el cultivo es intensivo	El recambio de agua es aceptable
R184	Si el recambio de agua está entre 30.1 y 110 % y el cultivo es semiintensivo	El recambio de agua es intensivo
R185	Si el recambio de agua está entre 0.1 y 5% y el cultivo es semiintensivo alto	El recambio de agua es extensivo
R186	Si el recambio de agua está entre 5.1 y 9.9 % y el cultivo es semiintensivo	El recambio de agua es bajo
R187	Si el recambio de agua está entre 10 y 20 % y el cultivo es semiintensivo alto	El recambio de agua es aceptable
R188	Si el recambio de agua está entre 20.1 y 30 % y el cultivo es semiintensivo alto	El recambio de agua es alto
R189	Si el recambio de agua está entre 30.1 y 110 % y el cultivo es semiintensivo alto	El recambio de agua es intensivo
R190	Si el recambio de agua está entre 10 y 14.9 % y el cultivo es intensivo	El recambio de agua es bajo
R191	Si el recambio de agua está entre 15 y 40 % y el cultivo es intensivo	El recambio de agua es aceptable
R192	Si el recambio de agua está entre 40.1 y 110 % y el cultivo es intensivo	El recambio de agua es alto

REGLAS COMPLEMENTARIAS AL SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R193	Si el valor mínimo del oxígeno está entre 3 y 4 mg/l y el cultivo es semiintensivo	El valor mínimo del oxígeno es suficiente y MRR
R194	Si el valor mínimo del oxígeno está entre 2 y 2.9 mg/l y el cultivo es semiintensivo	El valor mínimo del oxígeno es suficiente y bajo
R195	Si el valor mínimo del oxígeno esta entre 4.1 y 6 mg/l y el cultivo es semiintensivo	El valor mínimo del oxígeno es suficiente y excesivo
R196	Si el valor mínimo del oxígeno es menor que 2 mg/l y el cultivo es semiintensivo	El valor mínimo del oxígeno es inaceptable
R197	Si el valor mínimo del oxígeno es mayor que 6 mg/l y el cultivo es semiintensivo	El valor mínimo del oxígeno es inaceptable

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R198	Si el valor mínimo del oxígeno está entre 3.5 y 6 mg/l y el cultivo es semiintensivo alto	El valor mínimo del oxígeno es suficiente y MRR
R199	Si el valor mínimo del oxígeno está entre 3 y 3.4 mg/l y el cultivo es semiintensivo alto	El valor mínimo del oxígeno es suficiente y bajo
R200	Si el valor mínimo del oxígeno está entre 6.1 y 8 mg/l y el cultivo es semiintensivo alto	El valor mínimo del oxígeno es suficiente y excesivo
R201	Si el valor mínimo del oxígeno es menor que 3 mg/l y el cultivo es semiintensivo alto	El valor mínimo del oxígeno es inaceptable
R202	Si el valor mínimo del oxígeno es mayor que 8 mg/l y el cultivo es semiintensivo alto	El valor mínimo del oxígeno es inaceptable
R203	Si el valor mínimo del oxígeno está entre 3.5 y 6 mg/l y el cultivo es intensivo	El valor mínimo del oxígeno es suficiente y MRR
R204	Si el valor mínimo del oxígeno está entre 3 y 3.4 mg/l y el cultivo es intensivo	El valor mínimo del oxígeno es suficiente y bajo
R205	Si el valor mínimo del oxígeno está entre 6.1 y 8 mg/l y el cultivo es intensivo	El valor mínimo del oxígeno es suficiente y excesivo
R206	Si el valor mínimo del oxígeno es menor que 3 mg/l y el cultivo es intensivo	El valor mínimo del oxígeno es inaceptable
R207	Si el valor mínimo del oxígeno es mayor que 8 mg/l y el cultivo es intensivo	El valor mínimo del oxígeno es inaceptable
R208	Si la temperatura mínima es muy fría y se refiere a un ciclo invernal	Se recomienda revisar número de cosechas anual
R209	Si la temperatura mínima es mayor que 30 °C	La temperatura mínima no es aceptable
R210	Si la temperatura mínima es menor que 20 °C	La temperatura mínima no es aceptable
R211	Si la temperatura máxima es menor que 25 °C	La temperatura máxima no es aceptable
R212	Si la temperatura máxima es mayor que 34 °C	La temperatura máxima no es aceptable
R213	Si la temperatura mínima es mayor que la máxima	Existe un error y deben plantearse nuevos valores
R214	Si la diferencia entre la temperatura máxima y mínima es de 2 °C o menos	La diferencia es demasiado pequeña
R215	Si la salinidad mínima es mayor que la máxima	Existe un error y deben plantearse nuevos valores
R216	Si la salinidad mínima es menor que 1 ‰	La salinidad mínima no es aceptable
R217	Si la salinidad mínima es mayor que 40 ‰	La salinidad mínima no es aceptable
R218	Si la salinidad máxima es mayor que 40 ‰	La salinidad máxima no es aceptable
R219	Si el valor del pH está entre 7 y 7.5	El valor del pH es aceptable y bajo
R220	Si el valor del pH está entre 7.6 y 8.5	El valor del pH es aceptable y MRR
R221	Si el valor del pH está entre 8.6 y 9	El valor del pH es aceptable y alto
R222	Si el valor del pH es mayor que 9	El valor del pH es inaceptable
R223	Si el valor del pH es menor que 7	El valor del pH es inaceptable
R224	Si la frecuencia de medición del pH es diaria y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia de medición del pH es suficiente y MRR
R225	Si la frecuencia de medición del pH es semanal y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia de medición del pH es suficiente y excesiva
R226	Si la frecuencia de medición del pH es diaria y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia de medición del pH es suficiente y MRR

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R227	Si la frecuencia de medición del pH es semanal y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia de medición del pH es suficiente y excesiva
R228	Si la frecuencia de medición del pH es diaria y el cultivo es intensivo	La frecuencia de medición del pH es suficiente y MRR
R229	Si la frecuencia de medición del pH no es diaria o semanal y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia de medición del pH es inaceptable
R230	Si la frecuencia de medición del pH no es diaria o semanal y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia de medición del pH es inaceptable
R231	Si la frecuencia de medición del pH no es diaria y el cultivo es intensivo	La frecuencia de medición del pH es inaceptable
R232	Si el recambio de agua está entre 10 y 20 % y el cultivo es semiintensivo	El recambio de agua es aceptable y MRR
R233	Si el recambio de agua está entre 5 y 9 % y el cultivo es semiintensivo	El recambio de agua es aceptable y bajo
R234	Si el recambio de agua está entre 21 y 30 % y el cultivo es semiintensivo	El recambio de agua es aceptable y alto
R235	Si el recambio de agua está entre 10 y 20 % y el cultivo es semiintensivo alto	El recambio de agua es aceptable y MRR
R236	Si el recambio de agua está entre 5 y 9 % y el cultivo es semiintensivo alto	El recambio de agua es aceptable y bajo
R237	Si el recambio de agua está entre 21 y 30 % y el cultivo es semiintensivo alto	El recambio de agua es aceptable y alto
R238	Si el recambio de agua está entre 15 y 40 % y el cultivo es intensivo	El recambio de agua es aceptable y MRR
R239	Si el recambio de agua está entre 10 y 14 % y el cultivo es intensivo	El recambio de agua es aceptable y bajo
R240	Si el recambio de agua está entre 41 y 50 % y el cultivo es intensivo	El recambio de agua es aceptable y alto
R241	Si el recambio de agua es menor que 5 % y el cultivo es semiintensivo	El recambio de agua es inaceptable
R242	Si el recambio de agua es mayor que 30 % y el cultivo es semiintensivo	El recambio de agua es inaceptable
R243	Si el recambio de agua es menor que 5 % y el cultivo es semiintensivo alto	El recambio de agua es inaceptable
R244	Si el recambio de agua es mayor que 30 % y el cultivo es semiintensivo alto	El recambio de agua es inaceptable
R245	Si el recambio de agua es menor que 10 % y el cultivo es intensivo	El recambio de agua es inaceptable
R246	Si el recambio de agua es mayor que 50 % y el cultivo es intensivo	El recambio de agua es inaceptable

SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y LA ALIMENTACION

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R247	Si el esquema de fertilización y el seguimiento de la productividad primaria y el esquema de alimentación son aceptables	El manejo de la productividad y la alimentación es aceptable
R248	Si el tipo de fertilizante y la cantidad de urea inicial y la cantidad de superfosfato inicial y la cantidad de urea para sostenimiento de la productividad y la cantidad de superfosfato para sostenimiento de la productividad son aceptables	El esquema de fertilización es aceptable
R249	Si la cantidad de urea inicial está entre 7 y 60 kg/ha	La cantidad de urea inicial es aceptable
R250	Si la cantidad de superfosfato inicial está entre 2-12 kg/ha	La cantidad de superfosfato inicial es aceptable
R251	Si la cantidad de urea para sostener productividad está entre 2 y 6 kg/ha	La cantidad de urea para sostener productividad es aceptable
R252	Si la cantidad de superfosfato para sostener productividad está entre 0.2 y 2.2 kg/ha	La cantidad de superfosfato para sostener productividad es aceptable
R253	Si el intervalo de valores de disco de Secchi y la frecuencia de medición del disco de Secchi y la frecuencia de observación del color del agua del estanque son aceptables y el método de seguimiento es por disco de Secchi	El seguimiento de la productividad primaria es aceptable
R254	Si la densidad de algas y la frecuencia de recuento de algas y la frecuencia de observación del color del agua del estanque son aceptables y el método de seguimiento es por recuento de algas	El seguimiento de la productividad primaria es aceptable
R255	Si el intervalo de valores de disco de Secchi y la frecuencia de medición del disco de Secchi y la frecuencia de observación del color del agua del estanque y la densidad de algas y la frecuencia de recuento de algas son aceptables y el método de seguimiento es por recuento de algas y por disco de Secchi	El seguimiento de la productividad primaria es aceptable
R256	Si la profundidad mínima del disco y la profundidad máxima del disco son aceptables	El intervalo de valores del disco es aceptable
R257	Si la profundidad mínima está entre 20 y 30 cm	La profundidad mínima es aceptable
R258	Si la profundidad máxima está entre 30 y 60 cm	La profundidad máxima es aceptable
R259	Si la frecuencia de medición del disco de Secchi es diaria	La frecuencia de medición del disco de Secchi es aceptable

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R260	Si la frecuencia de medición del disco de Secchi es <i>semanal</i>	La frecuencia de medición del disco de Secchi es <i>aceptable</i>
R261	Si la frecuencia de observación del color es <i>diaria</i>	La frecuencia de observación es <i>aceptable</i>
R262	Si la frecuencia de observación del color es <i>semanal</i>	La frecuencia de observación es <i>aceptable</i>
R263	Si la densidad de algas mínima y la densidad de algas máxima son <i>aceptables</i>	La densidad de algas es <i>aceptable</i>
R264	Si la densidad de algas mínima está entre 60000 y 120000 cel/ml	La densidad de algas mínima es <i>aceptable</i>
R265	Si la densidad de algas máxima está entre 50000 y 400000 cel/ml	La densidad de algas máxima es <i>aceptable</i>
R266	Si la frecuencia del recuento de algas es <i>semanal</i> y el cultivo es <i>semiintensivo</i>	La frecuencia del recuento de algas es <i>aceptable</i>
R267	Si la frecuencia del recuento de algas es <i>diaria</i> y el cultivo es <i>semiintensivo</i>	La frecuencia del recuento es <i>aceptable</i>
R268	Si la frecuencia del recuento de algas es <i>semanal</i> y el cultivo es <i>semiintensivo alto</i>	La frecuencia del recuento es <i>aceptable</i>
R269	Si la frecuencia del recuento de algas es <i>diaria</i> y el cultivo es <i>semiintensivo alto</i>	La frecuencia del recuento es <i>aceptable</i>
R270	Si la frecuencia del recuento de algas es <i>semanal</i> y el cultivo es <i>intensivo</i>	La frecuencia del recuento es <i>aceptable</i>
R271	Si la frecuencia del recuento de algas es <i>diaria</i> y el cultivo es <i>intensivo</i>	La frecuencia del recuento es <i>aceptable</i>
R272	Si el tipo de alimento y el factor de conversión y la frecuencia de alimentación y el nivel de proteína y la cantidad de charolas son <i>aceptables</i>	El esquema de alimentación es <i>aceptable</i>
R273	Si el tipo de alimento es <i>pelletizado</i>	El tipo de alimento es <i>aceptable</i>
R274	Si el factor de conversión está entre 1 y 3 y el cultivo es <i>semiintensivo</i>	El factor de conversión es <i>aceptable</i>
R275	Si el factor de conversión está entre 1.5 y 3 y el cultivo es <i>semiintensivo alto</i>	El factor de conversión es <i>aceptable</i>
R276	Si el factor de conversión está entre 1.5 y 3 y el cultivo es <i>intensivo</i>	El factor de conversión es <i>aceptable</i>
R277	Si la frecuencia de alimentación está entre 1 y 3 y el cultivo es <i>semiintensivo</i>	La frecuencia de alimentación es <i>aceptable</i>
R278	Si la frecuencia de alimentación está entre 1 y 6 y el cultivo es <i>semiintensivo alto</i>	La frecuencia de alimentación es <i>aceptable</i>
R279	Si la frecuencia de alimentación está entre 1 y 6 y el cultivo es <i>intensivo</i>	La frecuencia de alimentación es <i>aceptable</i>
R280	Si el nivel de proteína del alimento está entre 20 y 40% y el cultivo es <i>semiintensivo</i>	El nivel de proteína es <i>aceptable</i>
R281	Si el nivel de proteína del alimento está entre 30 y 45% y el cultivo es <i>semiintensivo alto</i>	El nivel de proteína es <i>aceptable</i>
R282	Si el nivel de proteína del alimento está entre 30 y 45% y el cultivo es <i>intensivo</i>	El nivel de proteína es <i>aceptable</i>
R283	Si la cantidad de charolas está entre 1 y 20	La cantidad de charolas es <i>aceptable</i>

REGLAS COMPLEMENTARIAS A SEGUIMIENTOS Y CONTROLES

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R284	Si la cantidad de urea inicial está entre 20 y 50 kg/ha	La cantidad de urea inicial es aceptable y MRR
R285	Si la cantidad de urea inicial está entre 7 y 19 kg/ha	La cantidad de urea inicial es aceptable y baja
R286	Si la cantidad de urea inicial está entre 51 y 60 kg/ha	La cantidad de urea inicial es aceptable y alta
R287	Si la cantidad de urea inicial es menor que 7 kg/ha	La cantidad de urea inicial es inaceptable
R288	Si la cantidad de urea inicial es mayor que 60 kg/ha	La cantidad de urea inicial es inaceptable
R289	Si la cantidad de superfosfato inicial está entre 5 y 9 kg/ha	La cantidad de superfosfato inicial es aceptable y MRR
R290	Si la cantidad de superfosfato inicial está entre 2 y 4.9 kg/ha	La cantidad de superfosfato inicial es aceptable y baja
R291	Si la cantidad de superfosfato inicial está entre 9.1 y 12 kg/ha	La cantidad de superfosfato inicial es aceptable y alta
R292	Si la cantidad de superfosfato inicial es mayor que 12 kg/ha	La cantidad de superfosfato inicial es inaceptable
R293	Si la cantidad de superfosfato inicial es menor que 2 kg/ha	La cantidad de superfosfato inicial es inaceptable
R294	Si la cantidad de urea para sostenimiento de la productividad es mayor que la cantidad inicial	La cantidad de urea para sostenimiento de la productividad es inaceptable
R295	Si la cantidad de urea para sostenimiento de la productividad está entre 3 y 5 kg/ha	La cantidad de urea para sostener productividad es aceptable y MRR
R296	Si la cantidad de urea para sostener productividad está entre 2 y 2.9 kg/ha	La cantidad de urea para sostener productividad es aceptable y baja
R297	Si la cantidad de urea para sostener productividad está entre 5.1 y 6 kg/ha	La cantidad de urea para sostener productividad es aceptable y alta
R298	Si la cantidad de urea para sostener productividad es mayor que 6 kg/ha	La cantidad de urea para sostener productividad es inaceptable
R299	Si la cantidad de urea para sostener productividad es menor que 2 kg/ha	La cantidad de urea para sostener productividad es inaceptable
R300	Si la cantidad de superfosfato para sostener productividad es mayor que la inicial	La cantidad de superfosfato para sostener productividad es inaceptable
R301	Si la cantidad de superfosfato para sostener productividad está entre 0.5 y 1 kg/ha	La cantidad de superfosfato para sostener productividad es aceptable y MRR
R302	Si la cantidad de superfosfato para sostener productividad está entre 0.2 y 0.4 kg/ha	La cantidad de superfosfato para sostener productividad es aceptable y baja
R303	Si la cantidad de superfosfato para sostener productividad está entre 1.1 y 2.2 kg/ha	La cantidad de superfosfato para sostener productividad es aceptable y alta
R304	Si la cantidad de superfosfato para sostener productividad es menor que 0.2 kg/ha	La cantidad de superfosfato para sostener productividad es inaceptable
R305	Si la cantidad de superfosfato para sostener productividad es mayor que 2.2 kg/ha	La cantidad de superfosfato para sostener productividad es inaceptable
R306	Si la profundidad mínima está entre 20 y 22 cm	La profundidad mínima es aceptable y baja
R307	Si la profundidad mínima está entre 23 y 27 cm	La profundidad mínima es aceptable y MRR
R308	Si la profundidad mínima está entre 28 y 30 cm	La profundidad mínima es aceptable y alta
R309	Si la profundidad mínima es mayor que 30 cm	La profundidad mínima es inaceptable

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R310	Si la profundidad mínima es menor que 20 cm	La profundidad mínima es inaceptable
R311	Si la profundidad máxima está entre 30 y 34 cm	La profundidad máxima es aceptable y baja
R312	Si la profundidad máxima está entre 35 y 55 cm	La profundidad máxima es aceptable y MRR
R313	Si la profundidad máxima está entre 56 y 60 cm	La profundidad máxima es aceptable y alta
R314	Si la profundidad máxima es mayor que 60 cm	La profundidad máxima es inaceptable
R315	Si la profundidad máxima es menor que 30 cm	La profundidad máxima es inaceptable
R316	Si la profundidad máxima es menor que la mínima	La profundidad máxima es inaceptable
R317	Si la diferencia entre la profundidad máxima y la mínima es menor que 10 cm	La diferencia es muy baja
R318	Si la frecuencia de medición del disco de Secchi es diaria	La frecuencia de medición del disco de Secchi es aceptable y MRR
R319	Si la frecuencia de medición del disco de Secchi es semanal	La frecuencia de medición del disco de Secchi es aceptable y baja
R320	Si la frecuencia de observación del color es diaria	La frecuencia de observación es aceptable y MRR
R321	Si la frecuencia de observación del color es semanal	La frecuencia de observación es aceptable y baja
R322	Si la cantidad de algas mínima está entre 60000 y 80000 cel/ml	La cantidad de algas mínima es aceptable y baja
R323	Si la cantidad de algas mínima está entre 80001 y 100000 cel/ml	La cantidad de algas mínima es aceptable y MRR
R324	Si la cantidad de algas mínima está entre 100001 y 400000 cel/ml	La cantidad de algas mínima es aceptable y alta
R325	Si la cantidad de algas mínima es menor que 60000 cel/ml	La cantidad de algas mínima es inaceptable
R326	Si la cantidad de algas mínima es mayor que 120000 cel/ml	La cantidad de algas mínima es inaceptable
R327	Si la cantidad de algas máxima es menor que la mínima	La cantidad de algas máxima es inaceptable
R328	Si la cantidad de algas máxima es mayor que la mínima por 20000	La diferencia entre las cantidades es pequeña
R329	Si la cantidad de algas máxima está entre 150000 y 249999 cel/ml	La cantidad de algas máxima es aceptable y baja
R330	Si la cantidad de algas máxima está entre 250000 y 350000 cel/ml	La cantidad de algas máxima es aceptable y MRR
R331	Si la cantidad de algas máxima está entre 350001 y 400000 cel/ml	La cantidad de algas máxima es aceptable y alta
R332	Si la cantidad de algas máxima es menor que 150000 cel/ml	La cantidad de algas máxima es inaceptable
R333	Si la cantidad de algas mínima es mayor que 400000 cel/ml	La cantidad de algas mínima es inaceptable
R334	Si la frecuencia del recuento de algas es semanal y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia del recuento es aceptable y MRR
R335	Si la frecuencia del recuento de algas es diaria y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia del recuento es aceptable y excesiva

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R336	Si la frecuencia del recuento de algas es semanal y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia del recuento es aceptable y MRR
R337	Si la frecuencia del recuento de algas es diaria y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia del recuento es aceptable y excesiva
R338	Si la frecuencia del recuento de algas es semanal y el cultivo es intensivo	La frecuencia del recuento es aceptable y baja
R339	Si la frecuencia del recuento de algas es diaria y el cultivo es intensivo	La frecuencia del recuento es aceptable y MRR
R340	Si la frecuencia del recuento de algas es semanal y el cultivo es intensivo	La frecuencia del recuento es aceptable y baja
R341	Si el factor de conversión está entre 1 y 1.4 y el cultivo es semiintensivo	El factor de conversión es aceptable y bueno
R342	Si el factor de conversión está entre 1.5 y 2.2 y el cultivo es semiintensivo	El factor de conversión es aceptable y MRR
R343	Si el factor de conversión está entre 2.3 y 3 y el cultivo es semiintensivo	El factor de conversión es aceptable y regular
R344	Si el factor de conversión es mayor que 3 y el cultivo es semiintensivo	El factor de conversión es inaceptable y malo
R345	Si el factor de conversión es menor que 1 y el cultivo es semiintensivo	El factor de conversión es inaceptable
R346	Si el factor de conversión está entre 1.5 y 1.9 y el cultivo es semiintensivo alto	El factor de conversión es aceptable y bueno
R347	Si el factor de conversión está entre 2 y 2.5 y el cultivo es semiintensivo alto	El factor de conversión es aceptable y MRR
R348	Si el factor de conversión está entre 2.6 y 3 y el cultivo es semiintensivo alto	El factor de conversión es aceptable y regular
R349	Si el factor de conversión es menor que 1.5 y el cultivo es semiintensivo alto	El factor de conversión es inaceptable
R350	Si el factor de conversión es mayor o igual que 3 y el cultivo es semiintensivo alto	El factor de conversión es inaceptable
R351	Si el factor de conversión está entre 1.5 y 1.9 y el cultivo es intensivo	El factor de conversión es aceptable y bueno
R352	Si el factor de conversión está entre 2 y 2.5 y el cultivo es intensivo	El factor de conversión es aceptable y MRR
R353	Si el factor de conversión está entre 2.6 y 3 y el cultivo es intensivo	El factor de conversión es aceptable y regular
R354	Si el factor de conversión es menor que 1.5 y el cultivo es intensivo	El factor de conversión es inaceptable y bajo
R355	Si el factor de conversión es mayor o igual que 3 y el cultivo es intensivo	El factor de conversión es inaceptable
R356	Si la frecuencia de alimentación está entre 1 y 2 y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia de alimentación es aceptable y MRR
R357	Si la frecuencia de alimentación es 3 y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia de alimentación es aceptable y excesiva
R358	Si la frecuencia de alimentación es menor que 1 y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia de alimentación es inaceptable
R359	Si la frecuencia de alimentación es mayor o igual que 3 y el cultivo es semiintensivo	La frecuencia de alimentación es inaceptable

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R360	Si la frecuencia de alimentación está entre 2 y 5 y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia de alimentación es aceptable y MRR
R361	Si la frecuencia de alimentación es 1 y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia de alimentación es aceptable y baja
R362	Si la frecuencia de alimentación es 6 y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia de alimentación es aceptable y excesiva
R363	Si la frecuencia de alimentación está entre 2 y 5 y el cultivo es intensivo	La frecuencia de alimentación es aceptable y baja
R364	Si la frecuencia de alimentación es 1 y el cultivo es intensivo	La frecuencia de alimentación es aceptable y MRR
R365	Si la frecuencia de alimentación es 6 y el cultivo es intensivo	La frecuencia de alimentación es aceptable y excesiva
R366	Si la frecuencia de alimentación es mayor que 6 y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia de alimentación es inaceptable
R367	Si la frecuencia de alimentación es menor que 1 y el cultivo es semiintensivo alto	La frecuencia de alimentación es inaceptable
R368	Si la frecuencia de alimentación es mayor que 6 y el cultivo es intensivo	La frecuencia de alimentación es inaceptable
R369	Si la frecuencia de alimentación es menor que 1 y el cultivo es intensivo	La frecuencia de alimentación es inaceptable

REGLAS PARA EL ANALISIS DE LA PREENGORDA

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R370	Si el tipo de estanque es aceptable y la duración es aceptable y la supervivencia es aceptable y la densidad es aceptable y la alimentación es aceptable y el % de área ocupada es aceptable	Lo relativo a la preengorda es aceptable
R371	Si el estanque es de tierra y su tamaño es aceptable	El tipo de estanque es aceptable
R372	Si el estanque es un "raceway" y su tamaño es aceptable	El tipo de estanque es aceptable
R373	Si el estanque está entre 0.02 y 2 ha	El tamaño del estanque es aceptable
R374	Si el "raceway" está entre 5 y 100 ton.	El tamaño del "raceway" es aceptable
R375	Si la duración está entre 15 y 55 días	La duración es conveniente
R376	Si la supervivencia está entre 50 y 90 %	La supervivencia es aceptable
R377	Si es un "raceway" y la densidad en "raceway" es aceptable	La densidad es correcta
R378	Si la densidad está entre 25 y 45 postlarvas/litro	La densidad en "raceway" es aceptable
R379	Si el estanque es de tierra y la densidad en estanque de tierra es correcta	La densidad en preengorda es correcta

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R380	Si la densidad de preengorda en estanque está entre 50 y 200 postlarvas/m ²	La densidad en estanque de tierra es aceptable
R381	Si el nivel de proteína es aceptable y la frecuencia de alimentación es suficiente	La alimentación es conveniente
R382	Si el porcentaje de proteína está entre 25 y 50 %	El nivel de proteína es aceptable
R383	Si la frecuencia de alimentación está entre 1 y 6 veces/día	La frecuencia de alimentación es suficiente
R384	Si el área de preengorda está entre el 2 y 20 % del total	El porcentaje de área ocupada es congruente
R385	Si no se piensa hacer preengorda y si no se esperan diferencias entre hacer y no hacer preengorda	Lo relativo a la preengorda es aceptable
R386	Si no se piensa hacer preengorda y si se argumenta demasiado "estrés" en la transferencia a engorda	Lo relativo a la preengorda es aceptable
R387	Si no se piensa hacer preengorda y si no se tiene experiencia en operaciones de preengorda	Lo relativo a la preengorda es aceptable

REGLAS COMPLEMENTARIAS DE LA PREENGORDA

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R388	Si el estanque está entre 0.02 y 0.24 ha	El tamaño del estanque es aceptable y chico
R389	Si el estanque está entre 0.25 y 1.5 ha	El tamaño del estanque es aceptable y MRR
R390	Si el estanque está entre 1.51 y 2 ha	El tamaño del estanque es aceptable y grande
R391	Si el estanque es menor que .02 ha	El tamaño es inaceptable
R392	Si el estanque es mayor 2 ha	El tamaño es inaceptable
R393	Si el "raceway" está entre 5 y 19 ton	El tamaño del "raceway" es aceptable y chico
R394	Si el "raceway" está entre 20 y 60 ton	El tamaño del "raceway" es aceptable y MRR
R395	Si el "raceway" está entre 61 y 100 ton	El tamaño del "raceway" es aceptable y grande
R396	Si el "raceway" es menor que 5 ton	El tamaño es inaceptable
R397	Si el "raceway" es mayor que 100 ton	El tamaño es inaceptable
R398	Si la duración está entre 15 y 24 días	La duración es aceptable y corta
R399	Si la duración está entre 25 y 45 días	La duración es aceptable y MRR
R400	Si la duración está entre 46 y 55 días	La duración es aceptable y prolongada
R401	Si la duración es menor que 20 días	La duración es inaceptable
R402	Si la duración es mayor que 60 días	La duración es inaceptable
R403	Si la supervivencia está entre 50 y 69%	La supervivencia es aceptable y baja
R404	Si la supervivencia está entre 70 y 85%	La supervivencia es aceptable y MRR
R405	Si la supervivencia está entre 86 y 90%	La supervivencia es aceptable y alta
R406	Si la supervivencia es mayor que 90%	El valor es inaceptable
R407	Si la supervivencia es menor que 50%	El valor es inaceptable

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R408	Si es "raceway" y la densidad está entre 25 y 29 PL/lt	La densidad es aceptable y baja
R409	Si es "raceway" y la densidad está entre 30 y 40 PL/lt	La densidad es aceptable y MRR
R410	Si es "raceway" y la densidad está entre 41 y 45 PL/lt	La densidad es aceptable y alta
R411	Si es "raceway" y la densidad es menor que 25PL/lt	La densidad es inaceptable
R412	Si es "raceway" y la densidad es mayor que 45 PL/lt	La densidad es inaceptable
R413	Si es estanque y la densidad está entre 50 y 99 ind/m ²	La densidad es aceptable y baja
R414	Si es estanque y la densidad está entre 100 y 150 ind/m ²	La densidad es aceptable y MRR
R415	Si es estanque y la densidad está entre 151 y 200 ind/m ²	La densidad es aceptable y alta
R416	Si es estanque y la densidad es mayor que 100 ind/m ²	La densidad es inaceptable
R417	Si es estanque y la densidad es menor que 200 ind/m ²	La densidad es inaceptable
R418	Si la densidad de preengorda es menor que la de engorda	La densidad de preengorda es inaceptable
R419	Si el nivel de proteína está entre 25 y 29 %	El nivel de proteína es aceptable y bajo
R420	Si el nivel de proteína está entre 30 y 45 %	El nivel de proteína es aceptable y recomendable
R421	Si el nivel de proteína está entre 46 y 50 %	El nivel de proteína es aceptable y alto
R422	Si el nivel de proteína es menor que 25%	El nivel de proteína es inaceptable
R423	Si el nivel de proteína es mayor que 50%	El nivel de proteína es inaceptable
R424	Si la frecuencia de alimentación es 1	La frecuencia de alimentación es aceptable y baja
R425	Si la frecuencia de alimentación está entre 2 y 3	La frecuencia de alimentación es aceptable y MRR
R426	Si la frecuencia de alimentación es 4	La frecuencia de alimentación es aceptable y excesiva
R427	Si la frecuencia de alimentación es menor que 1	La frecuencia de alimentación es inaceptable
R428	Si la frecuencia de alimentación es mayor que 4	La frecuencia de alimentación es inaceptable
R429	Si el área de preengorda está entre el 2 y el 4.9 % del total	El porcentaje de área ocupada es aceptable y bajo
R430	Si el área de preengorda está entre el 5 y el 10 % del total	El porcentaje de área ocupada es aceptable y MRR
R431	Si el área de preengorda está entre 10.1 y 20 % del total	El porcentaje de área ocupada es aceptable y excesivo
R432	Si el área de preengorda es mayor que el 20 %	El porcentaje de área ocupada es inaceptable
R433	Si el área de preengorda es menor que 2 %	El porcentaje de área ocupada es inaceptable

APENDICE 2

En el presente apéndice se incluyen las reglas que constituyen la base de conocimiento del sistema CALEN para el manejo de la calidad del agua (primera parte) y diagnóstico de enfermedades (segunda parte).

En la primera parte, las denominadas "REGLAS PRINCIPALES" corresponden a las inferencias que permiten confirmar el nivel de productividad primaria, la situación general que prevalece en el estanque y las recomendaciones de manejo correspondientes. Las "REGLAS COMPLEMENTARIAS" permiten identificar aquellos casos en que posiblemente el nivel de productividad primaria es diferente al previsto, o cuando la evidencia es incongruente.

En la segunda parte las reglas se dividen en tres grupos, correspondientes cada uno de ellos al análisis de los grupos de signos, según se describe en el texto principal.

REGLAS PRINCIPALES

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R1	Si no hay problema por baja de oxígeno y hay problema de temperatura alta y hay problema de bajo recambio de agua y la productividad primaria es normal	Situación peligrosa por alta temperatura y bajo recambio de agua, a corregir mediante fuerte incremento del recambio en la capa superficial
R2	Si el oxígeno es mayor que 3 mg/l	No hay problema por baja de oxígeno
R3	Si la temperatura mayor que 33 °C	Hay problema de temperatura alta
R4	Si hay problema de alta temperatura y el recambio de agua es bajo	Hay problema de bajo recambio de agua
R5	Si el recambio de agua es menor que 10 %	El recambio de agua es bajo
R6	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y otra evidencia confirma que la productividad primaria es normal	La productividad primaria es normal
R7	Si la profundidad del disco de Secchi está entre 30 y 40 cm	La turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal
R8	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es normal
R9	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es normal
R10	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es normal
R11	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es normal
R12	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es normal
R13	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es normal
R14	Si la concentración de oxígeno por la mañana está entre 3 y 7 mg/l	La concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R15	Si la concentración de oxígeno por la tarde está entre 7 y 12 mg/l	La concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal
R16	Si la concentración de oxígeno por la tarde está entre 5 y 7 mg/l	La concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja
R17	Si la concentración de oxígeno por la tarde es menor que 5 mg/l	La concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es muy baja
R18	Si el valor del pH está entre 8 y 9	El valor del pH indica que la productividad primaria es normal
R19	Si la concentración de oxígeno por la mañana es mayor que 7 mg/l	La concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja
R20	Si la concentración de oxígeno por la mañana está entre 1.5 y 3 mg/l	La concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta
R21	Si la concentración de oxígeno por la mañana está entre 0 y 1.5 mg/l	La concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta
R22	Si no hay problema por baja de oxígeno y hay problema de temperatura alta y el recambio de agua es alto y la productividad primaria es normal	Situación peligrosa por alta temperatura, a corregir mediante incremento del recambio de agua en la capa superficial
R23	Si el recambio de agua es mayor que 10 %	El recambio de agua es alto
R24	Si no hay problema por baja de oxígeno y la temperatura es aceptable y el recambio de agua es bajo y la productividad primaria es normal	Situación buena, aún posible de mejorar con un ligero incremento en el recambio de agua
R25	Si la temperatura está entre 24 y 33 °C	La temperatura es aceptable
R26	Si no hay problema por baja de oxígeno y la temperatura es aceptable y el recambio de agua es alto y la productividad primaria es normal	Situación buena a mantener
R27	Si no hay problema por baja de oxígeno y el crecimiento es lento por baja temperatura y el recambio de agua es bajo y la productividad primaria es normal	Situación de crecimiento lento por baja temperatura, a mejorar mediante disminución en la ración de alimentación a 50 %
R28	Si la temperatura es baja	El crecimiento es lento por baja temperatura
R29	Si la temperatura está entre 22 y 24 °C	La temperatura es baja
R30	Si no hay problema por baja de oxígeno y el crecimiento es lento por baja temperatura y el recambio de agua es alto y la productividad primaria es normal	Situación de crecimiento lento por baja temperatura a mejorar mediante disminuciones en la ración de alimentación a 50 % y en el recambio de agua
R31	Si no hay problema por baja de oxígeno y el crecimiento es lento por muy baja temperatura y el recambio de agua es bajo y la productividad primaria es normal	Situación de crecimiento lento por muy baja temperatura a mejorar mediante la suspensión de la alimentación

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R32	Si la temperatura es muy baja	El crecimiento es lento por muy baja temperatura
R33	Si la temperatura es menor que 22 °C	La temperatura es muy baja
R34	Si no hay problema por baja de oxígeno y el crecimiento es lento por muy baja temperatura y el recambio de agua es alto y la productividad primaria es normal	Situación de crecimiento lento por muy baja temperatura, a mejorar suspendiendo la alimentación y disminuyendo el recambio de agua
R35	Si hay problema por baja de oxígeno y hay problema de bajo recambio de agua y la productividad primaria es normal	Situación peligrosa por baja de oxígeno, a corregir incrementando fuertemente el recambio de agua
R36	Si hay problema por baja de oxígeno y el recambio de agua es bajo	Hay problema de bajo recambio de agua
R37	Si el oxígeno de la mañana es menor que 3 mg/l	Hay problema por baja de oxígeno
R38	Si hay problema por baja de oxígeno y el recambio de agua es alto y la productividad primaria es normal	Situación peligrosa por baja de oxígeno a corregir incrementando el recambio de agua
R39	Si no hay problema por baja de oxígeno y hay problema de temperatura alta y hay problema de recambio de agua y la productividad primaria es alta	Situación peligrosa por alta temperatura y exceso de productividad, a corregir incrementando fuertemente el recambio de agua y suspendiendo la fertilización
R40	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y otra evidencia confirma que la productividad primaria es alta	La productividad primaria es alta
R41	Si la profundidad del disco de Secchi es menor que 30 cm	La turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta
R42	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es alta
R43	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es alta
R44	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es alta
R45	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es alta
R46	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es alta

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R47	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es alta
R48	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es alta
R49	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es alta
R50	Si no hay problema por baja de oxígeno y hay problema de temperatura alta y la productividad primaria es alta	Situación peligrosa por alta temperatura y exceso de productividad, a corregir incrementando el recambio de agua y suspendiendo la fertilización
R51	Si no hay problema por baja de oxígeno y la temperatura es aceptable y la productividad primaria es alta y el pH indica que la productividad es moderadamente alta	Situación peligrosa por alta temperatura y exceso de productividad, a corregir incrementando el recambio de agua, suspendiendo la fertilización y disminuyendo en 25% la ración de alimentación
R52	Si el pH está entre 9 y 9.5	La productividad es moderadamente alta
R53	Si no hay problema por baja de oxígeno y la temperatura es aceptable y la productividad primaria es alta y el pH indica que la productividad es considerablemente alta	Situación peligrosa por alta temperatura y exceso de productividad, a corregir incrementando el recambio de agua, suspendiendo la fertilización y disminuyendo en 50% la ración de alimentación
R54	Si el pH está entre 9.5 y 10	La productividad es considerablemente alta
R55	Si no hay problema por baja de oxígeno y la temperatura es aceptable y la productividad primaria es alta y el pH indica que la productividad es sumamente alta	Situación peligrosa por alta temperatura y exceso de productividad, a corregir incrementando el recambio de agua y suspendiendo la fertilización y la alimentación
R56	Si el pH es mayor que 10	La productividad es sumamente alta
R57	Si no hay problema por baja de oxígeno y el crecimiento es lento por baja temperatura y la productividad primaria es alta y el pH indica que la productividad es moderadamente alta	Situación de alta productividad y crecimiento lento por baja temperatura, a corregir incrementando el recambio de agua, suspendiendo la fertilización y disminuyendo en 50% la ración de alimentación

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R58	Si no hay problema por baja de oxígeno y el crecimiento es lento por baja temperatura y la productividad primaria es alta y el pH indica que la productividad es considerablemente alta	Situación de alta productividad y crecimiento lento por baja temperatura, a corregir incrementando el recambio de agua, suspendiendo la fertilización y disminuyendo en 50% la ración de alimentación
R59	Si no hay problema por baja de oxígeno y el crecimiento es lento por baja temperatura y la productividad primaria es alta y el pH indica que la productividad es sumamente alta	Situación de muy alta productividad y crecimiento lento por baja temperatura, a corregir incrementando el recambio de agua y suspendiendo la fertilización y la alimentación
R60	Si no hay problema por baja de oxígeno y el crecimiento es lento por muy baja temperatura y la productividad primaria es alta y el pH indica que la productividad es sumamente alta	Situación de alta productividad y crecimiento lento por muy baja temperatura, a corregir incrementando el recambio de agua y suspendiendo la fertilización y la alimentación
R61	Si hay problema por baja de oxígeno y hay problema de bajo recambio de agua y la productividad primaria es alta	Situación en extremo peligrosa por baja de oxígeno y alta productividad, a corregir incrementando fuertemente el recambio de agua y suspendiendo la alimentación y la fertilización
R62	Si la productividad primaria es alta y el recambio de agua es bajo	Hay problema de bajo recambio de agua
R63	Si hay problema por baja de oxígeno y la productividad primaria es alta	Situación muy peligrosa por baja de oxígeno y alta productividad, a corregir incrementando el recambio de agua y suspendiendo la alimentación y la fertilización
R64	Si no hay problema por fitoplancton muerto y hay problema de temperatura alta y hay problema de bajo recambio de agua y la productividad primaria es baja	Situación peligrosa por alta temperatura y bajo recambio de agua, a corregir mediante fuerte incremento del recambio en la capa superficial
R65	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y otra evidencia confirma que la productividad primaria es baja	La productividad primaria es baja
R66	Si la profundidad del disco de Secchi es mayor que 40 cm	La turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja
R67	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es baja
R68	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es baja

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R69	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es baja
R70	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es baja
R71	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es baja
R72	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es baja
R73	Si la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	Otra evidencia confirma que la productividad primaria es baja
R74	Si no hay problema por mortalidad masiva de fitoplancton y hay problema de temperatura alta y la productividad primaria es baja	Situación peligrosa por alta temperatura, a corregir mediante incremento del recambio en la capa superficial
R75	Si no hay problema por mortalidad masiva de fitoplancton y la temperatura es aceptable y la productividad primaria es baja	Situación de baja productividad primaria, a corregir mediante fertilización y alimentación
R76	Si no hay problema por mortalidad masiva de fitoplancton y la temperatura es aceptable y la productividad primaria es baja	Situación de baja productividad primaria, a corregir mediante fertilización y posible incremento en la alimentación
R77	Si no hay problema por mortalidad masiva de fitoplancton y la temperatura es aceptable y hay problema por alto recambio de agua y la productividad primaria es baja	Situación de baja productividad primaria, a corregir mediante fertilización, posible incremento en la alimentación, y reducción del recambio de agua
R78	Si no hay problema por mortalidad masiva de fitoplancton y la productividad primaria es baja y el recambio de agua es alto	Hay problema por alto recambio de agua
R79	Si no hay problema por mortalidad masiva de fitoplancton y el crecimiento es lento por baja temperatura y el recambio de agua es bajo y la productividad primaria es baja	Situación de baja productividad primaria y crecimiento lento por baja temperatura, a mejorar mediante fertilización sin modificar la alimentación
R80	Si no hay problema por mortalidad masiva de fitoplancton y el crecimiento es lento por baja temperatura y hay problema por alto recambio de agua y la productividad primaria es baja	Situación de baja productividad primaria y crecimiento lento por baja temperatura, a mejorar mediante fertilización sin modificar la alimentación y reducción del recambio de agua

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R81	Si no hay problema por mortalidad masiva de fitoplancton y el crecimiento es lento por muy baja temperatura y el recambio de agua es bajo y la productividad primaria es baja	Situación de baja productividad primaria y crecimiento lento por muy baja temperatura, a mejorar mediante fertilización y reducción o suspensión de la alimentación
R82	Si no hay problema por mortalidad masiva de fitoplancton y el crecimiento es lento por muy baja temperatura y hay problema por alto recambio de agua y la productividad primaria es baja	Situación de baja productividad primaria y crecimiento lento por muy baja temperatura, a mejorar mediante fertilización, reducción o suspensión de la alimentación y reducción del recambio de agua
R83	Si no hay problema por mortalidad masiva de fitoplancton y el recambio de agua es alto	Hay problema por alto recambio de agua
R84	Si hay mortalidad masiva de fitoplancton y hay problema por bajo recambio de agua	Situación crítica por mortalidad masiva de fitoplancton y bajo nivel de recambio, requiriéndose incrementar fuertemente el recambio, suspender la alimentación y verificar parámetros
R85	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana está entre 1.5 y 3 mg/l y la concentración de oxígeno por la tarde es menor que 5 mg/l	Hay mortalidad masiva de fitoplancton
R86	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana es menor que 1.5 mg/l y la concentración de oxígeno por la tarde es menor que 5 mg/l	Hay mortalidad masiva de fitoplancton
R87	Si hay mortalidad masiva de fitoplancton y el recambio de agua es bajo	Hay problema por bajo recambio de agua

REGLAS COMPLEMENTARIAS

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R88	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	La productividad primaria posiblemente es baja
R89	Si el valor del pH está entre 7.5 y 8	El valor del pH indica que la productividad primaria es baja

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R90	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja	La productividad primaria posiblemente es baja
R91	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	La productividad primaria posiblemente es baja
R92	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	La productividad primaria posiblemente es alta
R93	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	La productividad primaria posiblemente es alta
R94	Si el valor del pH es mayor que 9	El valor del pH indica que la productividad primaria es alta
R95	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta	La productividad primaria posiblemente es alta
R96	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	La productividad primaria posiblemente es alta
R97	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta	La productividad primaria posiblemente es alta
R98	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	No hay congruencia

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R99	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R100	Si el valor del pH es menor que 7.5	El valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque
R101	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	No hay congruencia
R102	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R103	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	No hay congruencia
R104	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	No hay congruencia
R105	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R106	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	No hay congruencia

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R107	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R108	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta	No hay congruencia
R109	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja	No hay congruencia
R110	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	No hay congruencia
R111	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R112	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja	No hay congruencia
R113	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja	Hay evidencia de mortalidad masiva del fitoplancton
R114	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja	Hay evidencia de mortalidad masiva del fitoplancton

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R115	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y no se conoce el valor del pH	No hay congruencia
R116	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	No hay congruencia
R117	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R118	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R119	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R120	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R121	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R122	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R123	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es normal y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R124	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	La productividad primaria posiblemente es normal
R125	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	La productividad primaria posiblemente es normal
R126	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	La productividad primaria posiblemente es normal
R127	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal	La productividad primaria posiblemente es normal
R128	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	La productividad primaria posiblemente es baja
R129	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	La productividad primaria posiblemente es baja
R130	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	La productividad primaria posiblemente es baja

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R131	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja	La productividad primaria posiblemente es baja
R132	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja	Hay evidencia de mortalidad masiva de fitoplancton
R133	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja	Hay evidencia de mortalidad masiva de fitoplancton
R134	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	No hay congruencia
R135	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R136	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	No hay congruencia
R137	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R138	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	No hay congruencia

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R139	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R140	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	No hay congruencia
R141	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R142	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es baja	No hay congruencia
R143	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R144	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja	No hay congruencia
R145	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja	No hay congruencia
R146	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	No hay congruencia

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R147	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal	No hay congruencia
R148	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja	No hay congruencia
R149	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R150	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R151	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R152	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R153	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es alta y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R154	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	La productividad primaria posiblemente es alta

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R155	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	La productividad primaria posiblemente es alta
R156	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta	La productividad primaria posiblemente es alta
R157	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	La productividad primaria posiblemente es alta
R158	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta	La productividad primaria posiblemente es alta
R159	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	La productividad primaria posiblemente es normal
R160	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	La productividad primaria posiblemente es normal
R161	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal	La productividad primaria posiblemente es normal
R162	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja	Hay mortalidad masiva de fitoplancton

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R163	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja	Hay mortalidad masiva de fitoplancton
R164	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	No hay congruencia
R165	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R166	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	No hay congruencia
R167	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R168	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	No hay congruencia
R169	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	No hay congruencia
R170	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es alta	No hay congruencia

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R171	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R172	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta	No hay congruencia
R173	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja	No hay congruencia
R174	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	No hay congruencia
R175	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia
R176	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal	No hay congruencia
R177	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y el valor del pH indica que la productividad primaria es normal	No hay congruencia
R178	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y el valor del pH indica que posiblemente hay problemas de acidez en el piso del estanque	No hay congruencia

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R179	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal	No hay congruencia
R180	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es alta y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R182	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es normal y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R183	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es baja y la concentración de oxígeno por la tarde es extremadamente baja y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R184	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es normal y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R185	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir
R186	Si la turbidez indica que la productividad primaria posiblemente es baja y la concentración de oxígeno por la mañana indica que la productividad primaria es muy alta y la concentración de oxígeno por la tarde indica que la productividad primaria es baja y no se conoce el valor del pH	No es posible concluir

REGLAS DEL PRIMER GRUPO

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R1	Hay manchas negras	Hay avitaminosis por carencia de vitamina C o infección por <i>Vibrio</i>
R2	El cuerpo es blanco	Hay microsporidiosis
R3	Hay deformidad corporal (enanismo)	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN
R4	No hay manchas negras y el cuerpo no es blanco y no hay deformidad corporal (enanismo)	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo
R5	No conoce ningún signo	No es posible concluir
R6	Hay avitaminosis por carencia de vitamina C o infección por <i>Vibrio</i> y La posición de las manchas es en el músculo	Hay carencia de vitamina C
R7	La posición de las manchas no es ni en el músculo ni en la cutícula	No es posible concluir si es carencia de vitamina C o infección por <i>Vibrio</i>
R8	Hay carencia de vitamina C y El músculo se encuentra opaco	La carencia de vitamina C es severa
R9	Hay carencia de vitamina C y El músculo no se encuentra opaco	La carencia de vitamina C no es severa
R10	Hay carencia de vitamina C y No sabe si el músculo no se encuentra opaco	Hay carencia de vitamina C y se recomienda la observación de posible opacidad
R11	Hay avitaminosis por carencia de vitamina C o infección por <i>Vibrio</i> y La posición de las manchas es en la cutícula	Hay infección por <i>Vibrio</i>
R12	Hay infección por <i>Vibrio</i> y hay aletargamiento y nado irregular y hay bioluminiscencia	Hay infección por <i>Vibrio</i> en estado avanzado y se recomienda incrementar fuertemente el recambio
R13	Hay infección por <i>Vibrio</i> y hay aletargamiento y nado irregular y no hay bioluminiscencia	Hay infección por <i>Vibrio</i> en estado avanzado
R14	Hay infección por <i>Vibrio</i> y hay aletargamiento y nado irregular y no sabe si hay bioluminiscencia	Hay infección por <i>Vibrio</i> en estado avanzado y se recomienda la observación de posible bioluminiscencia
R15	Hay infección por <i>Vibrio</i> y no hay aletargamiento ni nado irregular y hay bioluminiscencia	Hay infección por <i>Vibrio</i> en estado temprano y se recomienda incrementar fuertemente el recambio
R16	Hay infección por <i>Vibrio</i> y no hay aletargamiento ni nado irregular y no hay bioluminiscencia	Hay infección por <i>Vibrio</i> en estado temprano
R17	Hay infección por <i>Vibrio</i> y no hay aletargamiento ni nado irregular y no sabe si hay bioluminiscencia	Hay infección por <i>Vibrio</i> en estado temprano y se recomienda la observación de posible bioluminiscencia
R18	Hay infección por <i>Vibrio</i> y no sabe si hay aletargamiento y nado irregular y hay bioluminiscencia	Hay infección por <i>Vibrio</i> y se recomienda incrementar fuertemente el recambio y la observación de posible aletargamiento y nado irregular
R19	Hay infección por <i>Vibrio</i> y no sabe si hay aletargamiento y nado irregular y no hay bioluminiscencia	Hay infección por <i>Vibrio</i> y la observación de posible aletargamiento y nado irregular

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R20	Hay infección por <i>Vibrio</i> y no sabe si hay aletargamiento y nado irregular y no sabe si hay bioluminiscencia	Hay infección por <i>Vibrio</i> y se recomienda la observación de posible aletargamiento y nado irregular y de posible bioluminiscencia
R21	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Hay infección por virus IHHN
R22	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	Hay infección por virus IHHN
R23	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	Hay infección por virus IHHN
R24	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay deformidad en el rostro y no hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Hay infección por virus IHHN
R25	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay deformidad en el rostro y no sabe si hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Hay infección por virus IHHN
R26	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay deformidad en el rostro y no hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN
R27	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay deformidad en el rostro y no hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posible cutícula rugosa
R28	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay deformidad en el rostro y no sabe si hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posibles antenas plegadas
R29	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay deformidad en el rostro y no sabe si hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posible cutícula rugosa y antenas plegadas
R30	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Hay infección por virus IHHN

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R31	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN
R32	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posible cutícula rugosa
R33	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no hay deformidad en el rostro y no hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN
R34	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no hay deformidad en el rostro y no sabe si hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R35	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no hay deformidad en el rostro y no sabe si hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posibles antenas plegadas
R36	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Hay infección por virus IHHN
R37	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posible deformidad en el rostro
R38	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posibles deformidad en el rostro y cutícula rugosa
R39	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay deformidad en el rostro y no hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posible deformidad en el rostro
R40	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay deformidad en el rostro y no hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R41	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay deformidad en el rostro y no sabe si hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R42	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay deformidad en el rostro y no sabe si hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posibles deformidad en el rostro y antenas plegadas

REGLAS DEL SEGUNDO GRUPO

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R43	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y Hay aletargamiento y nado irregular	Hay evidencia para suponer una posible infección por <i>Vibrio</i>
R44	Hay evidencia para suponer una posible infección por <i>Vibrio</i> y hay bioluminiscencia	Existe evidencia parcial de infección por <i>Vibrio</i> y se recomienda incrementar el recambio de agua
R45	Hay evidencia para suponer una posible infección por <i>Vibrio</i> no hay bioluminiscencia	Existe evidencia parcial de infección por <i>Vibrio</i>
R46	Hay evidencia para suponer una posible infección por <i>Vibrio</i> y no sabe si hay bioluminiscencia	Existe evidencia parcial de infección por <i>Vibrio</i> y se recomienda la observación de posible bioluminiscencia
R47	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay aletargamiento ni nado irregular y hay bioluminiscencia	No existe evidencia de infección por <i>Vibrio</i> y se recomienda la observación de posible aletargamiento y nado irregular, e incrementar el recambio de agua
R48	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay aletargamiento ni nado irregular y no hay bioluminiscencia	No existe evidencia de infección por <i>Vibrio</i> y se recomienda la observación de posible aletargamiento y nado irregular
R49	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay aletargamiento ni nado irregular y no sabe si hay bioluminiscencia	No existe evidencia de infección por <i>Vibrio</i>
R50	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y hay deformidad en el rostro	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN
R51	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Hay infección por virus IHHN
R52	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R53	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posible cutícula rugosa
R54	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN
R55	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R56	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R57	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R58	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R59	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posibles antenas plegadas
R60	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN y se recomienda la observación de posible deformidad en el rostro
R61	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R62	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay deformidad en el rostro y hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R63	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay deformidad en el rostro y no hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R64	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay deformidad en el rostro y no hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R65	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay deformidad en el rostro y no sabe si hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R66	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay deformidad en el rostro y no hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	No existe evidencia para suponer que hay infección por virus IHHN
R67	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay deformidad en el rostro y no sabe si hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	No existe evidencia para suponer que hay infección por virus IHHN
R68	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y no sabe si hay deformidad en el rostro y no sabe si hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	No existe evidencia para suponer que hay infección por virus IHHN
R69	Deben buscarse evidencias entre los signos del segundo grupo y No hay aletargamiento ni nado irregular y No hay deformidad en el rostro y	Deben buscarse evidencias entre los signos del tercer grupo

REGLAS DEL TERCER GRUPO

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R70	Deben buscarse evidencias entre los signos del tercer grupo y hay bioluminiscencia	No existe evidencia de infección por <i>Vibrio</i> y se recomienda incrementar el recambio de agua
R71	Deben buscarse evidencias entre los signos del tercer grupo y no sabe si hay bioluminiscencia	No existe evidencia de infección por <i>Vibrio</i>
R72	Deben buscarse evidencias entre los signos del tercer grupo y hay antenas plegadas	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN
R73	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y hay cutícula rugosa	Existe evidencia parcial de infección por virus IHHN
R74	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R75	Hay evidencia para suponer una posible infección por virus IHHN y no sabe si hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN
R76	Deben buscarse evidencias entre los signos del tercer grupo y no sabe si hay antenas plegadas y hay cutícula rugosa	No existe evidencia suficiente para concluir que hay infección por virus IHHN

	PREMISAS	CONCLUSIONES
R77	Deben buscarse evidencias entre los signos del tercer grupo y no sabe si hay antenas plegadas y no hay cutícula rugosa	No existe evidencia para suponer que hay infección por virus IHHN
R78	Deben buscarse evidencias entre los signos del tercer grupo y no sabe si hay antenas plegadas y no sabe si hay cutícula rugosa	No existe evidencia para suponer que hay infección por virus IHHN
R79	Deben buscarse evidencias entre los signos del tercer grupo y no hay bioluminiscencia no hay antenas plegadas	No existe evidencia para suponer que hay enfermedades